

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**RELACIÓN ENTRE LOS PATRONES DE LLUVIA, FLUJO, NUTRIENTES Y
CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL RÍO LA PLATA Y SUS
PELIGROS POTENCIALES A LA SALUD**

Requisito parcial para la obtención del
Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental
en Manejo y Evaluación de Riesgo Ambiental

Por

Astrid J. Martínez Matías

12 de mayo de 2008

DEDICATORIA

A mi esposo y mis hijas, quienes me dieron el apoyo necesario para llegar hasta donde he llegado.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme dado la fortaleza necesaria para seguir adelante en mi empeño por prepararme. A mi esposo y a mis hijas que en todo momento fueron el apoyo que necesité. Al Sr. Nefthalí García, mi mentor, pues sin su ayuda y sus conocimientos la tarea hubiera sido mucho más ardua. A Magaly Rivera e Irma Torres, miembros de mi comité de tesis por el tiempo que dedicaron a ayudarme.

Gracias también a todas las personas en las agencias gubernamentales, que me atendieron y me brindaron su ayuda en la búsqueda de información importante para este estudio: el Sr. Ernesto Morales de la “National Oceanic and Atmospheric Administration” (NOAA), el Sr. Javier Colignon de la oficina de Infraestructura de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA), la Sra. Ileana Forteza de la compañía de Fomento Industrial, el Ing. Ángel Meléndez de la Junta de Calidad Ambiental (JCA), el Sr. Edgar Silva de la Oficina del Plan de Uso de Terrenos, la Srta. Angélica Camacho de la Junta de Planificación (JP), la Sra. Nancy Cáceres de la AAA, el Sr. Robert Matos del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) y la Sra. Evelyn Huertas de la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE APÉNDICES.....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIACIONES.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
Trasfondo del problema de estudio.....	1
Problema de estudio.....	2
Justificación del estudio.....	3
Pregunta de Investigación.....	5
Meta.....	5
Objetivos.....	6
CAPÍTULO II: REVISIÓN LITERARIA.....	7
Trasfondo histórico.....	7
Marco conceptual o teórico.....	14
Contaminación de las aguas.....	14
Contaminantes del agua.....	18
Materia orgánica.....	18
Nutrientes inorgánicos.....	20
Agentes infecciosos.....	23
Sedimentos.....	27
Estudio de casos.....	28
“Love Canal”.....	28
Contaminación con <i>Cryptosporidium</i> en Milwaukee.....	29
Casos de contaminación en Puerto Rico.....	30
Marco legal.....	32
Leyes federales.....	32
Leyes estatales.....	33
Reglamentos.....	35
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	38
Introducción.....	38
Área de estudio.....	38
Descripción de las estaciones de muestreo.....	42
Diseño metodológico.....	44
Análisis de datos.....	46

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	47
Estación de muestreo 50043000.....	47
Estación de muestreo 50044000.....	49
Estación de muestreo 50046000.....	49
Flujo.....	50
Oxígeno disuelto.....	51
Amoníaco.....	53
Nitrógeno total.....	54
Turbiedad.....	56
Fósforo total.....	57
Coliformes totales.....	59
Coliformes fecales.....	60
 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 64
Conclusiones.....	64
Limitaciones del estudio.....	65
Recomendaciones.....	66
 LITERATURA CITADA.....	 68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Crecimiento poblacional en los municipios de la cuenca del Río La Plata.....	72
Tabla 2: Viviendas no conectadas al alcantarillado sanitario en los municipios de la Cuenca del Río La Plata.....	73
Tabla 3: Plantas de tratamiento de aguas usadas en los municipios de la cuenca del Río La Plata.....	774
Tabla 4: Operaciones con animales en los municipios de la cuenca del Río La Plata.....	75
Tabla 5: Datos sobre calidad de agua en el Río La Plata durante el período de estudio.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relación entre los patrones de lluvia y los conteos microbiológicos en la estación 0440 del municipio de Comerío.....	87
Figura 2: Relación entre el flujo en el Río La Plata y los conteos microbiológicos en la estación 0440 del municipio de Comerío.....	88
Figura 3: Crecimiento poblacional en los municipios que componen la cuenca Del Río La Plata.....	89
Figura 4: Cuenca del Río La Plata.....	90
Figura 5: Sistema de alcantarillado sanitario en los municipios que componen la cuenca del Río La Plata.....	91
Figura 6: Plantas de tratamiento de aguas usadas ubicadas en los municipios que Componen la cuenca del Río La Plata.....	92
Figura 7: Puntos de descargas de aguas tratadas en los municipios que componen la cuenca del Río La Plata	93
Figura 8: Descargas de aguas tratadas provenientes de otras industrias ubicadas en los municipios que componen la cuenca del Río La Plata.....	94
Figura 9: Vertederos ubicados en los municipios que componen la cuenca del Río La Plata.....	95

LISTA DE APENDICES

Apéndice 1: Fotos de la cuenca del Río La Plata	96
-------------------------------------------------------	----

LISTA DE SÍMBOLOS O ABREVIATURAS

EPA – “Environmental Protection Agency”

AAA – Autoridad de Acueductos y Alcantarillados

DRNA – Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

USGS – “United States Geological Survey”

JCA – Junta de Calidad Ambiental

DS – Departamento de Salud

NPDES – “National Pollutant Discharge Elimination System”

HPLC – “High Pressure Liquid Chromatography”

MS – “Mass Spectrochromatography”

GC – “Gas Chromatography”

ELISA – “Enzyme Linked Immunosorbent Assay”

NOAA – “National Oceanic and Atmospheric Administration”

cfs – “cubic feet per second”

mg/L – miligramos por litros

ppm – partes por millón

NTU – Unidades Nefelométricas de Turbiedad

ADN – Acido Desoxirribonucleico

TMDL – “Total Maximum Daily Load”

JP – Junta de Planificación

RESUMEN

Evaluamos datos sobre calidad de agua en el Río La Plata generados por diversas entidades gubernamentales y los relacionamos con los patrones de lluvia en el área, el flujo en el cuerpo de agua, el uso que se le da al terreno, las actividades agrícolas, la crianza de animales, la utilización de pozos sépticos y la ubicación y funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas usadas. Todo esto para determinar si existe una relación entre estas variables y las características microbiológicas del río y sus implicaciones para la salud. Los métodos que utilizamos para desarrollar nuestro estudio fueron: la evaluación de datos sobre calidad de agua informados anualmente por el “United States Geological Survey” (USGS) en tres estaciones de muestreo a lo largo de la cuenca del Río La Plata, recorridos por la cuenca y la búsqueda de información relacionada en agencias gubernamentales como la Junta de Calidad Ambiental (JCA), la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés), la Autoridad de acueductos y Alcantarillados (AAA) y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA). En nuestros hallazgos encontramos que las tres estaciones de muestreo informaron concentraciones elevadas de nitrógeno y fósforo total, así como de amoníaco y coliformes fecales. Pudimos corroborar que hay una relación directa entre los patrones de lluvia en el área y los conteos microbiológicos elevados. También pudimos encontrar que cuando hay flujos elevados en las corrientes se presentan conteos microbiológicos elevados también. Encontramos que uno de los factores que más contribuyó a las altas concentraciones de nitrógeno y fósforo total, así como de amoníaco y coliformes fecales, fueron las descargas de plantas de tratamiento de aguas usadas en incumplimiento de las normas establecidas en sus permisos de descarga. Pretendemos con este estudio crear conciencia sobre la importancia del rol fiscalizador que tienen las agencias reglamentadoras para exigir el cumplimiento de estos permisos, así como del compromiso que tienen las instalaciones con permiso de descarga, de descargar en cumplimiento con las normas establecidas en sus permisos y de seguir un plan de prevención de contaminación durante su operación. También pretendemos que se oriente al público sobre la contaminación en los cuerpos de agua, los peligros que esto representa para su salud y cómo pueden ellos ayudar en su prevención.

ABSTRACT

Our study focuses on water quality for La Plata River, based on data generated by different government agencies and its relation with precipitation patterns in the area, river flow, the use of the land, agricultural activities, animal pasture, the use of septic tanks and the functioning of the waste water treatment plants located in the river basin. The purpose of the study was to determine if there is any relation between all of these variables and the microbiological characteristics of the river and health implications. The methodology used in the development of our study was: the evaluation of the annual data generated by the United States Geological Survey upon three different sample points along the La Plata River basin, visual inspections of the basin and the analysis of information provided by different government agencies such as the “Junta de Calidad Ambiental” (JCA), the Environmental Protection Agency (EPA), the “Autoridad de Acueductos y Alcantarillados” (AAA) and the “Departamento de Recursos Naturales y Ambientales” (DRNA). We found that for the three sample points, the USGS informed high concentrations of total nitrogen, total phosphates and ammonium. They also informed height fecal coliforms counts. There was a direct relationship between precipitation in the area and the height fecal coliforms counts. We also found that, as the river flow rise, the coliforms counts also raise. The variable that contributes the most for the high concentrations of total nitrogen, total phosphates, ammonium and fecal coliforms was the waste water treatment plants. The treated water discharged by these treatment plants did not comply with the requirements established on its discharge permits. By our study we pretend to consciousness the regulatory agencies to enforce the treatment plants to comply with their discharge permits and to maintain Pollution Prevention Plans in order to assure their complying with permits requirements. Also, it is important to orient people about water pollution, its health hazards and how they can help in their prevention.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del problema

La contaminación en las aguas superficiales es un problema que aqueja al mundo entero. En la mayoría de los países del mundo la fuente que se utiliza para proveer el agua que consumen sus habitantes proviene de estas aguas superficiales (Grupo Editorial Norma, 1995). Puerto Rico no es la excepción, prácticamente toda el agua potable que se consume en nuestro país proviene de uno de nuestros ríos o embalses. El creciente desarrollo industrial y comercial, unido al desparrame urbano existente en nuestra isla, ha permitido que se lleven a cabo todo tipo de actividades a lo largo de nuestras cuencas. Estas actividades pueden comprometer la calidad de las aguas, al mismo tiempo que comprometen la salud de los habitantes que de ellas dependen (Colón, 2006).

Existen infinidad de estudios que relacionan la calidad de las aguas que se utilizan para la recreación, con la salud de la población que las utiliza. Se asocia el nivel de contaminación en el agua, con la magnitud de los peligros a la salud (Wade, Eisenberg & Colford, 2003). Las actividades que se llevan a cabo en vaquerías, porquerizas y granjas avícolas pueden contaminar nuestras aguas con microorganismos patógenos. Todas nuestras aguas superficiales están infestadas con bacterias coliformes, provenientes del colon humano o de descargas sanitarias, y con *Schistosoma mansoni*, organismo que provoca la bilharzia o schistosomiasis en el ser humano (Cerame, 2001). Las actividades agrícolas y las escorrentías pueden contribuir a la adición de nutrientes y a la sedimentación de los cuerpos de agua. La contaminación por nitrato de las aguas

superficiales está asociada a actividades agrícolas como la fertilización y la cría de ganado (Ayebo, 2006).

Otras actividades que pueden contribuir a la contaminación de las aguas son las descargas sanitarias, vertederos clandestinos cerca de cuerpos de agua que pueden comprometer su calidad por medio de sus lixiviados y derrames de aceites u otros derivados de petróleo así como todo tipo de sustancias peligrosas. Los tipos comunes de contaminantes que podemos encontrar en el agua son: organismos patógenos, materia orgánica, compuestos químicos tóxicos, ya sean de naturaleza orgánica e inorgánica y desperdicios sólidos (Colón, 2006).

Problema de estudio

Las actividades llevadas a cabo en la cuenca del Río La Plata pueden comprometer la calidad de sus aguas. No sólo la fauna y la flora del lugar pueden verse afectadas por la calidad del agua, sino también las personas que dependen de este cuerpo de agua para sus necesidades de consumo, así como para la pesca, recreación, lavar ropa o bañarse. Una pobre calidad en las aguas del río puede ocasionar enfermedades entre la población expuesta a este recurso. El Río La Plata está localizado en la porción central de la isla de Puerto Rico. Comprende una mezcla de usos de terreno como lo son urbanos, agrícolas y forestales (EPA, 2003). El “Environmental Quality Board” clasifica las aguas del Río La Plata como aguas superficiales para uso público, de propagación y preservación de especies así como de contacto para recreación primaria y secundaria (EPA, 2003). En la actualidad, el estándar aplicable para coliformes fecales es de 2,000 colonias por cada 100mL de agua (EPA, 2003). Al ser el río más largo de Puerto Rico

entra en contacto con la mayor cantidad de habitantes. Desde el Cerro La Santa en Cayey, donde nace, hasta su desembocadura en el Océano Atlántico por el pueblo de Dorado, entra en contacto con los habitantes de los pueblos de Cayey, Comerío, Toa Alta, Toa Baja y Dorado (Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, 1998).

Recientemente el Lago La Plata experimentó un episodio de derrame de aceites, pero esto no es lo único que compromete la calidad de las aguas del río. A lo largo de su cauce existen construcciones, canteras y un continuo movimiento de terreno que pone en riesgo de erosión las áreas que le rodean (Rivera, 2007). Estos procesos de erosión sedimentan el cuerpo de agua haciendo que ocurra un aumento en la turbidez de las mismas y por consiguiente comprometan su calidad. Otro fenómeno que aporta grandemente a la turbidez de sus aguas son grandes episodios de lluvia.

Existen una gran cantidad de datos en cuanto a nutrientes y contenido microbiológico que han sido reportados por diversas entidades gubernamentales y que no han sido evaluados de forma crítica e integral. Estos datos no se han relacionado de manera científica con el uso del terreno para actividades tales como la agricultura, el ganado, pozos sépticos, tuberías rotas, plantas de tratamiento, vertederos clandestinos o aceites usados entre otros. Tampoco han sido relacionados con los patrones de lluvia en el lugar ni con el flujo del cuerpo de agua.

Justificación del estudio

Las aguas del Río La Plata son utilizadas por los habitantes de los alrededores de la cuenca tanto para su uso doméstico como para su recreación. En adición, la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico (AAA), tiene lugares a lo largo de la

cuenca donde ubican tomas de agua para proveer de agua potable a los pueblos de Guayama, Arroyo, Cayey, Barranquitas y Naranjito. Es por esto que la calidad de las aguas del Río La Plata es de suma importancia ya que además de sus habitantes, existen otra gama de organismos así como de áreas de valor natural y ecológico que dependen o se relacionan con este cuerpo de agua (DRNA, 1998).

En las alturas de la cuenca se encuentra el Bosque de Carite, el cual ocupa unas 6,660 cuerdas. Allí están presentes tres zonas de vida: bosque muy húmedo sub-tropical, bosque muy húmedo montano bajo y bosque húmedo sub-tropical. Otras áreas de valor natural que se encuentran aledañas al río, están en Cayey y son hábitat de la Paloma Sabanera. Estas se encuentran en el Barrio Toíta, el Barrio Cedro y varias áreas de vegetación boscosa asociadas a cuerpos de agua. En Comerío, en el Barrio Naranjo, se encuentra la finca Longo que también es hábitat de la Paloma Sabanera. Además se encuentran áreas de cuevas en el Barrio Vega Redonda (Cueva Mora, Los Santos y Guaragua). En Toa Baja se ubica la Ciénaga San Pedro y el Río Cocal. Ambos son áreas de manglares y humedales designados por el DRNA como Área de Planificación Especial. Allí también ubican los mogotes Nevárez que se consideran área de especies en peligro de extinción (DRNA, 1998).

Como estableciéramos anteriormente, existen datos microbiológicos y de cantidad de nutrientes en el Río La Plata, que han sido reportados por entidades gubernamentales como: el “United States Geological Survey” (USGS, por sus siglas en inglés), la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), la Junta de Calidad Ambiental (JCA) y la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) y que no han sido evaluados crítica y científicamente. En adición a estos datos existen también datos

epidemiológicos del Departamento de Salud (DS) que relacionan brotes infecciosos en la población, con la utilización de las aguas del río tanto para uso doméstico como para la recreación.

Llevaremos a cabo esta investigación para poder evaluar todos estos datos de forma integral y poder aportar recomendaciones en cuanto al manejo de posibles peligros a la salud y al medio ambiente, asociados a la calidad de las aguas del Río La Plata. Es de esperarse que estos datos guarden relación con los eventos de lluvia, flujo de agua y las actividades humanas que se realizan a lo largo de la cuenca del río. Todos estos eventos comprometen la calidad microbiológica del cuerpo de agua así como la salud de las personas y animales que dependen del mismo.

Pregunta de investigación

¿Influyen los patrones de lluvia, flujo de agua, nutrientes y características microbiológicas, en la calidad del agua en el Río La Plata y en la salud de sus usuarios?

Meta

Determinar la relación entre los patrones de lluvia, flujo, nutrientes y características microbiológicas del Río La Plata y sus peligros potenciales a la salud.

Objetivos

1. Evaluar datos microbiológicos y de nutrientes, obtenidos por el USGS, la EPA, la JCA y la AAA con relación a la calidad del agua en el Río La Plata entre los años 1996 a 2006.
2. Relacionar estos datos con las variaciones en los patrones de lluvia, flujo de agua y actividades humanas a lo largo de la cuenca.
3. Evaluar posibles peligros a la salud y al ambiente general, relacionados tanto con la microbiología del lugar como con nutrientes y hacer recomendaciones para su control.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

En la mayoría de los países del mundo la fuente que se utiliza para proveer el agua que consumen sus habitantes proviene de las aguas superficiales. Estas aguas superficiales provienen de la lluvia que cae sobre una cuenca hidrográfica que drena o vacía en una quebrada, riachuelo o río. Los primeros españoles que llegaron a la isla de Puerto Rico se refirieron a ella como la “isla de los muchos ríos” (López & Villanueva, 2006). En comparación con otras partes del mundo, Puerto Rico es un lugar verdaderamente afortunado por sus recursos de agua, esenciales para la salud ambiental y económica de la isla y de sus residentes. Lamentablemente, la demanda del recurso y la presión ambiental sobre él, han provocado su degradación. Los procesos de industrialización y el desarrollo tecnológico han llevado a la introducción de contaminantes químicos peligrosos en las aguas (Maduka, 2006). Esto ha aumentado el número y nivel de contaminantes como los metales pesados, herbicidas, pesticidas, hidrocarburos policíclicos hidrogenados, desechos animales y humanos, entre otros (Maduka, 2006). La contaminación de las aguas se hace obvia cuando envuelve envenenamiento del agua potable o cuando causa la muerte de un gran número de peces u otros animales acuáticos (Maduka, 2006).

En Puerto Rico, prácticamente toda el agua potable que se consume proviene de uno de nuestros ríos o embalses. Nuestras aguas superficiales tienen que ser tratadas o depuradas antes de que puedan ser aprovechadas para consumo humano. La Autoridad de

Acueductos y Alcantarillados es la agencia que se encarga de hacer esta depuración y luego servir las aguas potables a la comunidad mediante un sistema de distribución. En la isla existen 21 cuencas hidrográficas principales compuestas por una densa red de ríos y quebradas que se originan en la Cordillera Central. Cada cuenca hidrográfica es un área topográficamente definida, recorrida por quebradas y canales que se conectan y descargan, en un mismo punto, agua, sedimentos y materiales disueltos (López & Villanueva, 2006). A pesar de que los ríos y quebradas son abundantes, son pocos los lugares propicios para construir grandes represas. Existen 14 represas principales en la isla, la mayoría fueron construidas entre 1930 y 1950 con el fin principal de producir energía hidroeléctrica. En la actualidad aunque no cumplen ese propósito, son la fuente más importante de agua potable. Más arriba de las represas, existen actividades humanas como la construcción y la agricultura, que remueven la vegetación y exponen el terreno a los efectos erosivos del agua.

En su recorrido desde el interior de la isla hacia la costa, el agua interactúa con el ambiente mediante toda una variedad de procesos químicos. Recoge y transporta una variedad de sustancias químicas, tanto naturales como sintéticas entre las que se encuentran gases disueltos, cationes y aniones, compuestos orgánicos, metales y toda clase de sedimentos que afectan de una u otra manera la calidad del agua. La calidad del agua es un concepto relativo que se refiere a las características físicas, químicas y biológicas medibles en el agua en relación con un uso específico (López & Villanueva, 2006). La idoneidad del agua para uso público se determina por lo general a base del sabor, el olor, el color y la cantidad de sustancias químicas que pueden poner en riesgo la salud de las personas que la utilicen. Los estándares de potabilidad se aplican al agua que

llega a los consumidores después de haber sido tratada para eliminar los contaminantes. Estos estándares no aplican para el agua en su origen, la cual suele necesitar una gran cantidad de tratamiento antes de que sea potable. Por otro lado, los estándares para los ríos y quebradas incluyen, por ejemplo, factores que determinan si se puede entrar en contacto con el agua para fines de recreación y si éstos pueden sustentar vida acuática.

Las fuentes principales de contaminación de agua son la ganadería y los desperdicios que generan los animales, el uso excesivo de fertilizantes, las escorrentías de usos urbanos que acarrearán desechos industriales y las aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas (López & Villanueva, 2006). La contaminación por nitrógeno la causan principalmente los desechos del ser humano y los animales y el uso excesivo de fertilizantes. En Puerto Rico los ríos y las quebradas con mayores concentraciones de nitrógeno son por lo general los que reciben descargas de zonas urbanas y agrícolas (López & Villanueva, 2006). Los coliformes fecales son bacterias que se encuentran en los intestinos de los mamíferos y se utilizan como índice de contaminación en las aguas sin tratar. La mayor concentración de coliformes fecales ocurre en los ríos y quebradas de áreas urbanas y suburbanas en las que se descargan aguas residuales sin tratar o tratadas inadecuadamente.

Por otro lado, los sedimentos son un contaminante de aguas superficiales que reduce la capacidad de almacenamiento en las represas, aumenta la turbidez, incrementa los costos de tratamiento de las aguas y disminuye el potencial recreativo de los cuerpos de agua y su capacidad como hábitat acuático. La fuente primaria de sedimentos es el terreno expuesto debido a la construcción y a la actividad agrícola (López & Villanueva, 2006). Otra de las fuentes de contaminantes de las aguas superficiales es la descarga de

aguas usadas. La mayor parte de las plantas de tratamiento del país son del nivel secundario. Es decir, que desinfectan y eliminan las partículas sólidas de las aguas residuales, pero dejan casi todo el nitrógeno y el fósforo en el agua que será descargada en los ríos y quebradas. Las plantas de tratamiento primarias, que están localizadas a lo largo de la costa, no desinfectan, sólo remueven los sólidos básicos de las aguas residuales que luego se descargan mar afuera (López & Villanueva, 2006). Las plantas a nivel terciario eliminan prácticamente todos los sólidos y los químicos del agua residual. Estas últimas son las que llevan a cabo el tratamiento de manera más costosa, por lo que están limitadas a sólo algunos puntos de la isla (López & Villanueva, 2006).

En Puerto Rico, la rápida industrialización ha transformado la economía agrícola, creando oportunidades de empleo y elevando los estándares de vida. Sin embargo todo este éxito está oscurecido por la contaminación extendida que arranca la capacidad estructural necesaria para la preservación de la calidad ambiental y la salud humana (Hunter & Arbona, 2004). Debido a la crisis en los vertederos sanitarios, la herencia de vertederos tóxicos y la contaminación en general que sigue en avance, casi todos nuestros ríos y embalses están afectados (Hunter & Arbona, 2004).

En 1947 una vez comenzada la operación Manos a la Obra y aprobada la Ley de Incentivos Contributivos (exención contributiva) se constituyó un período hasta 1959 de una expansión rápida de inversión de capital de Estados Unidos en Puerto Rico. Se fomentó la industrialización, cambiando la base de la economía de la isla, de una predominantemente agrícola (caña de azúcar, piña, café y tabaco), a la manufactura (Hunter & Arbona, 2004). Como consecuencia de este cambio hubo una gran migración de la zona rural a la urbana, especialmente a la zona metropolitana de San Juan (Hunter

& Arbona, 2004). No hay duda alguna de que la economía de Puerto Rico ha sufrido una rápida transformación desde sus raíces rurales hasta un presente de desarrollo industrial, manufacturero y urbanizado (Hunter & Arbona, 2004). Esta transformación incluye al Río La Plata, que como otros ríos, quebradas y embalses de la isla se ha visto afectado por la contaminación que este crecimiento y desarrollo industrial ha traído consigo.

El Río La Plata es el río más largo de Puerto Rico. Nace al suroeste del Cerro La Santa, al este del barrio Farallón en el municipio de Cayey. Se encuentra a una altitud aproximada de 2,625 pies (800 metros) sobre el nivel del mar. Su longitud es de aproximadamente 60.5 millas (97 kilómetros) desde su nacimiento hasta su desembocadura en el océano Atlántico, al norte de la isla, en el municipio de Dorado. Cruza los municipios de Cayey, Comerío, Toa Alta, Toa Baja y Dorado. Su área de captación es de 239 millas cuadradas (DRNA, 1998). El uso de la tierra alrededor de la cuenca tiene una mezcla de urbana y rural con cantidades considerables de área reforestada y tierras de pastoreo (EPA, 2003). Tiene una compleja red de tributarios que drenan en el cuerpo principal.

Los tributarios del Río La Plata son: Río Chiquito, Río Guavate, Río Matón, Río Usabón, Río Hondo, Río Arroyata, Río Cuesta Arriba, Río Guadiana, Río Cañas, Río Bucarabones, Río Lajas, Río Cocal, Río Nuevo, Quebrada Culebra, Quebrada Grande, Quebrada de la Caña, Quebrada El Cedro, Quebrada Beatriz, Quebrada La Zanja, Quebrada Santo Domingo, Quebrada Norillo, Quebrada Galindo, Quebrada Gómez, Quebrada Honda, Quebrada Tigre, Quebrada Prieta, Quebrada Piña, Quebrada Convento, Quebrada Higuero, Quebrada Blanca, Quebrada Cedrito, Quebrada del Juicio, Quebrada

Mula, Quebrada La Yegua, Quebrada Dajaos, Quebrada Cancel, Quebrada Ortiz, Quebrada China, Quebrada Abarca y Quebrada Méjico (DRNA, 1998).

El Río La Plata forma dos lagos: el Lago Carite y el Lago La Plata. El Lago Carite cubre un área superficial de 123.8 hectáreas. La operación del embalse tiene como propósito suplir las demandas de agua para uso industrial y agrícola en el área de Guayama. La capacidad actual del embalse es de aproximadamente 13,723,290 metros cúbicos y es propiedad de Autoridad de Energía Eléctrica. A lo largo del embalse los usos del terreno principalmente son de tipo residencial/rural con baja densidad. El Lago La Plata está localizado entre los municipios de Toa Alta, Naranjito y Bayamón. Su capacidad máxima es de 45,621,000 metros cúbicos y cubre un área de superficie de 404.7 hectáreas. Su función principal es suplir agua para uso doméstico e industrial al Área Metropolitana de San Juan. Alrededor de este embalse se ha desarrollado una intensa actividad residencial/urbana. Este crecimiento, unido a otros factores ambientales como lo son la deforestación y las escorrentías, entre otros, ha afectado la calidad de sus aguas. Entre los años 1993 al 1996 los promedios anuales de sedimentación suspendida fueron: 217,936.59 toneladas métricas para la Estación La Plata que se encuentra en Comerío, 37,504.73 toneladas métricas para el Río Guadiana y 683,189.85 para el Río La Plata en la parte baja del embalse (DRNA, 1998).

El suelo característico del 50% de la cuenca, está dominado por la asociación Múcara-Caguabo. Estos son suelos formados por roca volcánica, que se caracterizan por ser moderadamente profundos y escarpados con buen drenaje en las áreas montañosas. Estos suelos tienen problemas de pendientes, erosión, escorrentías y profundidad rocosa (DRNA, 1998). Esta asociación ocupa un área de 339 Km² aproximadamente en la

cuenca. En donde nace el Río La Plata domina la asociación Guineos-Humatas Lirios. Esta asociación consiste de suelos que forman material de textura fina y mediana derivada de roca intrusiva y extrusiva. Son suelos arcillosos, rojos y ácidos, con inclinaciones suaves pero escarpadas. Al ser suelos inclinados y escarpados están limitados para usos urbanos, agrícolas y recreativos. Esta asociación ocupa aproximadamente 12.9 Km² en el área de la cuenca. En la llanura de Cayey, el río atraviesa la asociación Mabí-Río Arriba, Sus suelos son profundos, arcillosos, con moderado buen drenaje y otros con poco drenaje en terrazas y laderas. Ocupa aproximadamente 20.7 Km² (DRNA, 1998).

La asociación Toa-Bajura-Coloso domina los llanos costeros e inundables. Son suelos profundos de buen a poco drenaje, arcillosos y magrosos. El peligro de inundaciones, su textura arcillosa y drenaje lento, limita el desarrollo de actividades agrícolas y no agrícolas. Ocupa 36.2 Km². Otras asociaciones de suelos presentes en la cuenca del Río La Plata son: Almirante-Espinosa-Vega Alta, Humatas-Naranjito-Consumo, Tanamá-Colinas-Soller y Maricao-Los Guineos. El promedio anual de lluvia en la cuenca es de unos 1,778 mm, tanto en la montaña como en los valles y costas (DRNA, 1998).

El Río La Plata sufre de agua a los municipios de Guayama, Arroyo, Cayey, Barranquitas y Naranjito. Esta cuenca alberga en sus límites territoriales cerca de 407,420 habitantes con una densidad poblacional de 677 habitantes por kilómetro cuadrado (DRNA, 1998). Existen diversas fuentes que contaminan el río, entre ellas se encuentran: las plantas de tratamiento de aguas negras de los pueblos de Cayey, Aibonito, Barranquitas, Comerío, Naranjito, Toa Alta, Toa Baja y Dorado. Existen también

descargas de desperdicios domésticos que son arrojados a la Quebrada Santo Domingo de Cayey, el Río Barranquitas, y el Río Aibonito y todos ellos llevan agua al Río La Plata. Una de las quebradas tributarias del río atraviesa el centro del pueblo de Toa Baja y recibe toda la contaminación de ese pueblo así como la Quebrada Santo Domingo que también atraviesa el pueblo de Cayey recibiendo la contaminación de ese pueblo, contaminación que va a parar al Río La Plata.

La Ley Federal de Agua Limpia en su sección 305 (b) requiere, que cada estado o territorio informe cada dos años sobre la calidad de las aguas existentes en sus cuerpos. La JCA utiliza su Reglamento de Estándares de Calidad de Agua para establecer los usos que deben prevalecer en los distintos cuerpos de agua y los límites máximos o mínimos permitidos para ciertas sustancias (JCA, 2005). Para propósitos de evaluación de la calidad del agua, la cuenca hidrográfica del Río La Plata tiene ocho segmentos evaluados con estaciones de muestreo (Servicios Científicos y Técnicos, 2003). En los lugares donde no se toman muestras, la evaluación es basada en querellas de los ciudadanos, inspecciones llevadas a cabo por el personal técnico, el inventario de fuentes potenciales de contaminación existente, informes sobre mortandad de peces, derrames de sustancias peligrosas o el cumplimiento de permisos otorgados por la EPA y la JCA (JCA, 2005).

Marco conceptual o teórico

Contaminacion de las aguas

El agua existe de muchas formas, pero es en su forma líquida la que permite la subsistencia en nuestro planeta Tierra. La encontramos en lagos, ríos, lagunas y quebradas, a lo que le llamamos aguas superficiales. En la mayoría de los países del

mundo la fuente principal que provee el agua que consumen sus habitantes, proviene de las aguas superficiales. Estas aguas superficiales provienen de la lluvia que cae sobre una cuenca hidrográfica que es una superficie natural donde se captan las aguas de lluvia que caen en el suelo, además del agua de los ríos, quebradas y otros cuerpos de agua cercanos (JCA, 2005). En algunos países el valor del agua excede el del petróleo. Su disponibilidad puede ser un elemento determinante para el surgimiento de una actividad económica o el desarrollo de un asentamiento humano en algún lugar específico (JCA, 2004). Aunque en Puerto Rico no es de por sí un derecho constitucional el acceso al agua, en la cantidad y calidad necesaria para el disfrute de la vida, es un derecho universal inalienable de los ciudadanos que los gobiernos tienen la responsabilidad de respetar, proteger y cumplir (JCA, 2004). El continuo crecimiento poblacional y el desarrollo urbano están causando un efecto adverso en las aguas superficiales. El crecimiento urbano resulta también en problemas de erosión del terreno y escorrentías que contaminan nuestras aguas (Shehane, Harwood, Whitlock & Rose, 2004).

Se entiende por contaminación de las aguas, cualquier cambio tanto físico como químico que ocurra en ellas y que pueda afectar de manera adversa a cualquier organismo. Aunque como en otros problemas de índole ambiental, la contaminación del recurso agua es de magnitud global, el tipo de contaminación puede variar de acuerdo al nivel de desarrollo que tenga el lugar donde ocurre. Si hablamos de naciones que están menos industrializadas, la fuente de contaminación proviene en su mayoría de los desechos tanto humanos como de animales, los organismos patógenos que se encuentran en estos desechos, así como los pesticidas y la sedimentación causada por la agricultura.

Si nos referimos a naciones con un alto grado de industrialización, entonces la contaminación de las aguas proviene del calor, metales tóxicos, ácidos, pesticidas y compuestos químicos orgánicos e inorgánicos producidos por estas mismas industrias. Los contaminantes de las aguas pueden provenir de fuentes naturales así como de fuentes antropogénicas. Estos contaminantes no respetan barreras, un contaminante producido en un lugar, puede afectar la calidad de las aguas de un lugar más lejano que se encuentre aguas abajo (Chiras, 2001). El agua es un recurso móvil, por lo que el uso y desarrollo del agua puede tener consecuencias significativas en otros lugares de la cuenca que la produce, o en otras cuencas donde se transporta (JCA, 2004).

Existen dos fuentes principales de contaminación en nuestras aguas: fuentes precisas y fuentes dispersas. La contaminación por fuentes precisas está relacionada a actividades como: el programa de permisos del Sistema Nacional para Eliminar los Desperdicios Contaminantes (NPDES, por sus siglas en inglés), el control de inyecciones subterráneas, el control de tanques de almacenamiento subterráneo, tubos o cañerías sanitarias rotas o aguas negras (Environmental Quality Board, 2000). La contaminación por fuentes dispersas proviene mayormente de actividades agrícolas, minería, proyectos de construcción, escorrentías urbanas, vertederos mal operados, descargas de aguas negras, erosión del terreno y sedimentación (Environmental Quality Board, 2000). Por lo menos cuando nos enfrentamos a fuentes precisas de contaminación, al ser fuentes de contaminación conocidas, puede ser más sencilla su identificación y su control. El problema está cuando nos enfrentamos a fuentes de contaminación dispersas como las provenientes de las actividades agrícolas o simplemente el aceite que los automóviles derraman en una calle vecinal. Son más difíciles de controlar las escorrentías de agua de

lluvia que transportan todo el aceite que se encuentra depositado en una calle, así como los pesticidas o fertilizantes que se utilizan en la agricultura. Los mismos pueden ser arrastrados hasta un caño vecinal o una quebrada que es tributaria de algún río. En Puerto Rico, la contaminación por fuentes dispersas es la mayor amenaza para los cuerpos de agua y el medio ambiente. Se han identificado cinco (5) fuentes principales de contaminación por fuentes dispersas en nuestras aguas superficiales (Environmental Quality Board, 2000):

- ❖ Urbana – el desarrollo y construcción de áreas urbanas, carreteras, calles, estacionamientos, expresos y puentes.
- ❖ Agrícola – cultivos, ganadería, granjas avícolas, cerdos y conejos entre otros.
- ❖ Marinas – áreas para el resguardo y servicio de embarcaciones.
- ❖ Hidro-modificaciones - alteraciones, actividades de restauración en orillas de ríos y quebradas, canalización y construcción de represas.
- ❖ Minería – extracción de arena, grava y materiales de la corteza terrestre.

Aunque la contaminación de un río puede ser accidental o por causas naturales, como vemos, casi siempre la contaminación se debe a contaminantes que han sido producidos por el hombre los cuales llegan a los ríos, en la mayoría de los casos, a través de las aguas residuales de las ciudades, del agua utilizada para la agricultura y del agua procedente de la actividad industrial (Grupo Editorial Norma, 1995).

El hombre se puede ver afectado por la contaminación en los cuerpos de agua debido a que utiliza este recurso para su consumo o por recreación. Se puede exponer a la contaminación existente en los cuerpos de agua por medio de la ingestión o por medio del contacto directo con la piel. Por medio de la ingestión, los humanos pueden adquirir

enfermedades gastrointestinales debido a contaminantes patógenos como virus, bacterias o protozoarios. Los síntomas por ingestión incluyen dolor abdominal, náuseas, diarrea, dolor de garganta, tos y dolor de cabeza entre otros (Colón, 2006). Por contacto dermal, al utilizar cuerpos de agua por motivos de recreación, ocurre contacto directo con aquellas partes del cuerpo expuestas y que pueden ser sensitivas como oídos, ojos, boca y garganta, de modo que se pueden adquirir infecciones de la piel, ojos, garganta o del oído medio (Colón, 2006). Las aguas que se utilizan con motivos recreacionales son monitoreadas para proteger la salud de sus usuarios de contraer enfermedades infecciosas producidas por patógenos asociados a la contaminación de las mismas (Wiedenmann, Kruger, Dietz, López, Szewzyk & Botzenhart, 2006). Existen diferentes agentes que contaminan el agua y todos ellos causan problemas tanto al ambiente como a las personas que dependen de este valioso recurso. Entre esos agentes se encuentran:

Contaminantes del agua

Materia orgánica

Los contaminantes orgánicos contienen hidrógeno, carbono y oxígeno, como por ejemplo, los compuestos derivados del petróleo como la gasolina y el aceite, los solventes, agentes limpiadores, bifenilos policlorinados, así como los desechos animales y humanos (Maduka, 2006). Estos constituyen una seria fuente de contaminación para las aguas. Algunos de estos contaminantes se ha encontrado que pueden causar cáncer y otros efectos adversos para la salud de los humanos (Maduka, 2006). Estos contaminantes orgánicos tienen las características de que son tóxicos, inflamables, corrosivos y con una gran tendencia a permanecer en el cuerpo (Maduka, 2006). Los ríos, quebradas y lagos

tienen contaminantes de naturaleza orgánica e inorgánica que vienen a ser nutrientes tanto para plantas como para otros organismos.

La materia orgánica mayormente proviene de fuentes precisas de contaminación como plantas de tratamientos de aguas, industrias o desechos de animales o humanos. En las aguas superficiales esta materia orgánica es consumida naturalmente por las bacterias. Si la materia orgánica es abundante entonces la población de bacterias aumenta. En el agua de río viven bacterias que lentamente descomponen la materia orgánica procedente de los restos de seres vivos o excrementos que llegan directamente al río a través de las aguas residuales o procedentes de los centros urbanos.

A medida que las bacterias consumen toda esa materia orgánica, están ayudando a purificar las aguas y a su restauración de manera natural (Grupo Editorial Norma, 1995). Pero para llevar a cabo esta descomposición, las bacterias necesitan consumir el oxígeno que está disuelto en el agua. Si la cantidad de materia orgánica es excesiva, la degradación será mayor y esto trae como consecuencia la utilización de los niveles de oxígeno que están disueltos en el agua. En el momento que estos niveles de oxígeno disminuyen, se afecta la población de organismos que dependen de él para sus actividades metabólicas, provocando asfixia y muerte de los peces y otros organismos acuáticos. Esto a su vez beneficia a bacterias anaerobias que como parte de su metabolismo producen olores y sabores desagradables además de gases tóxicos en las aguas (Chiras, 2001).

Otro factor importante es que tanto la materia orgánica, las sustancias químicas como los plaguicidas, los productos radioactivos o el calor, son algunos de los

contaminantes que una vez llegan al río pasan de un organismo a otro y de comunidad en comunidad (Grupo Editorial Norma, 1995).

Nutrientes inorgánicos (nitrato y fosfato)

Los nutrientes inorgánicos son compuestos químicos entre los cuales los más importantes son el nitrógeno y el fosfato. En países como España, China y Taiwan, recientemente se ha encontrado que la exposición al consumo de agua contaminada con nitrato está asociada a un aumento en cáncer gástrico (Criss & Davisson, 2004). A diferencia de los nutrientes orgánicos que estimulan la proliferación de bacterias acuáticas, los nutrientes inorgánicos promueven el crecimiento de plantas acuáticas (Chiras, 2001). Las plantas tanto como los animales necesitan del nitrógeno como elemento necesario para la síntesis de proteínas.

El nitrógeno está contenido primordialmente en la forma de amoníaco y nitratos. Las bacterias fijan el nitrógeno molecular y lo convierten en amoníaco (NH_4^+) y en nitrato (NO_3^-) que puede ser utilizado por las plantas acuáticas. El amoníaco también puede ser liberado por las bacterias al consumir plantas acuáticas y restos de animales. Hay bacterias que están especializadas para oxidar el amoníaco y formar nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3^-). Cuando hay una cantidad excesiva de nutrientes en el agua, se estimula el crecimiento de plantas, algas y bacterias en un proceso conocido como eutroficación. En un principio la eutroficación estaba limitada a lagos ya que debido a su naturaleza lótica con poca velocidad de flujo, permitía el crecimiento excesivo de biomasa (Balcerzak, 2006).

En la actualidad la eutroficación afecta también a los ríos, siendo las algas azul-verdosas y las diatomeas el crecimiento predominante (Balcerzak, 2006). Al incrementarse el nitrógeno y el fósforo en el agua, provenientes de fertilizantes y detergentes, se convierten en factores limitantes para el crecimiento de la flora microbiana autóctona del cuerpo de agua. Debido a esto ocurre un crecimiento masivo de plantas acuáticas y algas azul-verdosas (cianobacterias) que consumen el oxígeno disuelto disponible matando la micro biota aerobia del lugar y permite el establecimiento de bacterias patógenas de tipo anaerobias (Torres, 2007).

Los florecimientos de cianobacterias se han tornado muy comunes en los Estados Unidos y eso incluye a Puerto Rico. Las cianobacterias le imparten colores, olores y sabores desagradables a los cuerpos de agua (Antoniou, De La Cruz & Dionysiou, 2005). Más importante aún son la producción y liberación de compuestos tóxicos que alteran dramáticamente la calidad de los cuerpos de agua (Antoniou, De La Cruz & Dionysiou, 2005). La exposición a estas toxinas puede afectar a los animales, causa bio-acumulación en los tejidos de animales acuáticos, e indirectamente afecta a otros organismos por medio de la cadena alimentaria. No existen guías o regulaciones para las cianobacterias y sus cianotoxinas en términos de niveles máximos de contaminación (MCL, por sus siglas en inglés) y en cuanto a métodos analíticos de detección (Antoniou, De La Cruz & Dionysiou, 2005).

Las cianobacterias liberan toxinas como un producto alterno de su metabolismo y como producto de la lisis cuando la célula muere. Entre las cianotoxinas se encuentran las dermatotoxinas que son toxinas irritantes a la piel y otros órganos, las citotoxinas que causan daño celular, las hepatotoxinas que causan daño al hígado y las neurotoxinas que

afectan el sistema nervioso (Antoniou, De La Cruz & Dionysiou, 2005). Las toxinas de mayor preocupación en los Estados Unidos son las hepatotoxinas y las neurotoxinas. La susceptibilidad de cada individuo dentro de un grupo de personas igualmente expuestas a cualquiera de estas toxinas, varía con la edad, sexo y hábitos sociales como el fumar y el consumir alcohol (Maduka, 2006). A las hepatotoxinas se les conoce como promotoras del cáncer de hígado. Esta toxina es sumamente estable y puede persistir en las aguas por varios días antes de su degradación, es la más tóxica y la más frecuente en los recursos acuáticos (Antoniou, De La Cruz & Dionysiou, 2005).

Se han reportado casos de intoxicación tanto en humanos como en animales en países como Estados Unidos, Australia, China, Gran Bretaña y Brazil, de hecho el primer incidente fatal ocurrió en Brazil en el 1996. Las toxinas generadas por las cianobacterias están listadas en la lista de candidatos contaminantes de agua potable (“Drinking Water Contaminant Candidate List”) de la Agencia de Protección Ambiental. Como mencionáramos antes al no existir guías ni regulaciones para las cianotoxinas, países como Australia, Canadá, Nueva Zelanda y Francia han fijado sus propios límites de 1.3, 1.5, 1.0 y 1.0 $\mu\text{g/L}$ respectivamente lo cual no ha hecho Estados Unidos (Antoniou, De La Cruz & Dionysiou, 2005). Además de la falta de regulación existe la necesidad de desarrollar métodos analíticos altamente sensitivos para la detección de las citotoxinas. Se ha experimentado con métodos como la cromatografía líquida de alta presión (HPLC, por sus siglas en inglés), espectrometría de masa (MS), cromatografía de gases (GC) y ensayos bioquímicos como ELISA (Enzyme-linked Immunosorbent Assay) entre otros.

Además de las cianobacterias, el crecimiento excesivo de plantas produce un impacto tanto en los humanos como en el ambiente. Esta proliferación de plantas impide

la recreación ya que imposibilita el nadar, navegar y practicar otros deportes acuáticos. También afecta la pesca lo cual sería sumamente peligroso si se utiliza como fuente de alimentación para alguna comunidad. El intenso crecimiento biológico y la floración de algas también afecta las tomas de agua y la operación de las plantas de tratamiento, afectando su tecnología y finalmente la calidad del agua (Balcerzak, 2006). Como resultado de los cambios en las características de la calidad del agua, su proceso de tratamiento se ve afectado así como los costos de producción y distribución (Balcerzak, 2006). Las aguas residuales son el mayor contribuyente de nitrato en los ríos por causas antropogénicas. Estas aguas pueden ser descargadas a los cuerpos de agua por descargas sanitarias ilegales y pozos sépticos que no funcionan apropiadamente. La industria agrícola también es una fuente de contaminación por nitrato (Instituto de Educación Ambiental, 1992).

Los detergentes son otra importante fuente de contaminación de cuerpos de agua. La mayoría de los detergentes contienen fósforo que induce el crecimiento de plantas acuáticas como los Jacintos. El fósforo se encuentra en forma de fosfatos. Una vez estas plantas cubren la superficie del cuerpo de agua, no permiten que la luz solar penetre impidiendo así la fotosíntesis y disminuyendo los niveles de oxígeno disuelto en las aguas (Instituto de Educación Ambiental, 1992). La falta de oxígeno induce a la mortandad de organismos principalmente peces.

Agentes infecciosos

El agua puede ser contaminada por agentes patógenos como lo son: bacterias, protozoarios y virus. El riesgo a la salud humana producido por infecciones asociadas a

cuerpos de agua se puede determinar de manera más sencilla determinando la concentración de bacterias en el agua (Hamze, Hassan, Thomas, Khawlie & Kawass, 2005). Las bacterias originadas a partir de desechos tanto de animales como de humanos proveen una clara evidencia de que ha habido disposición de desechos en los cuerpos de agua y son a su vez un indicativo de que existe una necesidad urgente de establecer estrategias de manejo (Hamze, Hassan, Thomas, Khawlie & Kawass, 2005). Si la fuente de contaminación en el agua es de tipo microbial, se pueden contraer enfermedades como la hepatitis, el polio de tipo viral, la fiebre tifoidea, la disentería amoébrica, el cólera, la schistosomiasis y la salmonelosis entre otras (Maduka, 2006).

Estas enfermedades son sumamente dañinas si atacan niños, ancianos o personas inmunocomprometidas. La fuente principal de estos agentes infecciosos son: aguas usadas que no han sido tratadas apropiadamente, desechos animales provenientes de industrias ganaderas, avícolas o porquerizas, industrias que empacan carnes o algunas especies silvestres que transmiten enfermedades (Chiras, 2001). Conteos elevados de bacterias coliformes fecales en aguas superficiales, están asociados con múltiples formas de disturbios antropogénicos en lugares adyacentes al cuerpo de agua (Kirby-Smith & White, 2006). Grandes episodios de lluvias pueden ocasionar que las plantas de tratamiento de aguas usadas se desborden y lleguen a los ríos resultando en contaminación de los mismos.

Durante épocas de lluvia la contaminación puede empeorar debido a las inundaciones y escorrentías. A las escorrentías que se suscitan luego de un episodio de lluvias, se les considera como el mecanismo de transporte más importante de coliformes fecales a los cuerpos de aguas superficiales (Kirby-Smith & White, 2006). La fuente

mayor de bacterias cuando ocurren tormentas incluyen animales domésticos (mascotas), vida silvestre (mayormente pájaros), contaminación fecal humana (proveniente de descargas sanitarias), sistemas de recolección de desperdicios sólidos, acumulación de sedimentos entre otros (Marsalek & Rochfort, 2004). De acuerdo al “United States Geological Survey” (USGS), el 35% de los ríos tienen niveles inaceptables de bacterias.

En los Estados Unidos durante los años 1971 al 2000 se reportaron 259 brotes de infecciones de los cuales resultaron 21,740 personas enfermas, se contabilizaron 36 visitas a salas de emergencia, 206 hospitalizaciones y 28 muertes. 58% de los casos fueron asociados a organismos protozoarios y el resto a bacterias (Craun, Calderón & Craun, 2005). Las bacterias coliformes en cuerpos de aguas naturales son indicadores inequívocos de la presencia de patógenos. *Escherichia coli* es el mayor indicador de contaminación fecal. El no detectar *E. coli* en cuerpos de agua durante largos períodos en ausencia de desinfección y con un muestreo frecuente, es la mejor forma de demostrar que existe una buena protección del recurso agua (Kirby-Smith & White, 2006). Una detección ocasional de la bacteria no indica necesariamente contaminación fecal pero está más relacionada con eliminaciones incidentales o con una protección insuficiente del recurso.

Clostridium, un reductor de sulfito, es considerado también una evidencia de contaminación fecal. Su espora es mucho más resistente que las formas vegetativas de coliformes fecales y que el estreptococo fecal y es evidencia de una contaminación que data de mucho tiempo y ha sido intermitente (Kirby-Smith & White, 2006). *Cryptosporidium parvum* es un parásito causante de enfermedades asociadas a la pobre calidad del agua. La fuente principal de contaminación son las descargas provenientes de

la actividad ganadera cerca de los ríos (Gorospe, 2006). También puede ocurrir una exposición luego de un evento climático drástico como una tormenta. Las escorrentías fluyen sobre terrenos contaminados con desechos animales y estos llegan a los cuerpos de agua (Gorospe, 2006).

La cryptosporidiosis es una enfermedad que causa diarrea, dificulta la absorción intestinal y lleva a la mortandad en niños mal nutridos de todo el mundo (Gorospe, 2006). Los quistes de *Cryptosporidium* debido a su pequeño tamaño, pueden pasar a través de los métodos tradicionales de filtración de agua y son resistentes a la cloración. La severidad de su infección varía debido a la condición inmunológica de cada persona expuesta al organismo. Personas inmunocompetentes pueden experimentar síntomas que van desde molestia abdominal, anorexia, náusea o diarrea que pueden persistir de dos a tres días (Gorospe, 2006). En cambio personas inmunocomprometidas pueden experimentar cryptosporidiosis crónica donde sus diarreas pueden persistir más de dos semanas, pueden desarrollar una peritonitis, tener efectos en el tracto biliar, páncreas y hasta pulmones (Gorospe, 2006). No existe un tratamiento consistentemente efectivo para tratar la infección y con algunas drogas experimentales se necesita alcanzar dosis que resultan en niveles tóxicos al humano para poder reducir el parásito (Gorospe, 2006).

En Puerto Rico lamentablemente todas nuestras aguas superficiales están contaminadas con bacterias coliformes que provienen de las heces fecales tanto de animales como de humanos o de las descargas sanitarias (Cerame, 2001). Se le da mucho énfasis a la descarga de excremento humano que afecta nuestras aguas superficiales, pero casi nunca se le da importancia a las descargas de excremento animal las cuales provienen de ganaderías, lecherías, porquerizas o granjas avícolas. La cantidad de

excremento animal que va a nuestras aguas superficiales puede ser mayor en algunos lugares de la isla que la cantidad de excremento humano que llega al ambiente (Cerame, 2001). Existen también descargas clandestinas de inodoros, letrinas o pozo muros que llegan a nuestras quebradas, ríos y lagos (Cerame, 2001). Las aguas superficiales reciben también descargas industriales clandestinas. Estas pueden venir tanto de industrias pequeñas como garajes, talleres de mecánica y de hojalatería o lavanderías, así como de industrias mayores.

Sedimentos

Los sedimentos son un contaminante líder debido a su volumen. Consisten de partículas de sucio y arena y son el producto secundario de prácticas poco planificadas en la agricultura, la minería y la construcción. La agricultura por ejemplo, aumenta la razón de erosión unas cuatro a ocho veces más que la razón normal. Tanto la construcción como la industria minera pueden aumentar la razón de erosión de diez hasta 200 veces (Chiras, 2001). Se le conoce como sedimentación al proceso de deposición de sedimentos en las aguas superficiales produciendo un impacto social, económico y ambiental. La sedimentación (resultante de actividades agrícolas, extracción de material de la corteza terrestre, desarrollos urbanísticos, incluyendo la implantación de infraestructura como carreteras, sistemas pluviales y sanitarios, en las áreas de captación de las cuencas de los lagos) y los altos niveles de nutrientes, generados por actividades agrícolas así como los sistemas de deposición en el terreno de aguas usadas, han sido identificados como dos factores importantes que podrían estar contribuyendo a los bajos niveles de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua (JCA, 2004). Los sedimentos que

quedan suspendidos pueden hacer que disminuya la penetración de la luz solar lo que puede impedir el crecimiento de plantas acuáticas y alterar la cadena alimentaria. La sedimentación en los cuerpos de agua puede traer otros problemas como la reducción en la recreación (ya sea la pesca o la natación) e impedir la navegación. También algunos contaminantes como los pesticidas, nitratos y fosfatos provenientes de las actividades agrícolas, pueden adherirse a los sedimentos extendiendo su tiempo de vida y su impacto (Chiras, 2001).

Estudios de casos

La problemática ambiental de la contaminación de los recursos de agua es un problema de todos. No quedaría ningún lugar del mundo donde no tuviéramos que mencionar al menos un caso que involucrara contaminación de este recurso.

“Love canal”

En 1880 el Sr. William T. Love comenzó la construcción de un canal que correría desde el Río Niágara, hasta un punto del río bajo las cataratas del mismo nombre. Esta canal sería utilizado para desviar agua a una planta eléctrica que produciría energía a futuras industrias, pero el canal nunca fue completado. En 1942, la Compañía “Hooker Chemical” acordó con Love depositar desperdicios peligrosos en el canal y desde 1947 hasta el 1952 se dispusieron en el área sobre 20,000 toneladas métricas de desperdicios altamente tóxicos y carcinógenos que incluían dioxinas.

En el 1952 la ciudad adquirió las tierras para la construcción de una comunidad residencial y una escuela elemental. Hooker nunca reveló los peligros asociados al terreno ya que selló el lugar con una capa de arcilla y luego “topsoil”. Durante la

construcción de la escuela en 1954, los constructores removieron la capa de arcilla y esto dio paso a la liberación de los contaminantes ya a que los barriles tenían liqueos debido a la corrosión. Luego durante un episodio de grandes lluvias a comienzos de 1970, los contaminantes químicos fueron transportados a diferentes lugares incluyendo a cuerpos de agua. Pruebas realizadas al agua en 1978 detectaron 82 contaminantes químicos de los cuales 12 eran carcinógenos conocidos.

En ese mismo año se descubrió que una de cada tres mujeres embarazadas, abortaban, y que cinco de 24 niños tenían defectos de nacimiento. Otro estudio reveló que los niños nacidos y que vivían en el área entre los años 1974 y 1978, también tenían defectos de nacimiento. Las estadísticas para defectos de nacimiento en el área eran de uno en cinco nacimientos comparado con la razón normal de uno en diez y para abortos, la estadística era de 25 en 100 embarazos cuando la norma era de 8 en 100 embarazos. El asma prevalecía 4 veces más en el área que en otras regiones. Los desórdenes urinarios y convulsivos eran tres veces mayores. También era elevada la incidencia de infecciones nasales y respiratorias así como el dolor de cabeza.

En 1980 se encontró que había un alto nivel de daño genético entre los residentes del área. En 1987 la EPA comenzó un plan de limpieza y recontaminación del área afectada que le costó aproximadamente 272 millones de dólares a la ciudad de Nueva York y al gobierno federal (Chiras, 2001).

Contaminacion con *Cryptosporidium* en Milwaukee

En 1993, 312,000 residentes de Milwaukee, Wisconsin, desarrollaron síntomas de flu, luego de consumir agua contaminada. El agua estaba contaminada con

Cryptosporidium, un protozooario parásito. Ocho personas murieron a consecuencia de la epidemia. Este parásito vive en el intestino de vacas, cerdos y pollos y se cree que sus huevos fueron a parar al Río Milwaukee y luego al lago después de unas lluvias intensas. La planta de tratamiento de la ciudad, descarga a sólo tres millas del río. Días antes de la epidemia, el sistema de tratamiento de la planta de filtración tuvo problemas y no estuvo operando a su máxima eficiencia y millones de huevos entraron al sistema (Chiras, 2001).

Casos de contaminación en Puerto Rico

En el 1977 en Puerto Rico se reportaron 7,800 casos de gastroenteritis epidémica en el pueblo de Comerío. Se llegó a la conclusión de que la enfermedad se debía a la mala cloración del agua y a contaminación bacteriológica general de las aguas superficiales. En 1987, 2,000 casos de gastroenteritis se reportaron en el pueblo de Aguada. La investigación subsiguiente reveló que debido a rupturas en las tuberías de suministro de agua potable, se interrumpió el servicio por seis días provocando la proliferación de bacterias lo que a su vez propagó la enfermedad.

También en 1987 en el pueblo de Yauco, se dio un brote de gastroenteritis en 800 personas en tres barrios rurales donde *E. coli* fue identificado como el principal patógeno. En agosto de 1991, 9,000 personas en el pueblo de Las Piedras fueron reportadas con casos de gastroenteritis aguda. El mismo año, 202 personas fueron reportadas con la misma condición dentro de una institución carcelaria. Otros 9,847 casos de gastroenteritis a través de toda la isla fueron relacionados con el sistema de agua de la comunidad que al ser un sistema de agua de tanques, permite que haya un crecimiento de las bacterias presentes (Hunter & Arbona, 2004). Entre las explicaciones que se dan sobre

el origen de estos brotes están: la reanudación del suministro de agua después de una interrupción en donde no se ha tomado la precaución de hervir el agua para matar las bacterias que han proliferado, descargas de desperdicios en el río de fuente, falta de cloración y filtración y el drenaje insuficiente del agua estancada en tuberías y tanques.

En la actualidad, una serie de construcciones, una cantera y movimientos de terreno para usos agrícolas sin medidas que controlen la erosión en lugares muy cercanos a las compuertas de la represa y la toma de extracción de aguas crudas de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA), son factores que están deteriorando tanto el río como el Lago La Plata. Existen problemas de sedimentación en el embalse debido a un problema de erosión ocasionado por la construcción de la urbanización Monte Lago. Hay una sección del embalse en la cual se está formando un banco de sedimentos que impide la navegación. En adición, el aumento en turbidez por la erosión y la sedimentación provocan como resultado que se tenga que gastar demasiado dinero en la compra de químicos para poder potabilizar el agua.

En ocasiones hay que paralizar la producción de agua hasta que se reduce la turbiedad y se puede manejar la planta. En enero de 2007, el Lago La Plata se vio afectado por un derrame de aceites usados, provenientes de un vertedero clandestino cerca de sus orillas y el banco de sedimentos obstaculizó los trabajos de descontaminación del derrame (Rivera, 2007).

En días recientes, (finales de marzo de 2007), se reportó una masiva muerte de peces en las aguas del canal que queda cercano al Parque Lineal de Hato Rey. Las aguas de este canal desembocan en la Bahía de San Juan. La razón principal para que ocurrieran estas muertes de peces fueron descargas de aguas sanitarias de las cuales aun no se sabe

su procedencia (Cordero, 2007). Cuando ocurren estas descargas, la materia orgánica que depositan en las aguas hace que eventualmente disminuya la concentración de oxígeno disuelto en las mismas, provocando así la muerte de organismos acuáticos.

Marco legal

Para mantener el grado de pureza del recurso agua, así como para asegurar el abasto del recurso y protegerlo de las adversidades de la escasez, mal uso y la contaminación, se han adoptado leyes y reglamentos que establecen mecanismos de planificación y administración necesarios para proteger y asegurar el uso más eficiente de este recurso (JCA, 2004). El aprovechamiento de nuestras aguas superficiales y subterráneas cae bajo la jurisdicción del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) que es el custodio de las aguas en Puerto Rico. Descargas a nuestras aguas cae bajo la jurisdicción del Departamento de Salud (DS), la Junta de Calidad Ambiental (JCA), la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) y la Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) (Cerame, 2001).

Leyes federales

La ley de Agua Limpia establece la estructura básica para regular las descargas de contaminantes en las aguas de los Estados Unidos. Esta ley le dio la autoridad a la EPA para implementar programas de control de contaminación así como establecer estándares de aguas usadas para la industria. Continuamente establece requerimientos de estándares de calidad para todo contaminante en las aguas superficiales. Es contra la ley el descargar

cualquier contaminante en las aguas navegables a menos que se obtenga un permiso. La ley también financia la construcción de plantas de tratamiento y reconoce la necesidad de atender la problemática de las fuentes de contaminación dispersas (Ley de Agua Limpia, 1972).

La Ley de Agua Segura para Tomar (SDWA, por sus siglas en inglés), la cual fue promulgada originalmente en el año 1974 y cuya última enmienda fue en el año 1996 es una ley federal que asegura la calidad del agua que tomamos así como sus fuentes tales como ríos, quebradas, lagos, reservas y aguas subterráneas. Esta ley faculta a la EPA a establecer estándares de calidad para las aguas que consumimos con el propósito de proteger a la ciudadanía contra contaminantes naturales o producidos por el hombre. Fiscaliza que los estados, localidades y suplidores de agua implementen estos estándares (SDWA, 1974).

Leyes estatales

La Ley número 416 del 22 de septiembre de 2004, Ley Sobre Política Pública Ambiental, establece que es política pública del Estado Libre Asociado de Puerto Rico, la utilización de todos los medios y medidas prácticas con el propósito de alentar y promover el bienestar general, para crear y mantener las condiciones bajo las cuales los seres humanos y la naturaleza puedan existir en armonía productiva y cumplir con las necesidades sociales y económicas y cualesquiera otras que puedan surgir con las presentes y futuras generaciones de puertorriqueños (Ley Sobre Política Pública Ambiental, 2004). Esta ley no solo atiende la administración y protección del ambiente sino que dio origen a la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico como agencia

reguladora dedicada al control de la contaminación y la degradación ambiental (Ley Sobre Política Pública Ambiental, 2004).

La Ley Sobre Política Pública Ambiental tiene como propósito: establecer una política pública que estimule una deseable y conveniente armonía entre el hombre y su medio ambiente, fomentar los esfuerzos que impedirían o eliminarían daños al ambiente y la biosfera y estimular la salud y el bienestar del hombre, enriquecer la comprensión de los sistemas ecológicos y fuentes naturales importantes para Puerto Rico y por último establecer una Junta de Calidad Ambiental (Ley Sobre Política Pública Ambiental, 2004). La ley además establece que el Estado Libre Asociado de Puerto Rico logrará su desarrollo sustentable basándose en la más efectiva protección del ambiente y sus recursos naturales así como el uso más prudente y eficiente de los recursos naturales para beneficio de toda la ciudadanía entre otros fines.

La Ley para la Conservación, el Desarrollo y el Uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico, ley número 136 del 3 de junio de 1976 y enmendada en 1998, tiene como finalidad la administración y protección del patrimonio agua en beneficio de la población puertorriqueña, declarando a las aguas y a los cuerpos de agua propiedad y riqueza del pueblo de Puerto Rico. Esto para mantener el grado de pureza de las aguas, asegurar el abasto mediante áreas de reserva y asegurar su uso óptimo, beneficioso y razonable. Pretende también proteger de la escasez, el mal uso, desperdicio y contaminación del recurso. A tales efectos, establece la ley, que las necesidades domésticas y de consumo sean satisfechas y que se adjudique el sobrante al interés público (Ley para la Conservación, el Desarrollo y el Uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico, 1998).

La ley número 5 del 21 de julio de 1977, Ley para Proteger la Pureza de las Aguas Potables de Puerto Rico, faculta al Secretario de Salud a promulgar y poner en vigor la reglamentación que sea necesaria para las aguas potables de Puerto Rico de acuerdo con los criterios de aguas potables. Esto aplica a todos los sistemas de agua para consumo humano e incluirá procedimientos de monitoreo e inspección (Ley para Proteger la Pureza de las Aguas Potables de Puerto Rico, 1977). La Ley Orgánica del Departamento de Salud, ley número 81 del 14 de mayo de 1912, faculta al Secretario del Departamento de Salud a encargarse de todos los asuntos relacionados con la salud, sanidad y beneficencia pública. Establece que en caso de epidemia, el Secretario tomará las medidas necesarias para combatirla (Ley Orgánica del Departamento de Salud, 1912).

Reglamentos

El Reglamento número 6616, Reglamento Sobre Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico del 4 de enero de 1912 y cuya última enmienda fue en marzo de 2003, fue promulgado por la JCA para mejorar, mantener y preservar la calidad de las aguas de Puerto Rico de manera que sean compatibles con las necesidades sociales y económicas de Puerto Rico. Designa los usos para los cuales la calidad de los cuerpos de agua deben ser mantenidos y protegidos, prescribe estándares de calidad de agua con el fin de conservar los usos designados, identifica reglas y reglamentos aplicables a las fuentes de contaminación que afectan la calidad de las aguas y prescribe medidas adicionales para alcanzar y mantener la calidad de las aguas. Este reglamento establece que para poder manejar los aspectos de la evaluación de la calidad del agua, los cuerpos de agua se agrupan en cuencas hidrológicas que a su vez se dividen en unidades de evaluación.

Conforme al reglamento se establecieron cinco categorías que describen la condición de cada unidad de evaluación (Reglamento Sobre Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico, 2003).

- ❖ Categoría 1 – incluye aguas cuya calidad cumple con todos los estándares establecidos conforme al reglamento para cada uno de los usos designados.
- ❖ Categoría 2 - incluye aguas cuya calidad cumple con los estándares para algunos de los usos designados conforme al reglamento, pero no hay información disponible para tomar una determinación con relación a los otros usos disponibles.
- ❖ Categoría 3 – Incluye aguas para las cuales la información disponible no es suficiente para determinar si los estándares de calidad de alguno de los usos disponibles, se está cumpliendo.
- ❖ Categoría 4 – incluye aguas cuyos usos designados no están cumpliendo con los estándares de calidad pero se considera posible lograrlos si se implantan medidas de control adecuadas sin la necesidad de imponer medidas restrictivas.
- ❖ Categoría 5 – aguas en las cuales por lo menos un estándar de calidad de agua no se está cumpliendo a cabalidad y para lograrlo es necesario que se implante una estrategia dirigida mediante la imposición de medidas restrictivas.

Usos Designados:

- ❖ Recreación de Contacto Primario (Directo) - Su logro se determina utilizando la norma basada en el contaje de coliformes fecales.
- ❖ Recreación de Contacto Secundario - Su logro se determina utilizando la norma basada en contaje de coliformes fecales.

- ❖ Abasto Crudo de Agua Potable - Su logro se determina utilizando los parámetros de nitratos, nitritos, fósforo total y fluoruro. Se evalúa el cuerpo de agua y no la red de distribución que contiene aguas ya tratadas y autorizadas por el Departamento de Salud para su distribución y consumo.
- ❖ Preservación y Propagación de Especies Deseables (Vida Acuática) para ríos, lagos, estuarios y costas – este uso fue evaluado utilizando información físico-química disponible obtenida de muestreos fortuitos.

El reglamento número 6213, Reglamento para el Aprovechamiento, Uso, Conservación y Administración de las Aguas de Puerto Rico del 8 de noviembre de 2000, establece los mecanismos necesarios para la planificación y administración de los recursos de agua, para garantizar su manejo y uso adecuado y la conservación del recurso así como los criterios de uso de las aguas (Reglamento para el Aprovechamiento, Uso, Conservación y Administración de las aguas de Puerto Rico, 2000).

El reglamento número 6685, Reglamento Sobre los Servicios de Aguas y Alcantarillados del 19 de junio de 2003, facilita de manera ordenada la prestación de los servicios públicos para los cuales se creó la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, protege las fuentes de abasto de agua, las operaciones de tratamiento de aguas usadas, los sistemas de agua potable, vela por la salud pública y establece los derechos y obligaciones de los abonados y usuarios de la Autoridad (Reglamento sobre los Servicios de Aguas y Alcantarillados, 2003).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Introducción

Cuando hablamos de la calidad de las aguas superficiales en Puerto Rico, tenemos que hablar de varios factores como lo son: las posibles fuentes de contaminación que comprometen esa calidad, los contaminantes y las consecuencias que todos ellos provocan en la población que depende de los diferentes cuerpos de agua para sus necesidades. Con este trabajo nos proponemos evaluar los datos producidos por agencias gubernamentales como el USGS, la EPA, la JCA y la AAA sobre calidad de agua en el Río La Plata y correlacionarlos con los patrones de lluvia, flujo de corrientes, actividades humanas que se realizan a lo largo de la cuenca, uso de terrenos, plantas de tratamiento y filtración de la AAA así como sus tomas de agua y las enfermedades asociadas a una pobre calidad en sus aguas. Esta correlación nos permitirá reconocer los momentos en que hay mayor probabilidad de peligro potencial a la salud al utilizar las aguas del Río La Plata tanto para su consumo como para la recreación. También nos permitirá hacer recomendaciones para el manejo de peligros asociados con la pobre calidad en las aguas del río.

Área de estudio

Nuestro estudio se llevará a cabo en el Río La Plata que es el río más largo de Puerto Rico. Nace al suroeste del Cerro La Santa, al este del barrio Farallón en el municipio de Cayey. Se encuentra a una altitud aproximada de 2,625 pies (800 metros)

sobre el nivel del mar. Su longitud es de aproximadamente 60.5 millas (97 kilómetros) desde su nacimiento hasta su desembocadura en el océano Atlántico, al norte de la isla, en el municipio de Dorado. Cruza los municipios de Cayey, Comerío, Toa Alta, Toa Baja y Dorado. Su área de captación es de 239 millas cuadradas (DRNA, 1998). El uso de la tierra alrededor de la cuenca tiene una mezcla de urbana y rural con cantidades considerables de área reforestada y tierras de pastoreo (EPA, 2003). Tiene una compleja red de tributarios que drenan en el cuerpo principal.

El Río La Plata forma dos lagos: el Lago Carite y el Lago La Plata. El Lago Carite cubre un área superficial de 123.8 hectáreas. La operación del embalse tiene como propósito suplir las demandas de agua para uso industrial y agrícola en el área de Guayama. La capacidad actual del embalse es de aproximadamente 13,723,290 metros cúbicos y es propiedad de Autoridad de Energía Eléctrica. A lo largo del embalse los usos del terreno principalmente son de tipo residencial/rural con baja densidad. El Lago La Plata está localizado entre los municipios de Toa Alta, Naranjito y Bayamón. Su capacidad máxima es de 45, 621,000 metros cúbicos y cubre un área de superficie de 404.7 hectáreas. Su función principal es suplir agua para uso doméstico e industrial al Área Metropolitana de San Juan. Alrededor de este embalse se ha desarrollado una intensa actividad residencial/urbana. El Río La Plata sule de agua a los municipios de Guayama, Arroyo, Cayey, Barranquitas y Naranjito. Esta cuenca alberga en sus límites territoriales cerca de 407,420 habitantes con una densidad poblacional de 677 habitantes por kilómetro cuadrado (DRNA, 1998).

Los objetivos de nuestro estudio son los siguientes:

1. Evaluar datos microbiológicos y de nutrientes, obtenidos por el USGS, la EPA, la JCA y la AAA con relación a la calidad del agua en el Río La Plata entre los años 1996 a 2006.

Nuestro estudio se basa en fuentes secundarias de información sobre calidad de agua en el Río La Plata obtenidas por el “USGS” entre los años 1996 al 2006. Esta información incluirá datos microbiológicos, así como de nutrientes para compararlos y correlacionarlos con los datos generados por otras agencias gubernamentales como la JCA, la EPA y la AAA. Estos datos obtenidos por parte de las demás agencias gubernamentales también serán recopilados por un período de 10 años. Los datos serán comparados contra los parámetros de calidad de agua establecidos por cada una de las agencias utilizadas en nuestro estudio.

Selección de puntos de muestreo

Tomamos como base para nuestro estudio, tres puntos de muestreo utilizados por el USGS, que son los siguientes:

- ❖ Punto 50043000 en el Proyecto La Plata
- ❖ Punto 50044000 en Comerío
- ❖ Punto 50046000 en la carretera # 2 en Toa Alta

Una vez recopilamos los valores para los diferentes parámetros de calidad de agua, procedimos a relacionarlos con datos sobre fluctuaciones en los patrones de precipitación, el flujo del río informado en los diferentes puntos de muestreo a lo largo de la cuenca y las actividades humanas que se han llevado a cabo en cada uno de los municipios que impactan la calidad de agua del Río La Plata. Además,

obtuvimos información que consideramos de vital importancia para explicar aquellos valores que sobrepasan los parámetros o normas establecidas por la JCA para aguas cuya clasificación es “SD” o aguas superficiales para uso recreativo. Por ejemplo, el número de clientes no conectados al sistema de alcantarillado sanitario por municipios en la cuenca del Río La Plata, la ubicación de las plantas de tratamiento de aguas usadas con relación a los puntos de muestreo, su funcionamiento y en qué cuerpos de agua descargan, las porquerizas, polleras o granjas, la operación de vertederos y el crecimiento poblacional que se encuentran en los municipios de la cuenca.

Luego de recopilar los resultados que durante diez años el USGS obtuvo para cada uno de los tres puntos de muestreo de nuestro estudio, comparamos los resultados con los estándares establecidos. Para aguas de clasificación “SD”, identificamos aquellos valores fuera de parámetro, sus posibles peligros e implicaciones para la salud y se establecieron recomendaciones para su manejo.

Los siguientes límites serán evaluados para propósitos de nuestro estudio:

Parámetro	Límite
Flujo	No tiene límite establecido
Oxígeno disuelto	No menos de 5 mg/L
Turbiedad	50 NTU
Nutrientes	
❖ amoníaco	1.0 mg/L
❖ nitrógeno total	10 mg/L

❖ fosfato total 10 mg/L

Microbiológicos

❖ coliformes totales 10,000 col/ 100 ml

❖ coliformes fecales 200 col/100 ml

Descripción de las estaciones de muestreo

El punto 50043000 en el Proyecto La Plata se encuentra ubicado entre los municipios de Cayey, Aibonito, Cidra y Barranquitas. La estación está localizada en la latitud 18°09'37" y longitud 66°13'44" aguas arriba del puente de la carretera 173 a 0.4 millas (0.6 km) al noreste del Proyecto La Plata y a 2.5 millas (4.0 km) aguas arriba del Río Usabón.

El punto 50044000 se encuentra en el municipio de Comerío. La estación está ubicada en la latitud 18°14'33" y la longitud 66°12'28" en el puente de la carretera 156, a 0.56 millas (0.9km) aguas arriba de la represa y a 2.0 millas (3.2km) al noreste de Comerío Plaza.

El punto 50046000 se encuentra ubicado en la carretera #2 en Toa Alta. La estación está localizada en la latitud 18°24'41" y longitud 66°15'39" aguas abajo en el banco izquierdo del lado del puente de la carretera # 2, a 1.3 millas (2.1km) aguas abajo del Río Lajas y a 1.6 millas (2.6 km) al noroeste del municipio de Toa Alta y a 11.3 millas (18.2 km) aguas abajo de la reserva de agua de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico.

Todos estos puntos de muestreo están ubicados cerca de las estaciones de descargas de corrientes para poder utilizar la información de descargas al momento de interpretar la información sobre calidad.

2. Relacionar estos datos con las variaciones en los patrones de lluvia, flujo de agua y actividades humanas a lo largo de la cuenca.

Para poder relacionar los datos sobre calidad de agua en los puntos seleccionados, con los patrones de lluvia en el área, obtendremos datos del “National Oceanic and Atmospheric Administration” (NOAA), sobre precipitación en la cuenca tanto los días en que se llevan a cabo los muestreos como en días antes y después de los mismos. Los datos sobre flujo de corrientes se obtendrán también de los reportes anuales que genera el “USGS” para el Río La Plata en los días de muestreos. Las actividades humanas a lo largo de la cuenca las estableceremos por medio de recorridos a lo largo de la misma, tanto por tierra como por aire, para obtener fotos que nos permitan comparar las actividades humanas que se llevan a cabo a lo largo de la cuenca en la actualidad con las actividades que se estuvieron llevando a cabo a lo largo del período de estudio. Como parte de las actividades humanas que se llevan a cabo a lo largo de la cuenca, ubicaremos las plantas de tratamiento de aguas usadas, su funcionamiento así como el monitoreo de sus descargas y el cuerpo de agua al que descargan. Obtendremos por parte del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, estudios de suelo en el área y estudios sobre usos del terreno. Por último, obtendremos estadísticas sobre el por ciento de viviendas que no están conectadas

al alcantarillado sanitario en los municipios como Cayey, Cidra, Aibonito, Barranquitas, Comerío y Naranjito, los cuales impactan al Río La Plata.

3. Evaluar posibles peligros a la salud relacionados a la microbiología en la cuenca y hacer recomendaciones de manejo de peligros.

Para poder evaluar los posibles peligros a la salud asociados con la calidad microbiológica del Río La Plata, tomaremos en consideración aquellas condiciones que se puedan contraer como resultado de la pobre calidad de las aguas en el río y asociadas a su microbiología. También evaluaremos los posibles peligros a la salud asociados a los nutrientes que serán evaluados como parte de nuestro estudio.

Una vez correlacionados los eventos antes mencionados, podremos llegar a conclusiones que nos permitan recomendar alternativas para el manejo de los peligros a los que se enfrentan los habitantes de la cuenca del Río La Plata y que están asociados a la calidad de sus aguas.

Diseño metodológico

1. Obtendremos datos sobre calidad de agua generados por el USGS, la EPA, la JCA y la AAA de los años 1996 al 2006.
2. Realizaremos recorridos a lo largo de la cuenca alta del Río La Plata, para poder comparar las actividades humanas que se llevan a cabo en la actualidad, con las actividades que se llevaban a cabo durante los años que comprende el estudio y que pudieran comprometer la calidad de sus aguas. Esto incluirá fotos aéreas del lugar.

3. Ubicaremos las plantas de tratamiento de aguas usadas de la AAA.
4. Obtendremos reportes del monitoreo de las descargas de las plantas de tratamiento de aguas usadas, para evaluar su operación.
5. Obtendremos por parte del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, estudios de suelo y estudios sobre usos del terreno en el área de estudio.
6. Obtendremos datos sobre el por ciento de viviendas que no están conectadas al servicio de alcantarillado sanitario, en los municipios de Cayey, Cidra, Aibonito, Barranquitas, Comerío y Naranjito, los cuales impactan al Río La Plata.
7. Recopilaremos datos sobre precipitación en el área de estudio durante los días de muestreo y durante los días antes y después de los mismos.
8. Además obtendremos datos del USGS sobre flujo de agua.

Toda esta información será correlacionada de forma crítica y científica para poder evaluar todos estos eventos de forma integral y poder aportar recomendaciones en cuanto a manejo de posibles riesgos potenciales a la salud y al ambiente en general. Las siguientes variables se tomarán en consideración para propósitos de nuestro estudio:

- ❖ Flujo (cfs)
- ❖ Oxígeno disuelto (mg/L)
- ❖ Amoníaco (mg/L)
- ❖ Nitrógeno total (mg/L)
- ❖ Turbiedad (NTU)
- ❖ Fósforo total (mg/L)

- ❖ Coliformes totales (col/ 100mL)
- ❖ Coliformes fecales (col/ 100mL)

Análisis de Datos

Los datos sobre calidad de agua obtenidos del USGS serán comparados con los datos que a su vez generan la EPA, la JCA y la AAA. Tomaremos como parámetro los estándares establecidos por estas agencias gubernamentales y utilizaremos las normas de calidad de agua que cada una de estas agencias requiere para el Río La Plata.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Nuestro estudio tuvo como objetivo evaluar datos microbiológicos, sobre contenido de nutrientes, patrones de flujo y de lluvia, obtenidos de tres diferentes puntos de muestreo utilizados por el USGS en el Río La Plata. Utilizamos estos datos para evaluar la calidad del agua en el río durante el período comprendido entre los años 1996 al 2006. Tomamos como base para nuestro estudio, tres puntos de muestreo utilizados por el USGS, que son los siguientes:

- ❖ Punto 50043000 en el Proyecto La Plata
- ❖ Punto 50044000 en Comerío
- ❖ Punto 50046000 en la carretera # 2 en Toa Alta

Estación de muestreo 50043000

Encontramos que aguas arriba del punto 50043000 ubican las plantas de tratamiento secundario de aguas usadas PR0025356 de Cayey y PR0024589 del Campamento Penal Guavate. El Campamento Penal Guavate (el cual fue cerrado en enero del año 2005) descargaba sus aguas tratadas al Río La Plata. Tanto el municipio de Cayey, como Aibonito y Cidra, experimentaron un crecimiento poblacional entre los años 1990 al 2000. Cayey tuvo un aumento en población de 1.8%, Aibonito tuvo un crecimiento poblacional de 6.1%, mientras que Cidra fue el más impactado por el aumento en población con un aumento de 20.1 %.

Un factor importante que contribuye de manera significativa a la contaminación de las aguas del lugar, es la gran cantidad de viviendas que no están conectadas al sistema de alcantarillado sanitario de la AAA. En el municipio de Cayey existen un total de 9,266 entidades que no están conectadas al alcantarillado sanitario e incluye residencias, comercios, industrias y hasta dependencias del gobierno. En Aibonito son 3,300 entidades y en Cidra 3,104 entidades. Estas estructuras al no estar conectadas al alcantarillado sanitario de la AAA, utilizan pozos sépticos los cuales en ocasiones se sobrellenan o en tiempos de lluvia e inundaciones se desbordan y forman parte de las aguas de escorrentía que vacían al Río La Plata. En los municipios de Cayey, Aibonito y Cidra se da una importante actividad con animales como pollos, cerdos y ganado.

En Aibonito, la industria avícola incluye un total de 1, 113,300 pollos ubicados en granjas. Hacia la cuenca del Río Matón que descarga en el Río La Plata, se da una importante actividad de polleras así como para la cuenca del Río Guavate también se da una importante actividad avícola y ganadera. Aguas arriba también se encuentran los vertederos de Aibonito y Cidra los cuales estuvieron operando en la pasada década y aún opera el vertedero de Cayey en el Barrio Beatriz. Debido a la antigüedad de estos vertederos, los mismos no cuentan con los requisitos de diseño que por ley se requieren en la actualidad como lo son el muestreo de aguas subterráneas, el revestimiento de material geosintético o los sistemas de control de escorrentía y de lixiviados. En episodios de fuertes lluvias, estas escorrentías transportan lixiviados que vacían en el Río La Plata.

Estación de muestreo 50044000

Al evaluar la estación de muestreo de Comerío encontramos que aguas arriba del punto ubican aunque más lejanas, las plantas de tratamiento PR0025356 de Cayey y PR0024589 del Campamento Penal Guavate. La planta de tratamiento de aguas usadas PR0025461 de Aibonito, descarga sus aguas al Río Aibonito y este a su vez descarga al Río Usabón que es tributario del Río La Plata. La planta de Aibonito ha informado concentraciones elevada de fósforo total durante los 10 años que comprendió nuestro estudio. En el mismo pueblo de Comerío ubica la planta de tratamiento de aguas usadas PR 0025658. La misma vacía sus aguas tratadas al Río La Plata y está entre las que excedió su permiso en cuanto a concentración de fósforo en al menos 10 periodos informados, desde enero de 1999 hasta diciembre de 2001.

Aunque el municipio de Comerío no reflejó un aumento poblacional entre los censos de 1990 y 2000, sí mantiene un alto número de estructuras que no están conectadas al sistema de alcantarillado sanitario con un total de 1,423 entidades no conectadas entre las que se encuentran, residencias, gobierno, comercios e industrias. En el municipio de Comerío también se llevan a cabo actividades avícolas con un total de 292, 900 pollos que se crían en granjas y un total de 1, 744 cerdos en porquerizas.

Estación de muestreo 50046000

El punto 50046000 se encuentra aguas abajo de las plantas de tratamiento de aguas usadas PR0022616 Enrique Ortega de Toa Alta y PR0022144 de Toa Alta “Heights”. También se encuentra aguas abajo de la planta de tratamiento de aguas usadas PR0020737 en Naranjito. Tanto la planta de tratamiento Enrique Ortega como la de Toa

Alta “Heights” aparecen en la lista maestra de instalaciones que exceden el permiso de descargas, principalmente para fósforo total aunque también la planta de tratamiento Enrique Ortega de Toa Alta, informa altas concentraciones de manganeso, arsénico, cobre, plomo y zinc. La planta de tratamiento de Toa Alta “Heights” consistentemente informa concentraciones que no cumplen con los parámetros establecidos en sus permisos de descarga. La planta de tratamiento de aguas usadas de Toa Alta descarga en la Quebrada Piñas y la de Toa Alta “Heights” descarga en el Río Bucarabones, ambos tributarios del Río La Plata.

Toa Alta es de los municipios en la cuenca del Río La Plata que más entidades tiene sin conectar al alcantarillado sanitario con un total de 11, 378 estructuras, entre comercios, gobierno, residencias e industrias. Su crecimiento poblacional es también uno de los más altos entre los municipios que comprenden la cuenca del río. Según el censo de 1990, Toa Alta contaba con una población de 44, 101 habitantes y para el censo del 2000 reflejó un aumento de 19, 828 habitantes para un total de 63, 929. De hecho Toa Alta se convirtió, durante los años que abarcó nuestro estudio y en la actualidad, en el lugar preferido para la construcción de proyectos nuevos de vivienda los cuales traen consigo la remoción de material de la corteza terrestre, problemas de erosión y escorrentías que sedimentan el Río La Plata y contribuyen a su turbiedad. El municipio de Toa Alta también cuenta con un vertedero en el Barrio Contorno.

Flujo

En los datos de nuestro estudio durante el período que comprende desde el año 1996 hasta el año 2006 se destacaron valores para flujo de corrientes que fluctuaron entre

los 7.4 pies cúbicos por segundo hasta los 1,000 pies cúbicos por segundo. Los flujos más altos registrados fueron de 229 cfs en el año 2005 (punto 0440), 288 cfs en el 2000 (punto 0460), 348 cfs en el 2004 (punto 0440), 360 cfs en el 1999 (punto 0460), 380 cfs en el 2006 (punto 0460) y hasta 1,000 cfs en el año 2000 (punto 0440). Podemos apreciar que dos de los tres puntos de muestreo de nuestro estudio son los que de manera consistente informan altos flujos, el punto 50044000 en Comerío y el punto 50046000 en la carretera # 2 en Toa Alta. En las fechas en que se obtuvieron valores elevados para flujo, los valores para conteos microbiológicos, también fueron elevados.

El flujo o caudal de agua de un río se define como el volumen de agua que pasa por un punto en el río durante un período de tiempo. Por lo general se expresa como pies cúbicos por segundo o cfs (“cubic feet per second”). En un canal natural, la velocidad del agua es alta cerca de la superficie y menor cerca del fondo debido a la fricción provocada por las rocas que reducen la velocidad del agua. El caudal va a depender de las fuentes que lo alimentan, es decir, sus tributarios y de la cuantía de la precipitación en el área, entre otros factores.

Oxígeno disuelto

Los valores para oxígeno disuelto fluctuaron entre los 2.2 mg/L hasta los 13.3 mg/L obteniéndose valores tan bajos como 2.2 mg/L en el 1997, 3.6 mg/L en el 2003, 3.9 mg/L en el 1996, 4.0 mg/L en el 2003, 4.3 mg/L en el 1999, 4.4 mg/L en el 2000, 4.5 mg/L en el 2004 y 4.9 mg/L en el año 2001. Todos estos valores estuvieron por debajo de la norma establecida por la JCA de no menos de 5.0 mg/L de oxígeno disuelto para aguas de clasificación “SD” o aguas superficiales de uso recreativo. Además, todos estos

valores se obtuvieron en un mismo punto de muestreo, el punto 50046000 en la carretera # 2 en el municipio de Toa Alta. Coincidieron estos valores con conteos para coliformes fecales en su mayoría elevados y fuera de los parámetros establecidos. Como mencionáramos antes, el punto 50046000 está ubicado aguas abajo de las plantas de tratamiento de aguas usadas PR0022616 de Toa Alta y PR0022144 de Toa Alta “Heights”. Estas plantas de tratamiento descargan a la Quebrada Piñas y al Río Bucarabones que a su vez son tributarios del Río La Plata. Las mismas incumplen con los parámetros establecidos para sus descargas, reportando descargas con altas concentraciones de fósforo total así como arsénico, cobre, plomo, manganeso y zinc.

La concentración de oxígeno disuelto en el agua puede ser un indicador de la contaminación que puede haber en un cuerpo de agua y de cuánta vida vegetal y animal puede sostener ese cuerpo de agua. Por lo general se entiende que el agua tiene mejor calidad a mayor oxígeno disuelto tenga. El oxígeno disuelto en el agua proviene en parte del oxígeno en el aire, de la fotosíntesis de las plantas acuáticas o de la turbulencia en las corrientes que puede aumentar su concentración. La temperatura también puede afectar la concentración de oxígeno disuelto en el agua ya que a temperaturas más bajas el agua puede disolver más oxígeno que a temperaturas más altas. En los cuerpos de agua la concentración de oxígeno disuelto puede variar de cero a 18 partes por millón (ppm) pero para la mayoría de los ríos se requieren de cinco a seis ppm para sostener la diversidad de vida acuática. A temperatura ambiente y una presión atmosférica normal (nivel del mar), la cantidad máxima de oxígeno que puede disolverse en el agua dulce es de nueve ppm. Si la temperatura está por debajo de 20° C, puede haber más oxígeno disuelto en

una muestra, pero por lo general de nueve a 10 ppm se considera muy buen nivel de oxígeno disuelto.

A concentraciones de cuatro ppm o menos, las poblaciones de peces y de macro invertebrados empiezan a bajar. En áreas donde la materia orgánica (plantas muertas o materia animal) está en descomposición, la concentración de oxígeno disuelto es menor. Las bacterias necesitan oxígeno para descomponer estos desechos orgánicos y utilizan el oxígeno disuelto en el agua para sus procesos. Esto ocurre en áreas cercanas a descargas de aguas usadas, en aguas con mayor temperatura y movimiento lento.

Amoníaco

A lo largo de los 10 años de estudio sólo en una ocasión se obtuvo un valor fuera de parámetro para el amoníaco aunque con frecuencia se informaron valores altos cerca del límite establecido. Esto fue en el año 2003, con una concentración de 1.10 mg/L de amoníaco en el punto 50046000 en la carretera # 2 en el municipio de Toa Alta. Esto a su vez coincidió con un conteo de 680 colonias de coliformes fecales en 100 mL de agua en el mismo punto. El amoníaco tiene una norma establecida por la JCA de 1.0 mg/L para aguas de clasificación “SD”.

El amoníaco es producido por la descomposición de los desperdicios en el fondo de los cuerpos de agua. Puede estar presente de dos formas: amoníaco (NH_3), un gas tóxico y amonio (NH_4^+), el cual es menos tóxico. Cuando el pH del agua es alto, el amoníaco se encuentra en su forma tóxica. Su incremento es exponencial a medida que se incrementa el pH y la temperatura del agua. El amoníaco es el nutriente preferido para el crecimiento de las plantas. Las bacterias convierten el amoníaco en nitrito y nitrato el

cual es utilizado por las plantas. Tanto el nitrato como el amoníaco son las formas más comunes del nitrógeno en los sistemas acuáticos. Por lo general cuando las aguas no están contaminadas predomina el nitrato. El nitrógeno es un factor importante para controlar el crecimiento de las algas cuando abundan otros nutrientes como el fosfato. Los animales excretan amoníaco y se produce como resultado de la descomposición de plantas en sistemas acuáticos.

El amoníaco es también uno de los contaminantes más importantes por lo relativamente común y por lo tóxico. Disminuye la reproducción y el crecimiento y hasta puede causar la muerte de peces. El NH_3 es bien tóxico para los peces y el resto de la vida acuática. El crecimiento de algas así como el decaimiento de la materia de plantas, animales y heces fecales pueden afectar la concentración del amoníaco en el agua. El amoníaco aparece también en las aguas a causa de la contaminación doméstica, industrial o agrícola, por abonos, descomposición orgánica o de heces fecales.

Nitrógeno total

Los muestreos del USGS reflejaron concentraciones elevadas para nitrógeno total en el agua durante los años 1996, 2000, 2001, 2003 y 2004. Estas fueron las siguientes:

1996 – 13, 17, 19, 22 y 27 mg/L en el punto 50043000 y 18 mg/L en el punto 50044000.

2000 – 10.2 y 12.2 mg/L en el punto 50043000 y 10.4 mg/L en el punto 50044000.

2001 – 12.6 y 14.6 mg/L en el punto 50043000.

2003 – 11.5, 15.5 y 16.8 mg/L en el punto 50043000.

2004 – 11.1 mg/L en el punto 50044000.

El parámetro establecido por la JCA para nitrógeno total en aguas de clasificación “SD” es de 10 mg/L. Podemos observar que las concentraciones para nitrógeno total que se encontraron fuera de parámetro, se obtuvieron en su mayoría en el punto 50043000 en el Proyecto La Plata. Según el Censo de Agricultura 2002, el municipio de Cayey informó la utilización de fertilizantes químicos en 231 cuerdas de terreno, el municipio de Aibonito en 237 cuerdas y el municipio de Cidra en 370 cuerdas. La mayor parte de los municipios de Cayey, Aibonito y Cidra están en la cuenca del Río La Plata lo cual puede contribuir nitrógeno a las aguas, por medio de las escorrentías producidas en los períodos de lluvias. Además este punto de muestreo está aguas abajo de la planta de tratamiento de aguas usadas PR0025356 de Cayey la cual descarga al Río La Plata.

El nitrógeno se encuentra de forma natural en el ambiente pero también puede entrar a los ecosistemas a través de las descargas de aguas usadas y por medio de la fertilización. Los fertilizantes químicos y los desechos de los animales (estiércol), los cuales se aplican e a los cultivos, añaden este tipo de nutriente. Resulta difícil y costoso tratar de retener estos nutrientes en los cultivos. Cuando ocurren fuertes lluvias, las escorrentías llevan estos contaminantes a los cuerpos de agua. Las plantas de tratamiento de aguas usadas cuando no remueven de manera efectiva el nitrógeno también aportan grandes cantidades de éste a las aguas superficiales.

Las cantidades excesivas de nutrientes en particular el nitrógeno, causan una sobre estimulación del crecimiento de plantas acuáticas y de algas. A este proceso se le conoce como eutrofización. El crecimiento acelerado de estas plantas acuáticas y algas pueden cubrir la superficie del cuerpo de agua, utilizar todo el oxígeno disuelto disponible según se descomponen y limitar el paso de luz a las aguas más profundas. Esto afecta la

respiración de peces e invertebrados acuáticos y resulta en la disminución en la diversidad de plantas y animales, la producción de sustancias de olores objetables y afecta la utilización del lugar para propósitos recreativos como la navegación, nadar o pescar. En términos de consumo, las cantidades excesivas de nitrógeno pueden causar problemas de salud a animales y humanos en particular a niños pequeños.

En humanos, las cantidades de nitrógeno en exceso de la concentración permitida en agua, pueden restringir el transporte de oxígeno en la sangre. Los infantes de menos de cuatro meses de edad pueden padecer de “metahemoglobinemia” o síndrome del bebé azul.

Turbiedad

En nuestros datos de 10 años de muestreos por parte del USGS se evidenciaron valores para turbiedad desde las 53 unidades nefelométricas en el año 2006, hasta 170 unidades nefelométricas en el año 2005. El parámetro establecido para turbiedad en aguas de clasificación “SD” es de 50 unidades nefelométricas. Los muestreos se llevaron a cabo en la mayoría de los casos 3 días luego de un episodio de lluvias y el día de cada muestreo se detectó altos flujos en la corriente del río. Si hay mayor turbulencia en las aguas, mayor será su turbiedad, mayor el contenido de partículas suspendidas y mayor probabilidad de obtener conteos microbiológicos elevados.

La turbiedad del agua puede ser causada por la presencia de partículas de gases, líquidos o sólidos suspendidos y disueltos, tanto orgánicos como inorgánicos, con un intervalo de tamaño desde coloidal hasta partículas de tamaño macroscópico, dependiendo el grado de turbulencia. La turbiedad se puede eliminar mediante procesos

de coagulación, asentamiento o filtración. La turbiedad es de importante consideración cuando se trata de aguas para abastecimiento público debido a tres razones:

Estética – la turbiedad en el agua produce un rechazo y pocos deseos de ingerirla y utilizarla para la producción de alimentos.

Filtrabilidad – su filtración se vuelve más difícil y más costosa.

Desinfección – la turbiedad es un indicador de la probable presencia de materia orgánica y de microorganismos que aumenta los costos de tratamiento de las aguas para abastecimiento público, debido a la cantidad de cloro u ozono que se necesita para su desinfección.

Fósforo total

En una sola ocasión, en el contenido de nuestro estudio, el análisis de las muestras del USGS reflejó un valor fuera de parámetro para fosfatos aunque consistentemente se informaron valores elevados cerca del límite establecido, en las tres estaciones de nuestro estudio. El estándar establecido por la JCA para aguas de clasificación “SD” es de 1.0 mg/L y en el año 1996 en el punto 50043000 del Proyecto La Plata, se obtuvo un nivel para fosfatos de 1.40 mg/L.

Fósforo es uno de los elementos clave para el crecimiento de plantas y animales en los ecosistemas acuáticos ya que representa el nutriente limitante de crecimiento y es parte esencial del Ciclo de Krebs y del ADN. El fósforo estimula el crecimiento del plankton y de las plantas acuáticas que sirven de alimento a organismos más grandes como el zooplankton, peces, humanos y otros mamíferos. A medida que la concentración de fósforo aumenta, aumenta la producción y como resultado de esa sobre producción se

produce un desbalance en el proceso de reciclaje de los nutrientes y otros materiales. Se produce un proceso de eutrofización donde hay mayor cantidad de productores primarios lo cual resulta en inestabilidad del ecosistema. Este proceso afecta la calidad del agua y permite la floración de cianobacterias. Se crea un desbalance entre producción versus consumo de biomasa y el sistema reacciona produciendo más vegetación que la que el ecosistema puede consumir.

El resultado de la eutrofización va desde aguas con poca cantidad de oxígeno disuelto, floración de algas tóxicas, disminución en la diversidad, hasta la destrucción total del hábitat. La floración de algas azul-verdosas puede producir toxinas que resultan dañinas para humanos y otros animales. A medida que la concentración de fósforo aumenta en un cuerpo de agua, las condiciones se tornan anaeróbicas debido a la descomposición causada por las bacterias. En el caso extremo, los productos obtenidos de las reacciones de descomposición, serán metano en lugar de bióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno en lugar de sulfato. Al final, el cuerpo de agua estará formado por materia en descomposición, convirtiéndose en un cuerpo pantanoso lo que se considera un proceso de envejecimiento. El contenido de fósforo en nuestros cuerpos de agua proviene de plantas de tratamiento de aguas usadas y descargas de industrias.

La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) se dispone a proponer legislación conducente a la prohibición en Puerto Rico del uso de detergentes con contenido de fósforo, proceso que ya se ha llevado a cabo en otras 20 jurisdicciones de los Estados Unidos. La medida se adoptará para mejorar la calidad del agua en nuestros embalses y ríos ya que se impondrán restricciones más estrictas en el parámetro de fósforo. En Puerto Rico, el fosfato en el agua promueve el crecimiento de una especie de

vegetación en particular, conocida como jacintos. Los jacintos crecen en respuesta a la concentración de fosfato en el agua provenientes del 26 por ciento de los detergentes que existen en el mercado. Este crecimiento le resta oxígeno al cuerpo de agua redundando en perjuicio a la calidad del líquido.

Coliformes totales

Entre los años 1996 al 2003, el USGS llevó a cabo muestreos en los tres puntos de nuestro estudio para determinar Estreptococos Fecales. Desde el año 2004 fue que se comenzó a tomar muestras para detectar coliformes totales. A lo largo de esos años pudimos encontrar valores que sobrepasaron la norma de 10,000 colonias en 100 mL de agua como por ejemplo en el año 1996 que se obtuvieron 77,000 colonias en el punto 50044000, 36,000 colonias en el 2002 en el punto 50046000, 36,000 colonias en el 2003 en el punto 50046000, 34,000 colonias en el 2004 en el punto 50043000 así como 48,000 colonias en el punto 50044000 y 12,000 colonias en el punto 50046000. En el año 2005 se obtuvieron conteos de 55,000 y 10,800 colonias en el punto 50043000 y un conteo de 173,000 colonias en el punto 50044000. En el año 2006 se obtuvo un conteo de 182,000 colonias en el punto 50043000 y uno de 22,000 colonias en el punto 50046000. En la mayoría de los casos estos valores altos para conteos de coliformes totales ocurren en fechas donde también se registraron altos flujos de corrientes, acompañados por niveles altos de turbiedad en el agua. Hay que destacar que en datos obtenidos por la “National Oceanic and Atmospheric Administration” (NOAA), se comprobó que en las fechas en que se obtuvieron conteos de coliformes totales tan elevados como 182,000, 173,000, 55,000 y 48,000 colonias, durante tres días antes de la fecha de muestreo, se registraron

episodios de lluvias en las estaciones de monitoreo de NOAA ubicadas en los municipios de Aibonito y Cayey ambas aguas arriba de nuestros puntos de estudio.

Los coliformes totales son un grupo de bacterias indicadoras de contaminación fecal y cuya detección a nivel de laboratorio es más fácil y rápida. Estas bacterias son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del humano como de los demás animales de sangre caliente. Están presentes en grandes cantidades, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección.

En agua tratada, la presencia de coliformes totales funciona como un alerta de que ha ocurrido contaminación fecal, aunque no se sepa su origen. Indican que ha habido fallas en el tratamiento, en la distribución de agua potable o en las propias viviendas. Cuando se determina la presencia de coliformes totales en plantas de tratamiento, es suficiente para accionar los mecanismos de control de calidad y para intensificar la vigilancia en las redes de distribución.

Coliformes fecales

A través de los datos de calidad de agua obtenidos por el USGS, pudimos comprobar que el Río La Plata de forma consistente presenta conteos para coliformes fecales que sobrepasan la norma establecida para la clasificación “SD” o aguas de uso recreativo. De hecho, aparece en la lista de la sección 303(d) de la Ley de Agua Limpia, como uno de los cuerpos de agua que no cumple con los requisitos de calidad del estado. Esta lista a su vez fue combinada con el informe sobre calidad de aguas que envía la JCA a la EPA bajo la sección 305(b) de la Ley de Agua Limpia, en el cual se describe la

extensión a la cual las aguas navegables pueden sostener sus usos designados ya sea para consumo, recreación, pesca, agricultura o hábitat para diferentes especies.

Aunque de manera consistente el Río La Plata sobrepasa la norma para coliformes fecales, en los datos de calidad de agua de nuestro estudio, hubo muestreos que llamaron nuestra atención por lo elevado de sus valores. En el punto 50043000 del Proyecto La Plata se obtuvieron conteos de 640, 3,400, 3,400, 2,200, 7,300, 7,800, 2,700 y 19,000 colonias, en los respectivos años, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2004, 2005 y 2006. En el punto 50044000 en Comerío se obtuvieron conteos de 53,000, 5,500, 7,200, 5,000, 3,000, 3,000, 95,000 y 2,000 colonias en los respectivos años, 1996, 1999, 2000, 2001, 2002, 2004, 2005 y 2006. Por último para el punto 50046000 de la carretera # 2 en Toa Alta los conteos fueron: 17,000, 2,100, 15,000, 3,000, 5,800, 12,000, 2,700, 2,100 y 4,500 colonias en los respectivos años, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2004, 2005 y 2006.

De acuerdo con datos sobre precipitación en la cuenca del Río La Plata suministrados por NOAA, para la fecha de cada uno de estos muestreos que arrojan conteos altos para coliformes fecales, ocurrieron episodios de lluvias significativos que trajeron consigo turbiedad en el cuerpo de agua. De hecho, en los informes de muestreo de descargas de la planta de tratamiento de aguas usadas PR0025356 en el municipio de Cayey (proporcionado por la JCA), se registraron descargas que excedían los límites para coliformes fecales permitidos para aguas tratadas durante los años 2002, 2003, 2004, 2005 y 2006. De igual forma las plantas de tratamiento de aguas usadas PR0025461 en Aibonito, PR25658 en Comerío, PR 0020737 en Naranjito, PR0022616 en Toa Alta y PR0022144 en Toa Alta “Heights” también informaron descargas que excedieron el

límite para coliformes fecales permitido para aguas tratadas durante los años 2002 al 2006. Estas descargas contribuyeron de manera significativa a los conteos que sobrepasaron la norma para coliformes fecales y que durante años el USGS informa en su muestreo sobre calidad de agua del Río La Plata.

Como hemos podido evidenciar, consistentemente el Río La Plata presenta contaminación por coliformes fecales las cuales son un indicador de que las aguas están contaminadas con materia fecal, ya sea de humanos o de otros animales. Mientras más coliformes aislamos del agua, mayor es la gravedad de las descargas de heces que en el cuerpo de agua están ocurriendo. Entre los coliformes fecales en particular el más común *Escherichia coli*, puede causar severos brotes de diarrea, dolores abdominales y hasta sangrado en las heces fecales. En niños menores de cinco años así como en ancianos o personas inmuno-comprometidas puede complicarse la condición con la destrucción de las células rojas y con fallo renal.

Podemos resumir que a lo largo de nuestro estudio, los datos recopilados por el USGS sobre calidad de agua en el Río La Plata, de manera consistente reflejan contaminación microbiológica por coliformes totales y fecales. Muestran una relación directa entre los patrones de precipitación en el área y la contaminación por coliformes fecales. El flujo en la corriente también muestra una relación con la contaminación microbiológica del cuerpo de agua, ya que cuando se observaron los flujos más elevados también se observaron los conteos para coliformes fecales más altos. La contaminación por nutrientes como lo son el nitrógeno total y el fósforo total, es el resultado de de plantas de tratamiento de aguas usadas que sobrepasan las concentraciones máximas permitidas para estas sustancias.

De acuerdo al Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de la JCA, el Río La Plata tiene la clasificación “SD” o aguas superficiales designadas como fuente para suplir agua potable, propagación y preservación de especies y para contacto recreativo primario y secundario. El Río La Plata siendo uno de nuestros principales ríos, no representa una alternativa segura ni para la propagación y preservación de especies ni para el disfrute de los humanos debido a su alto grado de contaminación. Debido a esto el Río La Plata forma parte de los cuerpos de agua en la lista del informe “Puerto Rico Water Quality Inventory and List of Impaired Waters 305(b)/303(d) Integrated Report”, que agrupa a aquellos cuerpos de agua que no cumplen con los requisitos de calidad.

Este informe se presenta cada dos años y como resultado, luego del año 2002, se aprobaron e implantaron los “Total Maximum Daily Loads” (TMDL) con la intención de lograr una reducción en la carga de coliformes fecales que aportan al río, ciertas fuentes de contaminación fecal. Es evidente que la implantación de esta medida y de buenas prácticas de manejo para trabajar con la agricultura, la erosión y control de sedimentación, el manejo y reducción de esorrentías en actividades con animales o un plan de manejo para el uso de terrenos no han sido efectivos en reducir de forma significativa las descargas que aportan contaminación fecal al Río La Plata para evitar la violación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Con esta investigación pudimos comprobar la consistente contaminación por coliformes fecales además de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo del Río La Plata. Esta contaminación es el resultado de descargas provenientes de plantas de tratamiento de aguas usadas que no cumplen con los parámetros establecidos. Plantas de tratamiento de aguas usadas como la PR0025356 en Cayey, la PR0025658 en Comerío, la PR0022616 en Toa Alta y la PR0022144 en Toa Alta “Heights” de manera consistente incumplen con los parámetros establecidos en sus descargas. Además de las plantas de tratamiento, está el crecimiento poblacional que han enfrentado los municipios que comprenden la cuenca. También la alta actividad en proyectos de construcción que remueven corteza terrestre y contribuyen sedimentos al río en períodos de lluvias. Por otro lado hay un alto número de residencias que permanecen sin estar conectadas al servicio de alcantarillado sanitario de la AAA. También son fuente de contaminación las escorrentías provenientes de granjas donde se llevan a cabo actividades con pollos, cerdos y ganado. Pudimos concluir que existe una relación proporcional entre la precipitación a lo largo de la cuenca y el grado de contaminación microbiológica en el cuerpo de agua. También existe una relación entre el flujo de la corriente y las características microbiológicas del río. En fechas en que se registraron altos flujos en las corrientes también se registraron conteos elevados para coliformes fecales.

La mayor contaminación fue por nutrientes como el nitrógeno y el fósforo y por coliformes fecales. Altas concentraciones de nitratos y nitritos en el agua pueden causar en los humanos reacciones con la hemoglobina que interfieran en el transporte de oxígeno en la sangre, disminuyen el funcionamiento de la glándula tiroidea, causan bajo almacenamiento de vitamina A y alta producción de nitrosaminas asociadas con el desarrollo del cáncer. El nitrógeno en cantidades excesivas en los cuerpos de agua puede causar eutrofización que puede afectar la respiración de peces e invertebrados acuáticos, impartirle olores objetables al agua y afectar la utilización del cuerpo de agua para los propósitos recreativos de la navegación o la natación.

El fósforo en alta concentración puede llevar al envejecimiento y posterior deterioro de un cuerpo de agua por medio de la eutrofización así como a la floración de cianobacterias que producen toxinas que son dañinas tanto para el humano como para los organismos acuáticos, cuando son liberadas.

Los coliformes fecales, en particular *Escherichia coli*, pueden causar brotes de gastroenteritis viral en los individuos que ingieren agua contaminada con este microorganismo. Sus síntomas principales pueden ser diarreas severas acompañadas en ocasiones de sangrado y fuertes dolores abdominales. En niños, ancianos y personas con problemas de inmunodeficiencia, estos síntomas pueden complicarse con la destrucción de glóbulos rojos y problemas renales.

Limitaciones del estudio

Nuestro estudio tuvo como limitación principal el factor económico que no permitió que pudiéramos realizar pruebas de laboratorio tanto microbiológicas, para la

detección y posterior identificación de coliformes fecales, así como químicas, para la detección de nutrientes. También tuvo la limitación de que al ser un estudio dependiente de datos secundarios, los datos debían ser suministrados por diferentes agencias gubernamentales. Estas agencias no tenían los datos disponibles para el público o no disponían del tiempo necesario para atender nuestras peticiones. Además los muestreos llevados a cabo por el USGS en cada uno de los puntos, no son en la misma fecha lo cual no permite una comparación de los resultados bajo las mismas condiciones.

Recomendaciones

1. Las agencias reguladoras deben asumir un rol de mayor fiscalización.
2. La AAA debe ampliar la capacidad de sus redes de alcantarillado sanitario para que puedan haber más usuarios conectados.
3. Tanto la JCA como la EPA deben tomar acciones más restrictivas contra los que violen sus permisos de descargas.
4. Deben revocarle los permisos de descargas a las industrias que consistentemente incumplan con los parámetros establecidos en sus permisos.
5. Deben imponerse multas más altas a las plantas de tratamiento de aguas usadas que incumplan con los parámetros establecidos en sus permisos.
6. La AAA, la AEE, el DRNA y la JCA deben unir esfuerzos y aportar recursos al USGS para muestreos y análisis. Estos muestreos deben estar dirigidos por la JCA.
7. El USGS debe llevar a cabo sus muestreos en la misma fecha para cada uno de sus puntos designados.

8. Cada instalación que tenga un permiso de descargas a cuerpos de agua debe presentar un Plan de Prevención de Contaminación (“Pollution Prevention Plan”), donde se detallen los planes para reducir contaminantes ya sea por medio de sustitución de materiales, utilización de nuevas tecnologías o cambios en sus procesos. Esto debe incluir a las plantas de tratamiento de aguas usadas.
9. Dentro del derecho que tienen los habitantes de conocer (“Wright to Know”), se debe aumentar el acceso al público de información sobre el grado de contaminación que tiene el Río La Plata, los peligros que esta contaminación representa para su salud y cómo ellos también pueden ayudar en la prevención de la contaminación.

Podemos concluir que a lo largo de nuestro estudio, los datos recopilados por el USGS sobre calidad de agua en el Río La Plata, de manera consistente reflejaron contaminación microbiológica por coliformes totales y fecales. Mostraron una relación entre la precipitación ocurrida en el área, el flujo de las corrientes y la turbiedad presente en las aguas, con el grado de contaminación microbiológica presente. La contaminación por nutrientes como lo son el nitrógeno total y el fósforo total, es el resultado de las descargas de plantas de tratamiento de aguas usadas que sobrepasan las concentraciones máximas permitidas para estas sustancias.

LITERATURA CITADA

- Agencia de Protección Ambiental. (1972). Ley de Agua Limpia. U.S.C. 33 §1251 et seq.
- Agencia de Protección Ambiental. (1974). Ley de Agua Segura para Tomar. U.S.C. 42 s/s 300f et seq.
- Antoniou, M, De La Cruz, A. & Dionysiou, D. (2005). Cyanotoxins: New Generation of Water Contaminants. *Journal of Environmental Engineering* 1239-1243.
- Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. (2003). Reglamento sobre los Servicios de Aguas y Alcantarillados. Reglamento número 6685 del 19 de junio del 2003.
- Ayebo, A., Plowman, D. & States, S. (2006). Nitrate, Coliform, and Cryptosporidium spp. As Indicators of Stream Water Quality in Western Pennsylvania. *Journal of Environmental Health* 69(3):16-21.
- Balcerzak, W. (2006). The Protection of Reservoir Water against the Eutrophication Process. *Journal of Environmental Stud.* 15(6): 837-844.
- Barreto, M., Luhning, N., Mattei, H., Norat, J. (2002). *Uso de Terreno y Calidad de Agua en la Cuenca Hidrológica del Río La Plata en Puerto Rico*. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México.
- Cerame, M. (2001). *Ecología*. Puerto Rico. Publicaciones Puertorriqueñas, Inc.
- Chiras, D. (2001). Water Pollution: Sustainably Managing a Renewable Resource. *Environmental Science: Creating a Sustainable Future*. Sixth Edition. Sudbury MA. Jones and Bartlett Publishers. 730pp.
- Colón, A. (2006). *Fuentes de Contaminación Bacteriológica del Río Caguitas, Efectos sobre el Ambiente y la Salud*. Disertación de tesis de maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan PR.
- Cordero, G. (2007). Sospechosa muerte de peces. *El Nuevo Día*, p.14, 28 de marzo.
- Craun, G., Calderon, R. & Craun, M. (2005). Outbreaks Associated with Recreational Water in the United States. *International Journal of Environmental Health Research* 15(4):243-262.
- Criss, R. & Davisson, M. (2004). Fertilizers, Water Quality, and Human Health. *Environmental Health Perspectives* 112(10):536.

- Departamento de Agricultura. Oficina de Estadísticas Agrícolas. (2004). *Anuario de Estadísticas Agrícolas 2003*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. 124pp.
- Departamento de Agricultura. Servicio Estadístico de Agricultura Nacional. (2004). *Censo de Agricultura 2002*. Puerto Rico. 219pp.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1998a). *Guías de Reforestación para las Cuencas Hidrográficas de Puerto Rico*. Puerto Rico. Estudios Técnicos Inc.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1998b). Ley para la Conservación, el Desarrollo y el Uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico. Ley número 136 del 3 de junio de 1976. LPRA 12§ 1501-1501v.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2000). Reglamento para el Aprovechamiento, Uso, Conservación y Administración de las Aguas de Puerto Rico. Reglamento número 6213 del 8 de noviembre de 2000.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2005). *Inventario de Recursos de Agua de Puerto Rico*. Puerto Rico.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2007). *Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico*. Puerto Rico.
- Departamento de Salud. (1912). Ley Orgánica del Departamento de Salud. Ley número 81 del 14 de mayo de 1912. LPRA 3 § 171.
- Departamento de Salud. (1977). Ley para Proteger la Pureza de las Aguas Potables de Puerto Rico. Ley número 5 del 21 de julio de 1977. LPRA 31§ 1551-1561.
- CEPIS (2000). Evaluación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento 2000 en las Américas. Puerto Rico. Extraído enero 10, 2008. [http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/eva2000/Puerto Rico/informe/inf-04.htm](http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/eva2000/Puerto%20Rico/informe/inf-04.htm).
- Environmental Protection Agency. (2000). *Puerto Rico Watershed Restoration Action Strategies*.
- Environmental Protection Agency. (2003). *Fecal Coliform Bacteria TMDL for the Río La Plata Watershed Puerto Rico*. Contract # 68-C-00-121, Work Assignment Number 2-28. Horsley & Witten, Inc. MA.
- Gorospe, E. (2006). Updates on the Environmental Risks and Control of Cryptosporidiosis. *Journal of Infectious Diseases*. 5(1).
- Grupo Editorial Norma. (1995). *La Defensa de los Ríos y los Lagos*. Primera Edición. Colombia.

- Hamze, M., Hassan, S., Thomas, R., Khawlie, M. & Kawass, I. (2005). Bacterial indicators of faecal pollution in the waters of the El-Kabir River and Akkar watershed in Syria and Lebanon. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*. 10: 117-125.
- Hunter, J. M. y Arbona, S. I. (2004). *Paraíso Perdido: Una Introducción a la Geografía de la Contaminación del Agua en Puerto Rico*. Departamento de Geografía, Instituto de Salud Internacional, Universidad del Estado de Michigan. <http://www.energyanswers.com/paraíso%20perdido.htm>.
- Instituto de Educación Ambiental. (1992). *El Agua Nuestra de Cada Día*. Universidad Metropolitana, San Juan, PR.
- Junta de Calidad Ambiental. (2003). Reglamento Sobre Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico. Reglamento número 6616 del 4 de enero de 1912.
- Junta de Calidad Ambiental. (2004). Ley Sobre Política Pública Ambiental. Ley número 416 del 22 de septiembre de 2004. LPRÁ 12 § 1121-1142.
- Junta de Calidad Ambiental. (2005a). *Informe sobre el Estado y Condición del Ambiente en Puerto Rico 2004*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- Junta de Calidad Ambiental. (2005b). *Río La Plata*. Área de Calidad de Agua. División Planes y Proyectos. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- Kirby-Smith, W. & White, N. (2006). Bacterial contamination associated with estuarine shoreline development. *Journal of Applied Microbiology*. 100: 648-657.
- López, T. & Villanueva, N. (2006). *Atlas Ambiental de Puerto Rico*. Editorial Universidad de Puerto Rico.
- Maduka, H. (2006). Water Pollution and Man's Health. *Journal of Gastroenterology* 4(1).
- Marsalek, J. & Rochfort, Q. (2004). Urban Wet-Weather Flows: Sources of Fecal Contamination Impacting on Recreational Waters and Threatening Drinking Water Sources. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 67:1765-1777.
- Puerto Rico Environmental Quality Board. (2000). *Goals and Progress of Statewide Water Quality Management Planning Puerto Rico 1998-1999*. Gobierno de Puerto Rico.
- Puerto Rico Environmental Quality Board. (2004). *Puerto Rico Water Quality Inventory and List of Impaired Waters*. Puerto Rico.

- Rivera, M. (2007). Sedimentación Amenaza al Lago La Plata. *El Vocero de Puerto Rico*. p.12, 6 de marzo.
- Servicios Científicos y Técnicos. (2003). *Datos e Información General del Río La Plata 2001-2003*.
- Sheshane, S., Harwood, V, Whitlock, J. & Rose, J. (2005). The Influence of Rainfall on the Incidence of Microbial Faecal Indicators and the Dominant Sources of Faecal Pollution in a Florida River. *Journal of Applied Microbiology* 98(10): 1127-1136.
- Torres, A. (2007). *Contaminantes físicos, químicos y microbiológicos del Río Bairoa y una Quebrada Tributaria y los peligros potenciales sobre la salud de los residentes de la Comunidad Las Carolinas en Caguas, PR*. Disertación de maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan, PR.
- U. S. Geological Survey. (2004). *Water Resources Data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands Water Year 2004*. Water-Data Report-04-1.
- Wade, T., Pai, N., Eisenberg, J. & Colford J. (2003). Do U. S. Environmental Protection Agency Water Quality Guidelines for Recreational Waters Prevent Gastrointestinal Illness? A Systematic Review and Meta-analysis. *Environmental Health Perspectives* 111(8):1102-1109.
- Wiedenmann, A., Kruger, P., Dietz, K, López, J., Szewzyk, R. & Botzenhart, K. (2006). A Randomize Controlled Trial Assessing Infectious Disease Risks from Bathing in Fresh Recreational Waters in Relation to the Concentration of Escherichia coli, Intestinal Enterococci, Clostridium perfringens, and Somatic Coliphages. *Environmental Health Perspectives* 114(2):228-236.

Tabla 1

Crecimiento poblacional en los municipios de la cuenca del Río La Plata

Municipio	Poblacion para 1990 (# de habitantes)	Poblacion para 2000 (# de habitantes)	Por Ciento de Cambio
Cayey	46,553	47,370	1.8 %
Aibonito	24,971	26,493	6.1 %
Cidra	35,601	42,753	20.1 %
Barranquitas	25,605	28,909	12.9 %
Comerio	20,265	20,002	1.3 % (Disminución)
Naranjito	27,914	29,709	6.4 %
Toa Alta	44,101	63,929	45.0 %
Toa Baja	89,454	94,085	5.2 %
Dorado	30,759	34,017	10.6 %

Extraído del Censo de 1990 y Censo de 2000

Tabla 2

Viviendas no conectadas al alcantarillado sanitario en los municipios de la cuenca del Río La Plata

Municipio	Comercial	Gobierno	Industrias	Residencial	Total
Cayey	593	116	21	8536	9266
Aibonito	229	47	6	3018	3300
Cidra	242	50	17	2795	3104
Barranquitas	96	41	0	1149	1286
Comerío	96	34	6	1287	1423
Naranjito	93	28	1	503	625
Toa Alta	287	67	6	11018	11378
Toa Baja	897	115	12	19410	20434
Dorado	250	60	3	6351	6647

Información provista por la oficina de Infraestructura de la AAA (2008).

Tabla 3

Plantas de tratamiento de aguas usadas en los municipios de la cuenca del Río La Plata

Municipio	# Planta	Tipo de Tratamiento	Cuerpo de Agua al que Descarga
Cayey	PR0025356	Secundario	Río La Plata
Aibonito	PR0025461	Secundario	Río Aibonito
Comerío	PR0025658	Secundario	Río La Plata
Naranjito	PR0020737	Secundario	Río Guadiana
Toa Alta	PR0020869	Secundario	Quebrada Piñas
Toa Alta Heights	PR0022144	Secundario	Río Bucarabones

Extraído del documento Uso de Terrenos y Calidad de Agua en la Cuenca Hidrográfica del Río La Plata en Puerto Rico (2005).

Tabla 4

Operaciones con animales en los municipios de la cuenca del Río La Plata

Municipio	Tipo de Operación					Total de Animales
	pollos	cerdos	conejos	ganado	caballos	
Cayey	399,000	360	0	400	30	399,790
Aibonito	1,113,300	500	0	0	27	1,113,827
Cidra	302,000	155	0	360	0	302,515
Barranquitas	356,000	205	3,800	0	0	360,005
Comerio	292,900	1,744	0	0	0	294,644
Naranjito	51,000	841	805	215	45	52,906
Toa Alta	*					
Toa Baja	*					
Dorado	*					

Extraído del Censo de Agricultura 2002 del Departamento de Agricultura de Puerto Rico.

* No se hallaron datos informados sobre operaciones con animales en los pueblos de Toa

Alta, Toa Baja y Dorado

Tabla 5

Datos sobre calidad de agua en el Río La Plata durante los años 1996 al 2006

Año de Estudio	# Estación	Fecha de Muestreo	Flujo (cfs)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Amoníaco (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Fecales (col/100 mL)	Estreptococos Fecales (col/100 mL)	Coliformes Totales (col/100 mL)
1996	50043000 Proyecto La Plata	oct. 05	50	7.6	.030	7.9	5.7	.250	K 640	K 110	*
		dic. 13	16	5.7	.140	19	1.1	.650	K 140	K 170	*
		feb. 14	25	8.7	.080	13	2.9	.330	280	K 70	*
		abr. 01	11	7.2	.070	17	1.9	.530	320	K 82	*
		jun. 12	21	5.7	.930	22	5.1	.870	410	340	*
		ago. 26	40	9.4	.650	27	2.3	1.40	520	240	*
		oct. 04	92	7.5	.060	6.1	87	.210	53,000	980	*
	dic. 07	35	7.0	.030	7.9	4.6	.180	K 1,000	K 240	*	
	50044000 Cerca de Comerío	feb. 05	101	8.0	.040	8.0	3.2	.90	K 1,800	480	*
		abr. 10	36	7.9	.020	9.3	18	.160	K 1,000	330	*
		jun. 04	221	7.9	.150	18	160	.560	52,000	77,000	*
		ago. 13	53	8.7	.080	9.5	1.4	.190	K 890	200	*

Año de Estudio	# Estación	Fecha de Muestreo	Flujo (cfs)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Amoníaco (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Fecales (col/100 mL)	Estreptococos Fecales (col/100 mL)	Coliformes Totales (col/100 mL)
1996	50046000 Carretera # 2 cerca de Toa Alta	oct. 10	55	5.8	.130	4.2	7.1	.040	6,000	K 740	*
		dic. 11	35	6.0	.190	6.6	3.2	.120	4,200	270	*
		feb. 07	94	6.3	.090	4.6	7.3	.080	K 17,000	4,500	*
		abr. 02	21	6.6	.080	5.0	3.4	.100	K 610	K 110	*
		jun. 11	37	5.4	.080	6.0	3.5	.080	3,300	K 470	*
		ago. 14	51	3.9	.150	6.0	4.7	.080	2,600	K 1,200	*
1997	50043000 Proyecto La Plata	oct. 09	55	8.0	.040	6.2	1.2	.130	K 150	410	*
		feb. 19	19	8.7	.020	7.5	1.2	.170	K 50	K 73	*
		may. 13	20	7.9	.040	7.9	2.4	.320	250	360	*
		sept. 09	77	7.0	.090	7.8	2.2	.150	24000	9400	*
	50044000 Cerca de Comerío	oct. 08	91	7.6	.070	6.0	1.0	.090	K 8600	K 1500	*
		feb. 24	110	8.2	.030	6.5	1.2	.080	510	380	*
		jun. 06	36	7.8	.040	4.0	4.3	.080	590	250	*
	sept. 05	19	9.2	.030	3.6	3.1	.110	470	260	*	

Año de Estudio	# Estación	Fecha de Muestreo	Flujo (cfs)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Amoníaco (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Fecales (col/100 mL)	Estreptococos Fecales (col/100 mL)	Coliformes Totales (col/100 mL)
1997	50046000 Carretera # 2 cerca de Toa Alta	oct. 15	43	7.7	.020	4.7	.40	.040	K 720	K 64	*
		feb. 20	51	7.4	.130	5.8	1.8	.040	K 1100	K 140	*
		may. 14	20	12.8	.010	3.7	2.3	.040	K 740	K 82	*
		sept. 08	13	6.4	.050	3.8	.50	< .020	K 150	K 100	*
1998	50043000 Proyecto La Plata	oct. 30	35	7.0	.020	8.3	6.2	.200	320	290	*
		feb. 26	19	7.0	.030	6.5	.40	.080	210	K 130	*
		may. 19	57	7.6	.040	8.5	3.8	.170	3,400	K 82	*
		ago. 20	14	10.4	.070	8.1	4.1	.050	K 40	K 20	*
	nov. 05	47	7.4	.030	5.0	11	.140	K 780	240	*	
	50044000 Cerca de Comerio	mar. 02	29	7.2	.040	2.6	2.2	.050	240	210	*
		jun. 01	72	8.4	.040	5.7	4.5	.090	K 840	K 150	*
		ago. 17	22	8.4	.030	2.3	10	.090	K 36	490	*

K – Resultados basados en conteo de colonias fuera del rango de aceptación, conteo no ideal.

E – Valor estimado

* - Entre los años 1996 al 2002 se muestreaba para Estreptococos Fecales. Desde el año 2003 se comenzó a muestrear para coliformes fecales.

Año de Estudio	# Estación	Fecha de Muestreo	Flujo (cfs)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Amoníaco (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Fecales (col/100 mL)	Estreptococos Fecales (col/100 mL)	Coliformes Totales (col/100 mL)
1998	50046000 Carretera # 2 cerca de Toa Alta	oct. 27	37	5.4	.070	7.8	1.3	.100	K 1,500	860	*
		feb. 18	31	10.6	.020	5.3	2.2	.060	2,100	< 10	*
		jun. 15	25	7.0	.060	6.1	.46	.080	K 730	K 20	*
		sept. 03	60	2.2	.420	7.7	3.8	.070	2,100	540	*
1999	50043000 Proyecto La Plata	nov. 03	117	7.7	.020	7.2	19	.060	2,200	K82	*
		mar. 08	34	8.7	.040	**	2.0	< .020	K 50	920	*
		may. 12	15	10.7	.050	**	10	E .150	K 1,200	K 90	*
	sept. 02	15	8.5	.060	12	5.3	.100	K 180	K 150	*	
	nov. 17	229	7.5	.030	7.7	6.9	.110	5,500	470	*	
	50044000 Cerca de Comerio	mar. 04	83	8.7	.060	7.3	17	.100	K 820	K 40	*
		may. 12	54	8.0	.030	**	10	E .070	2,700	750	*
		sept. 01	44	8.3	.040	6.2	6.5	.090	310	K 50	*

Año de Estudio	# Estación	Fecha de Muestreo	Flujo (cfs)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Amoníaco (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Fecales (col/100 mL)	Estreptococos Fecales (col/100 mL)	Coliformes Totales (col/100 mL)
1999	50046000 Carretera # 2 cerca de Toa Alta	nov. 04	E 360	6.4	.110	8.0	39	.080	K 15,000	560	*
		feb. 18	40	7.8	.150	6.9	2.8	.050	K 740	K 82	*
		may. 10	35	4.3	.370	**	20	E .110	K 1,300	650	*
		ago. 26	38	5.5	.080	5.0	2.7	.040	360	K 30	*
2000	50043000 Proyecto La Plata	oct. 26	137	7.1	.09	10.2	150	.130	K 7,300	7,400	*
		feb. 11	39	8.8	.03	9.3	1.4	.080	K 640	K 18	*
		abr. 17	24	8.0	.07	8.8	2.8	.130	410	270	*
	ago. 14	7.4	7.2	.04	12.2	3.7	.200	570	K 110	*	
	50044000 Cerca de Comerio	nov. 18	E 1,000	8.2	.08	10.4	140	.250	K 7,200	8,500	*
		feb. 08	122	8.2	.03	7.7	2.4	.060	K 100	58	*
		may. 01	46	8.2	.14	**	1.9	.050	K 120	K 120	*
sept. 06		74	7.5	.05	5.6	17	.110	3,100	300	*	

Año de Estudio	# Estación	Fecha de Muestreo	Flujo (cfs)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Amoníaco (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Fecales (col/100 mL)	Estreptococos Fecales (col/100 mL)	Coliformes Totales (col/100 mL)
2000	50046000 Carretera # 2 cerca de Toa Alta	oct. 19	288	5.0	.12	4.4	9.8	.060	3,000	3,100	*
		feb. 08	43	7.6	.19	6.2	2.3	.060	K 14	< 1	*
		abr. 13	22	6.3	.29	5.3	.6	.080	K 82	K 10	*
		ago. 28	66	4.4	.52	8.2	50	.130	K 1,300	460	*
2001	50043000 Proyecto La Plata	Oct 06	72	7.8	.04	6.4	17	.100	E 910	E 180	*
		Feb 08	16	8.0	.06	14.6	3.6	.100	E 710	E 73	*
		May 03	16	10.6	.04	12.6	5.4	.170	430	E 200	*
		Aug 31	54	7.3	.05	9.0	**	.090	420	330	*
	50044000 Cerca de Comerio	Oct 11	109	8.6	.02	**	7.8	.110	E 660	360	*
		Feb 12	83	8.8	.03	6.7	1.9	.100	5,000	890	*
		May 03	39	9.4	.02	3.1	5.5	.090	E 45	250	*
		Aug 30	111	7.3	.06	5.2	**	.120	2,800	350	*

Año de Estudio	# Estación	Fecha de Muestreo	Flujo (cfs)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Amoníaco (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Fecales (col/100 mL)	Estreptococos Fecales (col/100 mL)	Coliformes Totales (col/100 mL)
2001	50046000 Carretera # 2 cerca de Toa Alta	Oct 11	68	5.9	.18	5.7	34	.090	5,800	2,600	*
		Feb 07	21	5.7	.19	6.9	2.7	.060	310	< 10	*
		Apr 23	35	6.0	.23	7.9	2.0	.130	430	210	*
		Aug 16	24	4.9	.05	5.5	**	.030	270	E 120	*
2002	50043000 Proyecto La Plata	Nov 28	20	9.6	.02	2.90	2.6	E.11	E118	E140	*
		Mar 13	18	6.3	.08	3.30	4.6	.20	360	390	*
		Sept 04	40	7.0	.04	1.40	41	.14	280	320	*
	50044000 Cerca de Comerío	Nov 29	72	9.6	.05	E1.30	5.6	E.08	3,000	940	*
		Mar 08	56	8.7	.02	1.40	3.5	.14	550	430	*
		Ago 28	28	8.2	.02	.760	3.9	.14	290	280	*
	50046000 Carretera # 2 cerca de Toa Alta	Nov 29	18	7.8	E.04	E.980	78	E.21	E12,000	36,000	*
		Mar 08	9.4	7.9	<.01	1.30	2.6	.17	E900	430	*
		Ago 28	**	7.7	.02	.730	12	.33	E780	520	*

Año de Estudio	# Estación	Fecha de Muestreo	Flujo (cfs)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Amoníaco (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Fecales (col/100 mL)	Estreptococos Fecales (col/100 mL)	Coliformes Totales (col/100 mL)
2003	50043000 Proyecto La Plata	Nov 20	15	7.5	.07	16.8	2.5	.19	E80	E64	* *
		Feb 20	20	6.6	.07	15.5	4.5	.15	E170	*	2,700
		Mayo 19	21	13.3	.06	15.5	3.7	.14	E17	*	450
		Ago 12	41	10.1	.05	9.3	11	.11	E20	*	3,000
		Sep 10	31	10.2	.05	11.5	4.7	.14	64	*	500
	50044000 Cerca de Comerío	Nov 18	41	9.4	.02	8.4	5.4	.14	210	240	* *
		Mar 19	15	8.1	.02	3.6	E2.6	.12	E100	*	430
		Mayo 05	42	10.1	.02	4.5	1.4	.08	E64	*	800
		Ago 08	79	8.3	.02	7.1	7.5	.11	30	*	3,400
		Sep 10	52	8.0	.03	4.6	7.6	.10	E80	*	E1,900
	50046000 Carretera # 2 cerca de Toa Alta	Nov 22	23	11.6	.04	7.8	1.4	.04	E60	<10	* *
		Mar 28	15	3.6	1.10	9.8	16	.12	E680	*	36,000
		May 16	25	6.6	.27	7.1	10	.04	E12	*	140
		Ago 08	50	4.0	.16	6.1	4.1	.05	84	*	3,000
		Sept 12	52	8.9	.22	6.9	3.0	.05	270	*	6,000

Año de Estudio	# Estación	Fecha de Muestreo	Flujo (cfs)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Amoníaco (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Fecales (col/100 mL)	Estreptococos Fecales (col/100 mL)	Coliformes Totales (col/100 mL)
2004	50043000 Proyecto La Plata	dec. 11	220	8.1	.14	7.1	15	.09	E 7,800	*	34,000
		mar. 17	46	11.4	.10	8.0	4.4	.20	**	*	**
		jun. 18	71	9.8	.06	11.1	71	.16	E 20	*	200
		sept. 09	131	7.2	.74	**	131	.19	E 600	*	E 800
	50044000 Cerca de Comerío	dec. 12	348	8.3	.02	7.1	5.8	.10	3,000	*	48,000
		abr. 19	93	9.2	.02	8.4	3.8	.10	**	*	**
		jun. 03	153	10.3	.02	5.8	< 2.0	.09	350	*	E 8,400
		ago. 18	70	8.1	.04	**	4.7	.13	82	*	830
	50046000 Carretera # 2 cerca de Toa Alta	abr. 13	61	7.2	.10	3.4	4.5	.03	80	*	6,400
		jun. 02	**	7.6	.06	4.6	25	.06	2,700	*	E 12,000
		ago. 06	45	4.5	**	**	4.2	**	E 54	*	E 5,000

** - Datos no obtenidos

Año de Estudio	# Estación	Fecha de Muestreo	Flujo (cfs)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Amoníaco (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Fecales (col/100 mL)	Estreptococos Fecales (col/100 mL)	Coliformes Totales (col/100 mL)
2005	50043000 Proyecto La Plata	nov. 22	114	7.8	.10	2.19	< 2.0	.10	130	*	700
		mar. 03	29	10.3	.09	2.73	2.5	.17	E 15	*	E 64
		may. 18	159	7.5	.19	2.21	81	.14	E 2,700	*	55,000
		ago. 26	69	7.6	.11	1.76	9.4	.11	2,500	*	E 10,800
	50044000 Cerca de Comerío	nov. 09	138	8.4	.03	2.04	2.7	.12	480	*	5,000
		mar. 01	88	10.5	.05	1.53	< 2.0	.11	E 28	*	2,800
		may. 10	108	8.0	.10	2.03	170	.18	E 95,000	*	E 173,000
		ago. 18	86	8.0	E .03	1.54	3.7	.11	2,100	*	7,500
		nov. 08	146	6.4	.10	1.12	15	.06	E 1,600	*	E 8,200
	50046000 Carretera # 2 cerca de Toa Alta	mar. 17	48	7.8	.02	.97	**	.04	E 80	*	520
		may. 13	125	6.8	.13	.87	9.2	.04	600	*	5,400
		ago. 19	225	5.7	.11	1.18	32	.07	2,100	*	4,900

Año de Estudio	# Estación	Fecha de Muestreo	Flujo (cfs)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Amoníaco (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Fecales (col/100 mL)	Estreptococos Fecales (col/100 mL)	Coliformes Totales (col/100 mL)
2006	50043000 Proyecto La Plata	nov. 14	205	8.1	.06	1.40	130	.16	19,000	*	182,000
		feb. 14	43	9.3	.07	2.69	3.9	.15	68	*	E 1,230
		may. 15	29	11.8	.32	4.06	7.0	.14	62	*	370
		ago. 09	123	7.8	.10	1.33	18	.11	3,200	*	E 9,270
	50044000 Cerca de Comerío	nov. 07	354	8.8	<.04	1.68	14	.10	2,000	*	6,200
		feb. 02	104	9.1	E .02	1.66	2.8	.10	310	*	3,400
		may. 11	91	8.4	E .03	2.10	30	.16	1,200	*	7,500
		ago. 18	116	8.8	<.04	1.29	3.4	.15	E 710	*	E 1,400
	50046000 Carretera # 2 cerca de Toa Alta	nov. 16	380	6.5	.07	1.27	53	.09	2,200	*	4,300
		feb. 01	163	8.0	.09	.93	6.2	.04	320	*	E 873
		may. 10	127	7.0	.15	1.22	12	.08	E 620	*	1,730
		ago. 17	72	5.0	.30	1.11	19	.07	4,500	*	22,000

Extraído del documento “Water Resources Data Puerto Rico and U.S. Virgin Islands Water Years 1996 through 2006”.

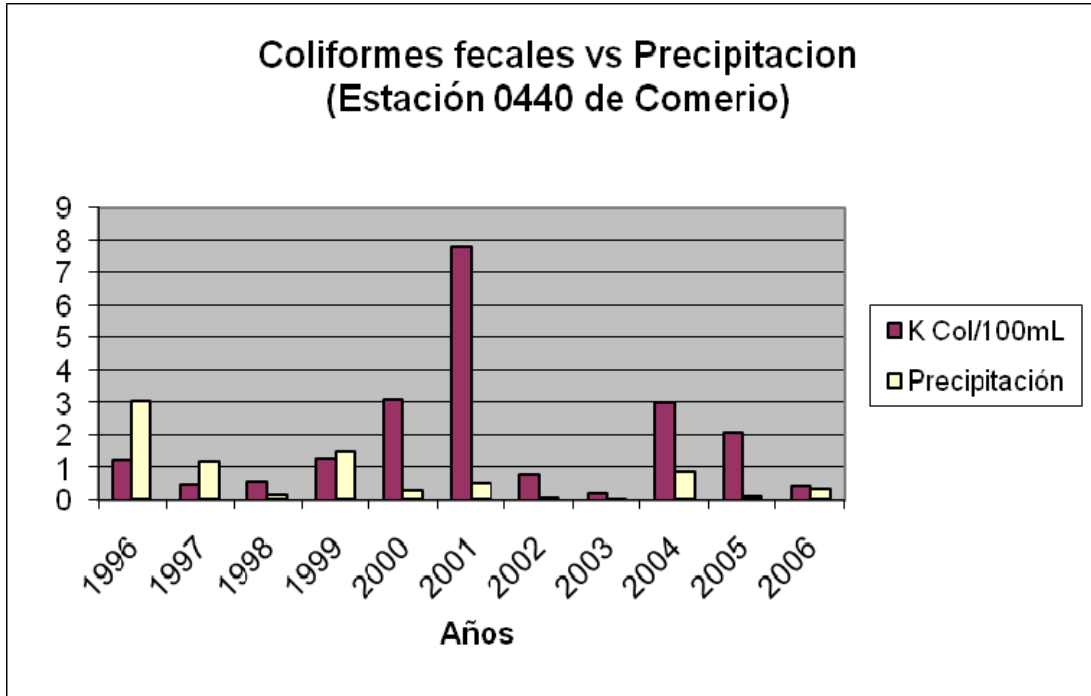


Figura 1. Relación entre los patrones de lluvia y los conteos microbiológicos en la estación 0440 del municipio de Comerío

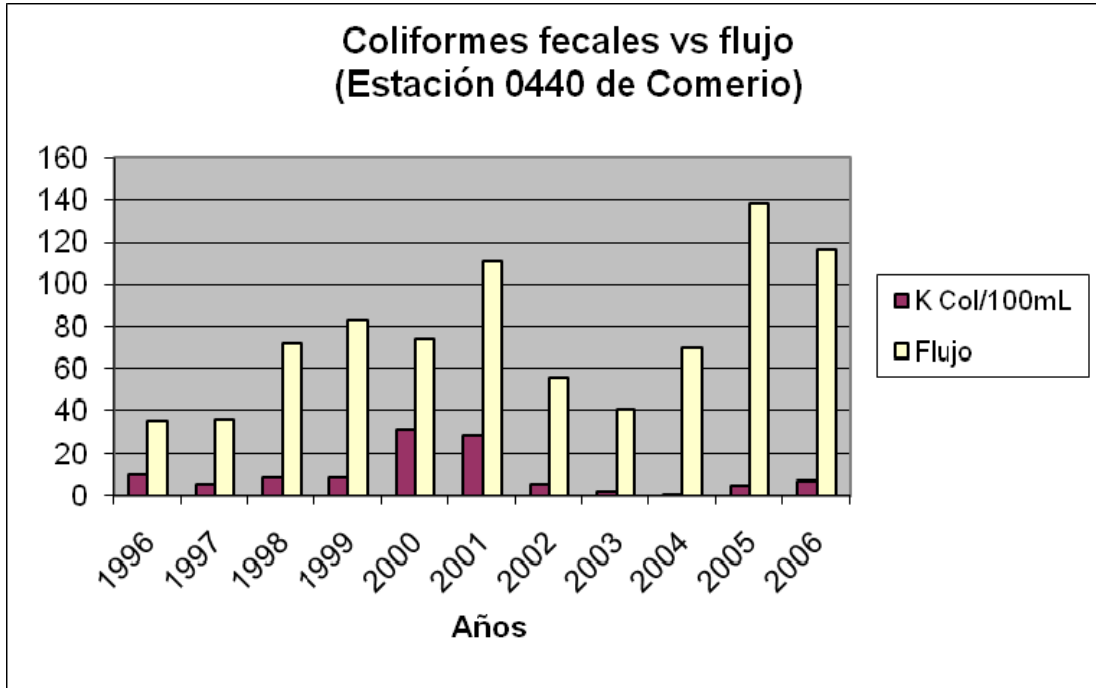
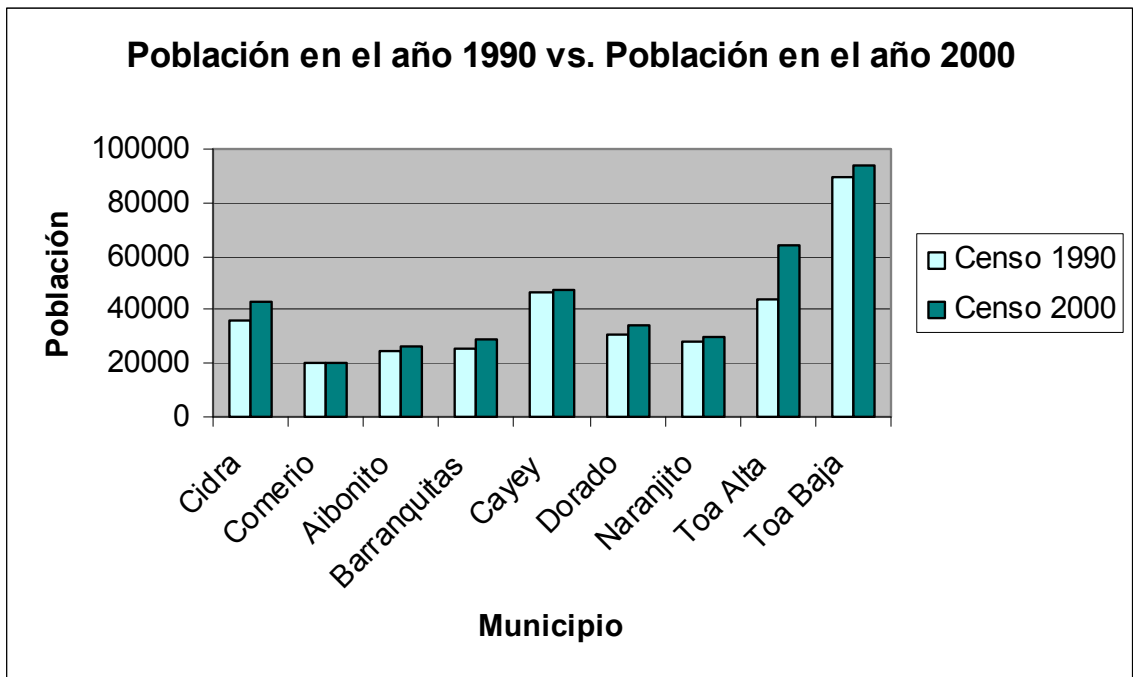


Figura 2. Relación entre el flujo en el Río La Plata y los conteos microbiológicos en la estación 0440 del municipio de Comerío



Información extraída de los Censos de 1990 y 2000

Figura 3. Crecimiento poblacional en los municipios que componen la cuenca del Río La Plata

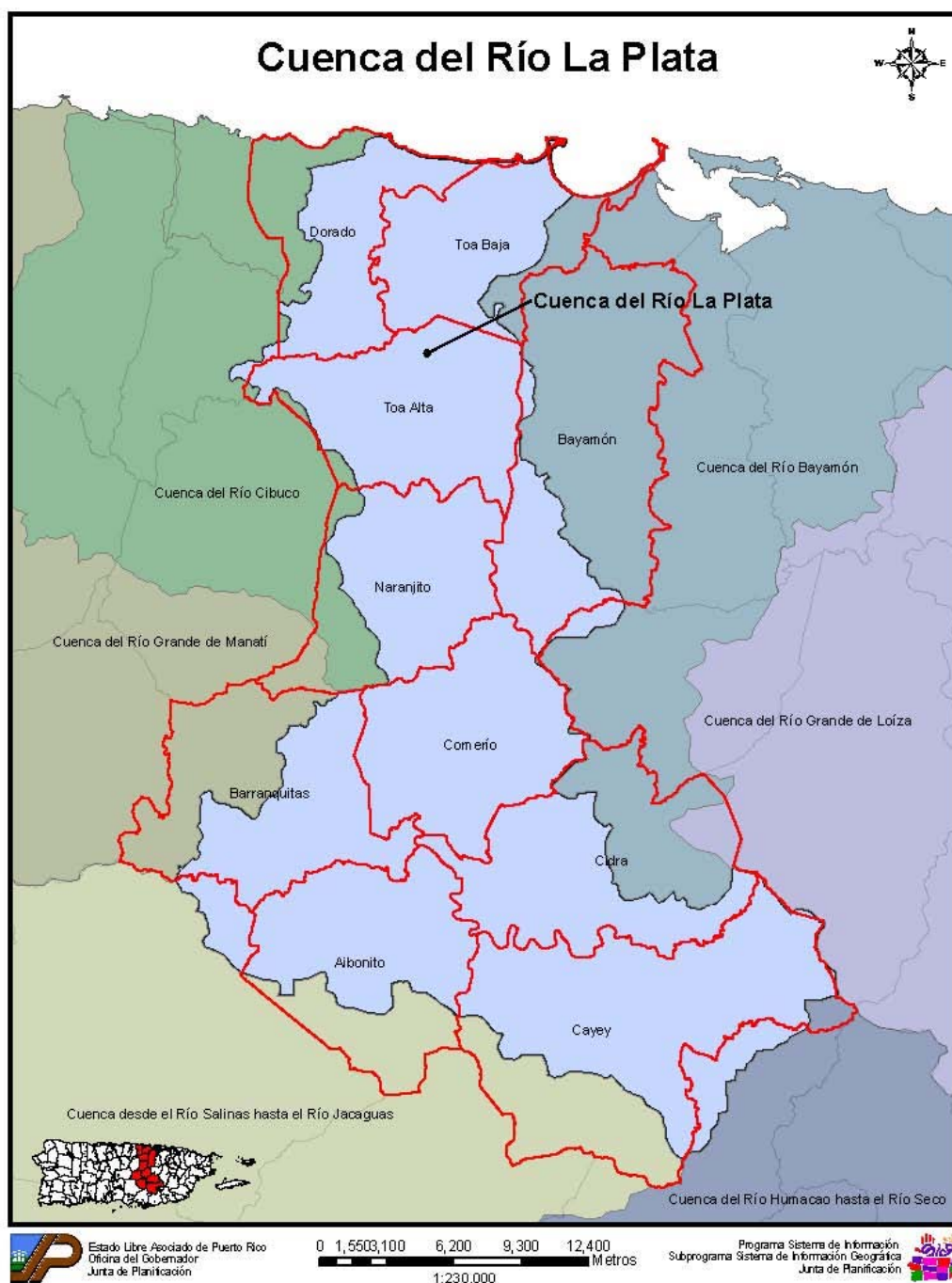


Figura 4. Área de Estudio (Cuenca del Río La Plata)

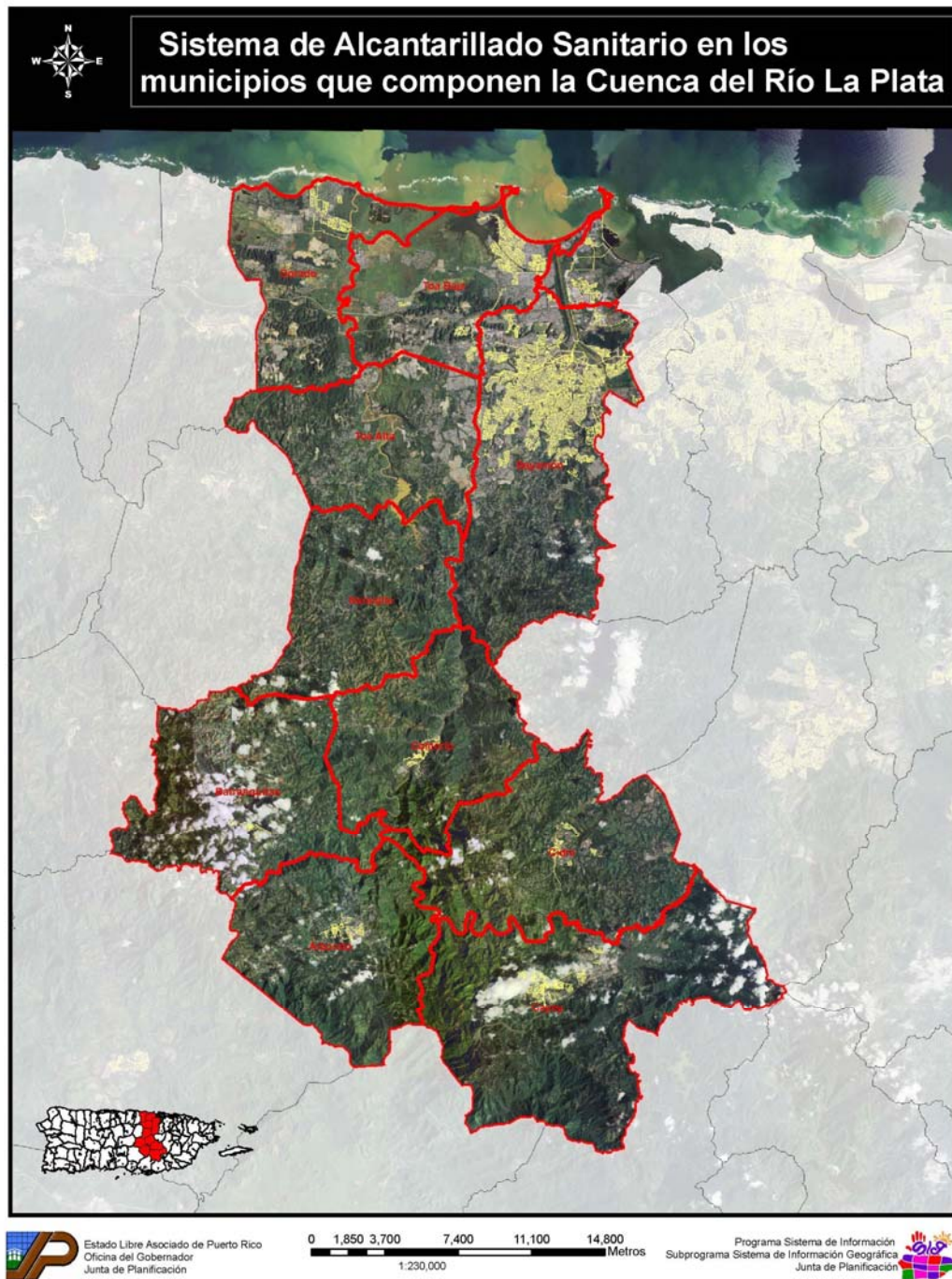


Figura 5. Sistema de alcantarillado sanitario en los municipios que componen la cuenca del Río La Plata

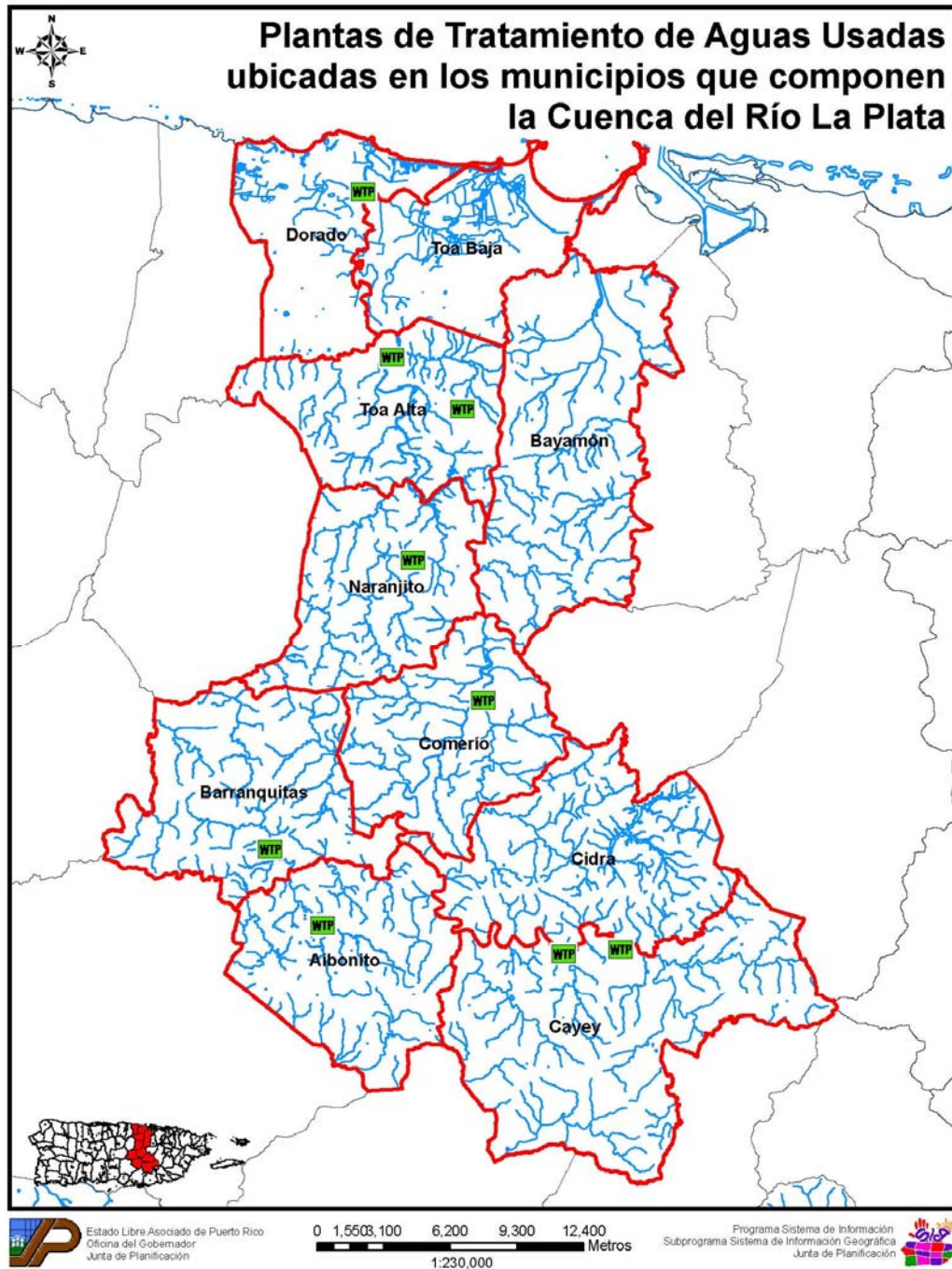


Figura 6. Plantas de tratamiento de aguas usadas ubicadas en los municipios que componen la cuenca del Río La Plata

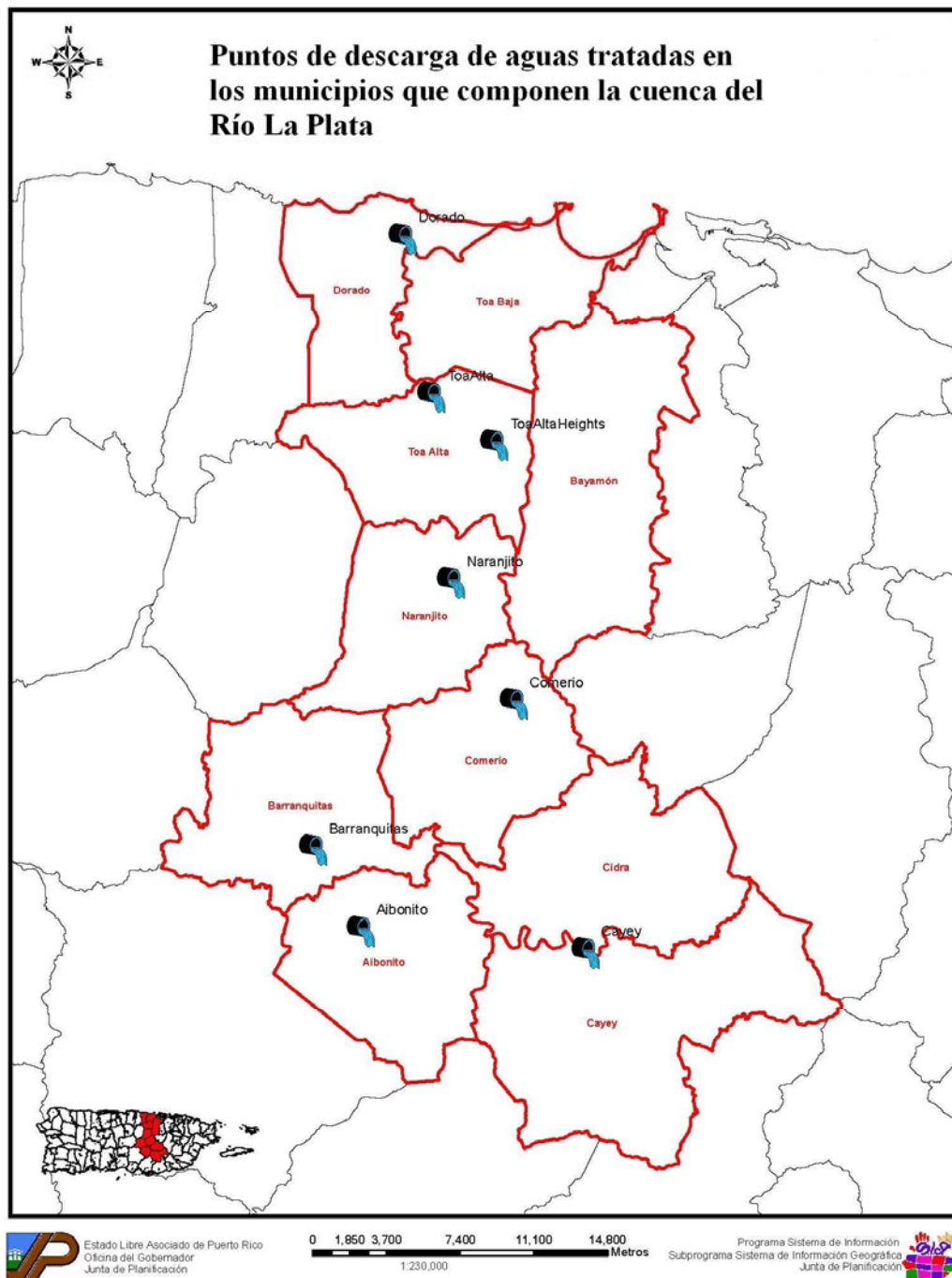


Figura 7. Puntos de descargas de aguas tratadas en los municipios que componen la cuenca del Río La Plata

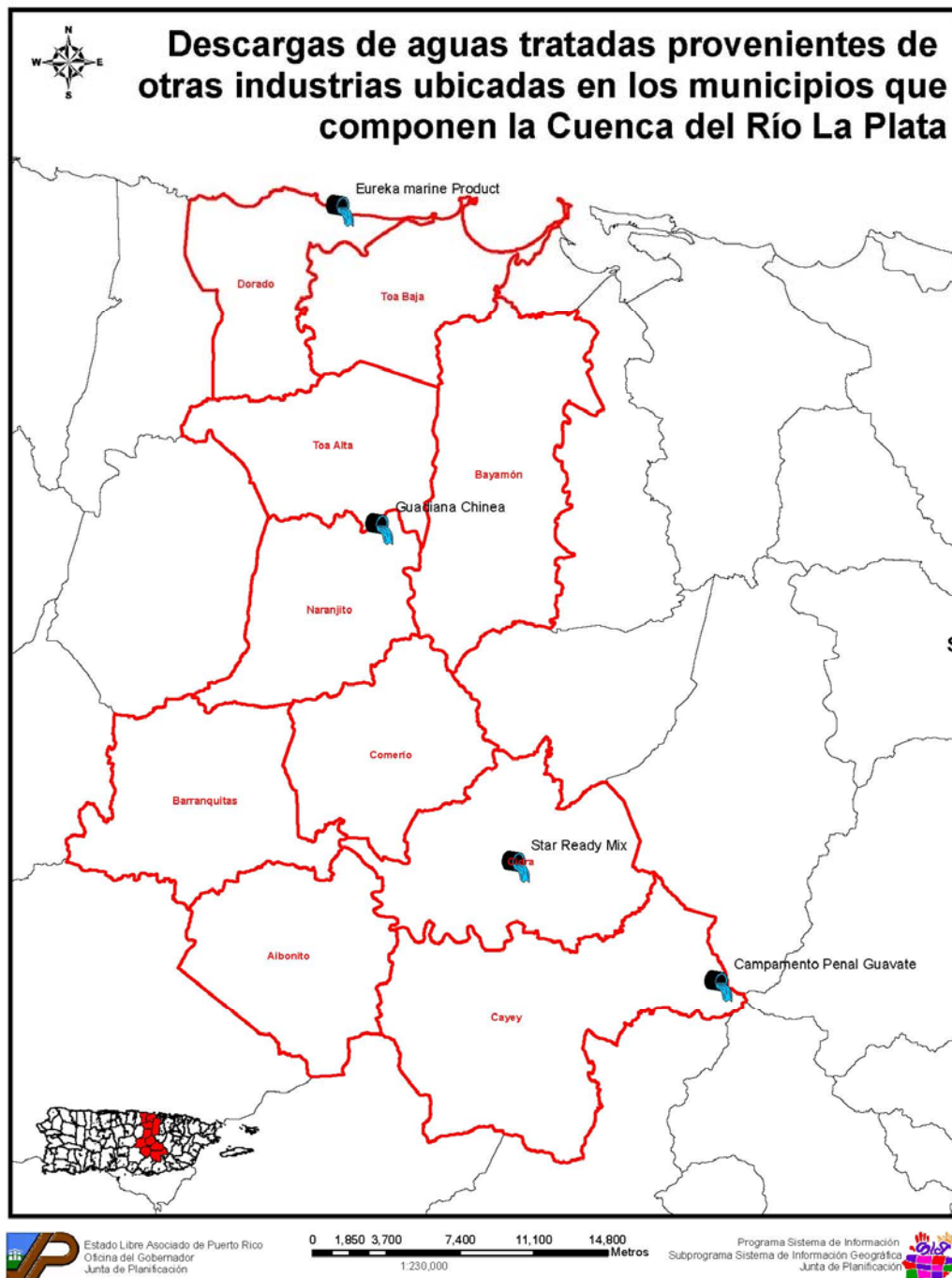


Figura 8. Descargas de aguas tratadas provenientes de otras industrias ubicadas en los municipios que componen la cuenca del Río La Plata

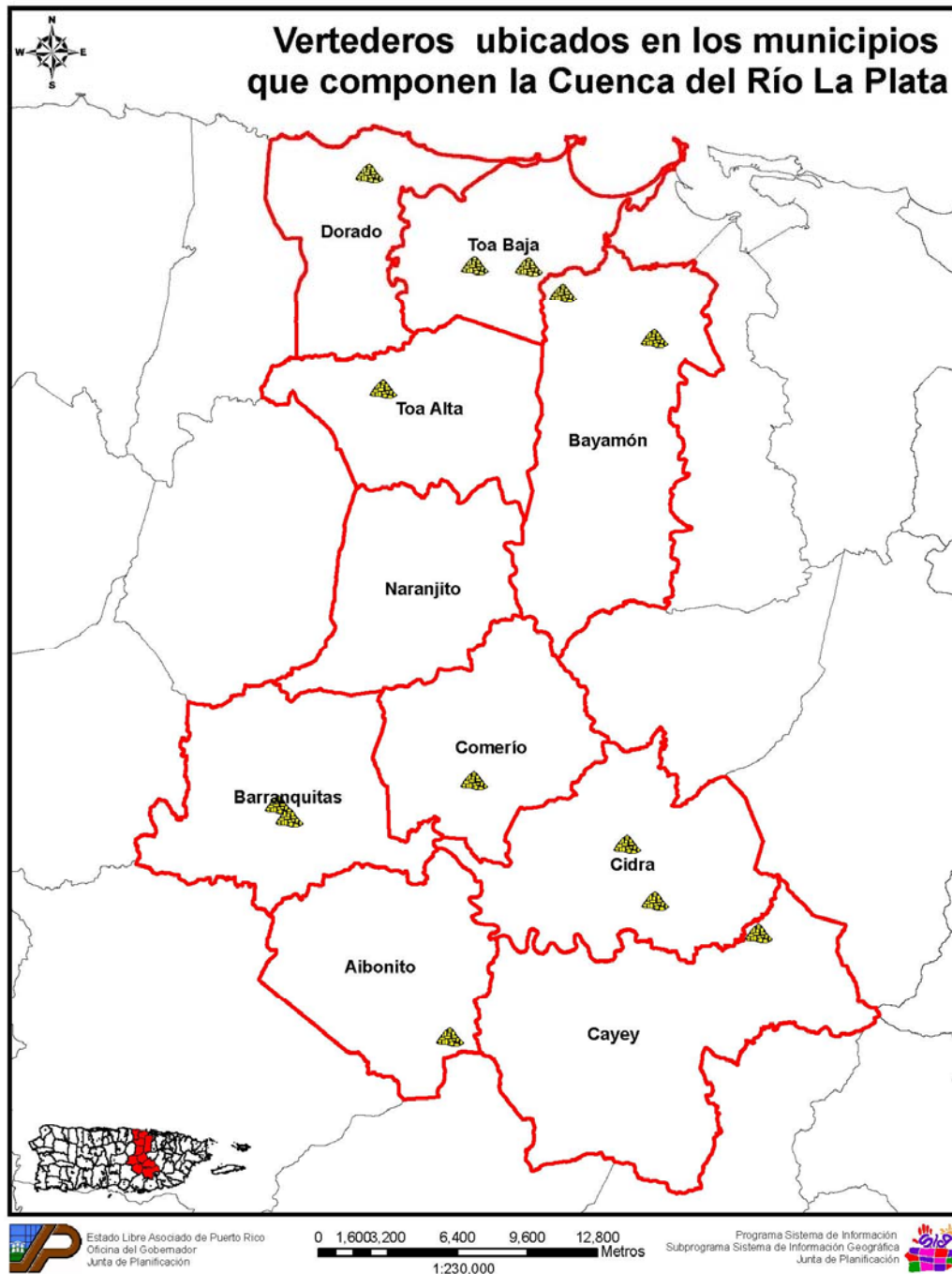


Figura 9. Vertederos ubicados en los municipios que componen la cuenca del Río La Plata

APÉNDICES



Área de estudio (Río La Plata) Cayey



Área de estudio (Río La Plata) Barranquitas



Área de estudio (Río La Plata) Barranquitas



Área de estudio (Río La Plata) Cayey



Área de estudio (Río La Plata) Comerío



Actividades agrícolas en la cuenca del Río La Plata (Cayey)



Polleras en la cuenca del Río La Plata (Aibonito)



Ganado en la cuenca del Río La Plata (Cayey)



Vertedero en la cuenca del Río La Plata (Cayey)