

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

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y POSIBLES FUENTES
DE CONTAMINACIÓN EN UN SEGMENTO DEL RÍO PIEDRAS**

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

Por
Félix A. Ocasio Santiago

24 noviembre de 2008

DEDICATORIA

*A Dios por darme vida,
fuerza, esperanza y fe
en este trabajo y en toda mi vida.
A mi esposa Odalys por su paciencia,
motivación, ayuda y apoyo.
A mi hija Karol Sofía, nacida
durante este proceso, mi motivo
para seguir hacia adelante.*

AGRADECIMIENTOS

A la profesora María Ortiz por toda la motivación y apoyo, y al Dr. Carlos Padín por ayudarme a desarrollar el tema. Al Dr. Alberto García Moll, por aceptar el reto de mentoría. Al Dr. Manuel Acevedo, gracias por haber sido mi profesor y mentor desde bachillerato; nos vemos en Cabachuela. A Milka L. Miranda por aceptar ser parte de mi comité; gracias por todo el apoyo y los momentos de desahogo en el CIAC. A la Fundación José Jaime Pierluisi, en especial a Caridad Pierluisi por la beca otorgada para culminar mi grado. Agradezco a todo el personal del Laboratorio Central de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, en especial a la Sra. Maritza Merced y al Sr. Dagoberto Arias quienes me facilitaron el equipo de muestreo y el análisis posterior de datos.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE APÉNDICES	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
Trasfondo del problema	1
Problema del estudio	2
Justificación del estudio	3
Pregunta de investigación	3
Meta	4
Objetivos	4
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	5
Trasfondo histórico	5
Marco teórico	6
Estudio de casos	20
Marco legal	22
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	28
Introducción	28
Área de estudio	28
Diseño metodológico	29
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
Introducción	33
Parámetros físicos	34
Parámetros bacteriológicos	36
Parámetros químicos	37
Parámetros metales	39
CAPÍTULO V: CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	46
Conclusiones	46
Recomendaciones	51
Limitaciones del estudio presente	52
LITERATURA CITADA	53

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Estándares específicos para sustancias inorgánicas.....	60
Tabla 2. Tipos de preservativos y envases.....	61
Tabla 3. Parámetros del Reglamento de estándares de agua de la JCA y EPA.....	62
Tabla 4. Valores promedio <i>para las estaciones</i>	63
Tabla 5. Contaminantes positivos en estaciones.....	64
Tabla 6. Valores de contaminantes estación DE.....	65

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Foto aérea del lugar	67
Figura 2. Cuenca hidrográfica del Río Piedras	68
Figura 3. Estaciones de muestreo hechas en el evento seco.....	69
Figura 4. Estación del canal de desagüe del estacionamiento UMET.....	70
Figura 5. Estaciones de muestreo hechas en el evento lluvia.....	71
Figura 6. Valores promedio para las concentraciones de DQO, OD, TSS y grasas y aceites por estación.....	72
Figura 7. Valores promedio para las concentraciones de N+N y fósforo por estación.....	73
Figura 8. Valores promedio para las concentraciones de coliformes fecales y totales por estación.....	74
Figura 9. Valores promedio para las concentraciones de metales por estación.....	75
Figura 10. Valores promedio para las concentraciones de metales por estación	76
Figura 11. Valores promedio para las concentraciones de metales por estación	77
Figura 12. Valores promedio para la concentración de pH por estación.....	78
Figura 13. Valores promedio para la concentración de temperatura por estación.....	79
Figura 14. Valores promedio para la concentración de conductividad por estación.....	80
Figura 15. Mapa geológico del área donde está localizado el estudio.....	81
Figura 16. Valores promedio para la concentración de OD por estación.....	82
Figura 17. Valores promedio para la concentración de DQO por estación.....	83

Figura 18.	Valores promedio para la concentración de SST por estación.....	84
Figura 19.	Valores promedio para la concentración para coliformes fecales por estación.....	85
Figura 20.	Valores promedio para la concentración para coliformes totales por estación.....	86
Figura 21.	Valores promedio para la concentración de P por estación.....	87
Figura 22.	Valores promedio para la concentración de N por estación.....	88
Figura 23.	Valores promedio para la concentración de aceites y grasas por estación.....	89
Figura 24.	Valores promedio para la concentración de Antimonio por estación.....	90
Figura 25.	Valores promedio para la concentración de Arsénico por estación.....	91
Figura 26.	Valores promedio para la concentración de Bario por estación.....	92
Figura 27.	Valores promedio para la concentración de Berilio por estación.....	93
Figura 28.	Valores promedio para la concentración de Cadmio por estación.....	94
Figura 29.	Valores promedio para la concentración de Cromo por estación.....	95
Figura 30.	Valores promedio para la concentración de Níquel por estación.....	96
Figura 31.	Valores promedio para la concentración de Manganeso por estación.....	97
Figura 32.	Valores promedio para la concentración de Plata por estación.....	98
Figura 33.	Valores promedio para la concentración de Selenio por estación.....	99

Figura 34.	Valores promedio para la concentración de Talio por estación.....	100
Figura 35.	Mapa de posibles fuentes dispersas y puntuales de contaminación.....	101
Figura 36.	Mapa canal de desagüe estacionamiento UMET	102
Figura 37.	Mapa zona inundable Río Piedras Sector El Cinco.....	103
Figura 38.	Mapa zona amortiguamiento.....	104

LISTA DE APÉNDICES

	Página
Apéndice 1. Hoja cadena de custodia.....	106
Apéndice 2. Análisis en Minitab.....	108
Apéndice 3. Reporte de los análisis para metales en el Laboratorio de la AAA.....	114
Apéndice 4. Reporte de los análisis bacteriológicos en el Laboratorio de la AAA.....	116
Apéndice 5. Reporte de los análisis en el Laboratorio de la AAA.....	119
Apéndice 6. Fotografías: Estaciones de muestreo EU.....	120
Apéndice 7. Fotografías: Estaciones de muestreo CTV.....	122
Apéndice 8. Fotografías: Estaciones de muestreo DE.....	124
Apéndice 9. Data Minitab.....	128

RESUMEN

Identificamos un segmento del Río Piedras y las posibles fuentes de contaminación. Analizamos la calidad del agua y las violaciones a las normas establecidas en el Reglamento de Estándares de Calidad del Agua de la Junta de Calidad Ambiental (JCA) de Puerto Rico y la norma de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (USEPA). Evaluamos las posibles fuentes de contaminación como dispersa y puntual. El método utilizado para el desarrollo de este estudio fue el análisis físico, químico y microbiológico de muestras tomadas en tres estaciones. Las muestras fueron recolectadas en dos días para dos eventos diferentes: evento seco y evento de lluvia. Establecimos comparaciones de los resultados entre el entorno de los puntos de muestreo y cómo se afecta el segmento por éstos. El segmento bajo estudio posee fuentes de contaminación producidas por las aguas de escorrentías, jardines y áreas de bosques secundarios. Identificamos parámetros que no cumplen con las normas de validación de la USEPA y la JCA en algunas estaciones de muestreo. Entre los parámetros que no cumplieron se encuentran: coliformes fecales, coliformes totales, aceites y grasas, manganeso y arsénico. Se evidenció un aumento en concentraciones para todos los parámetros en el evento de lluvia. También sugerimos que la relación con las concentraciones de metales varía según las propiedades y formaciones geológicas del suelo. Los datos sugieren que los estacionamientos y zonas urbanas aportan una gran cantidad de materiales contaminantes, degradando así la calidad del agua. El estudio presentó evidencia de la existencia de contaminantes en el agua. Por lo tanto, los datos obtenidos sirven de referencia en investigaciones futuras. Se recomendaron estrategias a la institución académica próxima al segmento evaluado para contribuir a mejorar la calidad de las aguas.

ABSTRACT

We identified a segment of the Río Piedras and its possible sources of pollution. We analyzed the water quality and violations of the water quality standards established by the Commonwealth of Puerto Rico Environmental Quality Board (PREQB) and United States Environmental Protection Agency (USEPA). We assessed the possible point and non-point sources of pollution. The methods used for the development of this study were physical, chemical and microbiological analysis of water samples taken at three stations. The samples were collected in two days for two different events: dry weather and rain weather. We established comparisons of the pollutants from the sampling stations and how our river segment is affected by these pollutants. The river segment under investigation has sources of pollution produced by water runoff, lawns and gardens and areas of secondary forests. We identified parameters that do not meet USEPA and the PREQB water quality standards in some of the sampling stations. The parameters that did not comply with water quality standards were: fecal coliforms, total coliforms, oils and grease, manganese and arsenic. The water samples taken during the rainy weather event showed an increase in concentration for all environmental parameters. We suggest that the concentrations of metals vary according to the properties of the soil and the geological formations where they are found. It seems that the parking lots and urban areas provide a large amount of contaminants which degrades water quality. The study presented evidence on the existence of pollutants in the water. Therefore, the data obtained can serve as reference in future research studies. We recommended strategies to the academic institution located next to the evaluated segment of the river for the mitigation of pollution and the improvement of its water quality.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del problema

Los ríos son una de las fuentes principales de agua potable en Puerto Rico y constituyen una parte esencial del ciclo hidrológico. Estos pueden contaminarse en su trayecto desde el nacimiento hasta su desembocadura, y transportar y acumular contaminantes. Uno de los principales problemas de los ríos que trascurren por zonas urbanizadas es la contaminación con nitrógeno en las aguas de escorrentía pluvial (López & Villanueva, 2006). La mayoría de los ríos se ven afectados por las descargas de aguas usadas sin tratar provenientes de vertederos clandestinos, rellenos sanitarios, desechos industriales líquidos y sólidos (Marcos & Botana, 2006). Se conoce que las aguas de escorrentía pluvial de las ciudades son de baja calidad y su composición química es comparativa a la de las aguas usadas (Lugo & García, 1996).

Los ríos que su cauce corre por las zonas urbanas son de los sistemas naturales más degradados porque son impactados por fuentes puntuales y dispersas ya que reciben contaminantes por descargas industriales y por escorrentías de las lluvias (Pave & Marchese, 2005). El Río Piedras es uno de los ríos con mayor impacto debido a que discurre por áreas de gran presión de desarrollo y desparrame urbano (Pérez, 2000). Este río nace en el Barrio Caimito del Municipio de San Juan y desemboca en la Bahía de San Juan. El mismo desagua en una cuenca con un área de 76.14 km² y transcurre por los municipios de Trujillo Alto y San Juan. Tiene aproximadamente 19.1 km de largo, su cauce va desde 1.24 a 7.75 metros de ancho y tiene 13 quebradas como tributarios principales. El río fue canalizado en el área baja de Hato Rey para reducir las inundaciones y favorecer la seguridad y bienestar de la población circundante.

Desde su nacimiento en Caimito, el Río Piedras ha sido impactado por los desarrollos de las urbanizaciones más recientes Montehiedra y Los Paseos, y de las primeras El Paraíso, San Gerardo y Sagrado Corazón. La cuenca hidrográfica del Río Piedras se encuentra densamente poblada, urbanizada e industrializada (Díaz, 1996). A estos efectos se han realizado estudios que evidencian que la calidad del agua se ha degradado debido al desarrollo intenso de las áreas circundantes (Webb & Gómez, 1998).

Problema de estudio

El desarrollo residencial y comercial junto al desparrame urbano en la cuenca hidrográfica del Río Piedras ha reemplazado las áreas de amortiguamiento, bosques y pastoreo (CCMP, 1999). La ausencia de planificación, la carencia de criterios y un asesoramiento ambiental inadecuado ha provocado un aumento en la degradación de los ecosistemas (Marcelo, 2001). El Río Piedras ha sido catalogado por la Junta Calidad Ambiental (JCA) como un cuerpo de agua con prioridad para restauración (JCA, 2003) debido a la influencia urbana y los contaminantes que ha recibido por años. Los impactos del Río Piedras comienzan desde su nacimiento en el Barrio Cupey donde una gran parte de los habitantes disponen las aguas usadas en pozos sépticos (CCMP, 1999). La agencia de Protección Ambiental de (USEPA, por sus siglas en inglés) y el Servicio Geológico de Los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) han encontrado y evidenciado violaciones para los parámetros de coliformes fecales, plomo, amoníaco y arsénico (USGS, 2006).

En los terrenos aledaños al segmento que transcurre detrás de la Universidad Metropolitana en San Juan (UMET) ubican gasolineras, almacenes y áreas para estacionamientos. Estos lugares constituyen fuentes de contaminación por la escorrentía pluvial que transporta

contaminantes al río. Los estacionamientos son considerados como una fuente importante de contaminantes químicos a los cuerpos de agua por ser áreas impermeables (Tiefenthaler et al., 2001). A base de este trasfondo, seleccionamos un segmento de la cuenca que bordea la Universidad Metropolitana para detectar las posibles fuentes de contaminación y las acciones correctivas a seguir.

Justificación del estudio

El Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés) también ha catalogado al Río Piedras como un cuerpo de agua con prioridad para restauración al igual que la JCA como mencionamos anteriormente (JCA, 2003). Existen datos del USGS para este río tomados en las estaciones del lago Las Curias (50048680), en el área de Río Piedras en El Señorial (50048770) y en Hato Rey (50049100). Sin embargo, para el segmento colindante a la UMET no existen estaciones de monitoreo ni estudios que nos lleven a conocer cuál es la calidad del río en esta zona. La información recopilada nos permitirá detectar cuantitativamente la contaminación y se podrá correlacionar las mismas con las fuentes de contaminación dispersa y puntual. Además, los resultados de este estudio contribuirán al análisis de fuentes dispersas que pudieran controlarse, así como recomendar iniciativas en las que la UMET pueda contribuir a mejorar este problema.

Pregunta de investigación

¿Estará el segmento del Río Piedras colindante a la UMET contaminado por fuentes puntuales o dispersas?

Meta

La meta de este estudio es evaluar la calidad de agua en un segmento del Río Piedras y relacionar sus posibles fuentes de contaminación para recomendar medidas de mitigación.

Objetivos

1. Analizar parámetros de calidad del agua en un segmento del Río Piedras colindante a la UMET.
2. Identificar fuentes potenciales de contaminación que estén impactando el segmento del Río Piedras.
3. Identificar y recomendar las mejores prácticas de manejo para mitigar las fuentes de contaminación dispersa para que la UMET pueda contribuir a mejorar la calidad del agua del Río Piedras.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

El Río Piedras fue de gran valor para la ciudad de San Juan en el pasado ya que proveía el agua para los cultivos de caña de azúcar. Este río era el principal contribuidor que mantenía fértil el suelo y proporcionaba agua para consumo a los residentes de San Juan. En los años 1890, una represa de mampostería se construyó en el Río Piedras precisamente dentro del segmento que transcurre colindante al estacionamiento de la UMET y el Jardín Botánico (Díaz, 2002). Esta represa, en combinación con el primer sistema de acueducto y filtración, le proveía agua a la Ciudad de San Juan. Este sistema en el Río Piedras fue utilizado como fuente de abasto de agua. Desde entonces y hasta el año 1945, el Río Piedras funcionó normalmente con su sistema de acueducto. El aumento de la población, el mal manejo de la cuenca hidrográfica y la basura depositada en el río, redujeron su caudal y almacenamiento (Pérez et al., 2005).

En el año 1946, el Río Piedras fue represado en el Barrio Cupey de San Juan. Conjuntamente se construyó la represa Las Curias creándose el lago artificial con un área de 12.1 hectáreas y una capacidad de 1.4 hectómetros cúbicos. El lago Las Curias se encuentra en la carretera 176. Originalmente se construyó para utilizarse como abasto de agua potable y en la actualidad no está en uso. Sólo se utiliza para recreación y pesca. El agua que almacena es para uso como reserva de emergencia.

Posteriormente, estudios realizados en 1984 documentaron que el 75 % de la cuenca del Río Piedras ya estaba urbanizada y las proyecciones sugirieron que la cuenca sería desarrollada en su totalidad para el año 2000 (Gellis, 1991). El problema de contaminación del río comienza

desde el Barrio Cupey y se acrecienta en el Barrio Caimito. Esta contaminación se debe a las descargas ilegales de aguas usadas, el uso de pozos sépticos, fertilizantes, las escorrentías urbanas y la falta de planificación adecuada en las áreas aledañas al río (CCMP, 1999).

En 2000, como parte de una extensión del proyecto de la Urbanización Montehiedra, la compañía AH Development sepultó un kilómetro del tributario del Río Piedras la Quebrada Chiclana al instalar un desagüe francés. Esto es una estructura soterrada que se usa principalmente en proyectos como jardines residenciales y patios con el fin de evitar la acumulación de agua (Pérez, 2005). Luego de un acontecimiento de lluvias, el terreno se desestabilizó provocando que se desprendiera fango y piedras sobre las viviendas cercanas y la quebrada afectando la calidad y el flujo de las aguas. Los datos del USGS evidenciaron que los sedimentos que fluyeron por la quebrada Chiclana ganaron acceso hasta el Estuario de la Bahía de San Juan (Pérez, 2000).

Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica se define como un área de terreno que desagua en una quebrada, río, lago, pantano, acuífero, bahía o estuario. Toda el agua proveniente de lluvias y riego que corre por la superficie del suelo en un valle desemboca en desagües pluviales, quebradas y ríos que fluyen directamente al mar. La cantidad de agua que va a tener una cuenca hidrográfica dependerá de la cantidad de lluvia que reciba, su tamaño y forma. El tipo de suelo de la cuenca influirá en la humedad y la escorrentía.

Plan para a protección y conservación de cuencas hidrográficas

Un plan de protección y conservación se utiliza para la prevención y el mantenimiento saludable de algún cuerpo de agua. Se ha evidenciado que elaborar un plan es necesario para minimizar el efecto de la contaminación y la degradación del cuerpo de agua (Daniels y Daniels, 2006). La contaminación ocurre a causa de las aguas pluviales debido al arrastre de contaminantes al río cuando discurren por zonas urbanas y rurales. Esto implica que se afecta la calidad de agua del río. Se estima que el agua de lluvia y sus escorrentías posteriores son el mayor contribuyente de la contaminación en cuerpos de agua (USEPA, 2000). La USEPA ha desarrollado un programa llamado Permiso del Sistema de Eliminación de Descargas de Aguas de Escorrentías (NPDES, pos sus siglas en inglés) bajo la Ley de Agua Limpia (CWA, por sus siglas en inglés). Este programa requiere un permiso para descargas de aguas de escorrentías. Se divide en dos tipos de permisos: generales e industriales. Al amparo de este programa se sugiere el mantenimiento y limpieza de las cuencas hidrográficas mediante varios programas que son aplicables. Uno de los más utilizados son los métodos naturales que no comprenden estructuras o costos elevados (Wong & Taylor, 2002). Además, recomienda realizar un monitoreo de la calidad del agua, mantenimiento preventivo, zonas de amortiguamiento y filtración, charcas de retención y educación comunitaria. Este tipo de mantenimiento y planes ayudan a prevenir la contaminación significativa en los cuerpos de agua y contribuyen al mejoramiento de las áreas afectadas (USGS, 1998).

Impactos en los cuerpos de agua

El problema de agua que existe en las áreas urbanas afecta tanto la calidad como la cantidad del recurso. En Puerto Rico no hay problema con la cantidad sino con la calidad de

agua debido a la contaminación de las aguas que ocurre por causas antropogénicas. La contaminación se define como la incorporación de alguna sustancia que altere o deteriore la calidad del agua (JCA, 2003a). En condiciones naturales se encontrarían contaminantes como organismos patogénicos, nitrógeno y fósforo pero, en bajas cantidades. Estas concentraciones o cantidades naturales, a través de las actividades humanas, aumentan debido a que se contaminan con diversas sustancias que pueden ser tóxicas. La mayoría de estos contaminantes se acumulan en los sedimentos y causan a su vez una alteración a los factores bióticos (Oral et al., 2007).

Los contaminantes ganan acceso a los cuerpos de agua por medio de los desagües pluviales. El acarreo de sustancias que las aguas de escorrentías encuentran a su paso ocurre en tiempo de lluvia (Memon & Butler, 2005). Estos contaminantes afectan grandemente la calidad del agua. Cuando se trata de un desagüe, considerado como un punto fijo de contaminación, se pueden tomar medidas de mitigación. El mal manejo de estos desagües afectan y alteran los ríos donde desembocan (Gromaire et al., 1999). Cuando llueve, se acarrea mucho material de todos lados lo cual se considera como un punto no fijo o disperso de contaminación y por ende, no se puede tener un monitoreo ni obtener datos concretos cualitativos ni cuantitativos para determinar cuánto afecta este suceso a un cuerpo de agua. Según Wunderlin et al. (2001), para determinar la calidad del agua se toma en consideración los parámetros físicos, químicos y biológicos con los cuales se analiza la variación y resultados de ellos. Luego se estudian las variaciones en actividades humanas o naturales.

Fuentes de contaminación puntual y dispersa

Personal del Proyecto 208 Isla de La Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico, bajo la Sección 208 de las enmiendas de 1972 de la Ley Federal de Control de Contaminación de Agua

(Federal Water Pollution Control Act (PL-92-500), preparó el primer plan de manejo de calidad del agua para la Isla de Puerto Rico (Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico, 1978). Tuvimos la oportunidad de conversar con un miembro del personal del Proyecto 208 Isla que coordinó la preparación de las secciones de Escorrentía Urbana y Comunidades Rurales del capítulo de Fuentes Dispersas y las evaluaciones de los impactos socio-económicos y ambientales de las estrategias para el control de las fuentes de contaminación dispersa (García-Moll, A., 1978). En esta preparación también participaron consejeros técnicos de diversas agencias gubernamentales y consultores técnicos de firmas privadas de ingeniería y planificación así como el U.S. Geological Survey. Los problemas de calidad de agua que existían hace tres décadas se han acrecentado significativamente debido al aumento en la población y al desarrollo económico. Este plan abarcador fue un intento de proyectar a largo plazo unas estrategias de control de contaminación para aquellos problemas existentes a 1978. Sin embargo, debido a los dos factores mencionados anteriormente sobre la población y el desarrollo, a 2008 Puerto Rico aún posee serios problemas de contaminación de diversas fuentes. Entre las más difíciles de controlar y mitigar están las fuentes de contaminación dispersa. Contrariamente, las fuentes puntuales son usualmente más fáciles de identificar. El estudio presente se relaciona directamente con una fuente dispersa: la escorrentía pluvial proveniente de un área utilizada para estacionar automóviles. En la periferia de esta área existen otros sitios que aportan material originado por la erosión del suelo, tales como laderas que dan al cuerpo de agua. En el plan de manejo de calidad del agua mencionado anteriormente se presentan y discuten detalladamente estrategias de planificación, manejo y control técnico de las fuentes de contaminación dispersa proveniente de la escorrentía pluvial urbana, comunidades rurales, agricultura, construcción y

minería. Más adelante recomendaremos varias técnicas de mitigación de fuentes de contaminación dispersa pertinente al presente estudio.

Las fuentes de contaminación puntual son aquellas que descargan a un cuerpo de agua en un punto específico. El punto más conocido son los desagües de las plantas de tratamiento de agua para agua potable. Los puntos fijos como las plantas de tratamiento son reglamentados por la Ley de Agua Limpia CWA mediante el permiso NPDES ya que obliga a cumplir un límite para cada parámetro y registro de los actos (JCA, 1978; DRNA, 2008).

Las fuentes dispersas son aquellas con múltiples puntos de origen y descargas diversas difíciles de controlar e identificar. Esta contaminación está directamente enlazada con la acción de la lluvia sobre la superficie de los terrenos. Ejemplo de esta acción son los terrenos urbanizados donde el agua corre por techos, patios, aceras y grama. En áreas industriales y comerciales el agua discurre por lugares impermeables como estacionamientos, carreteras y edificios. En las áreas rurales discurre por pastos de ganado, campos agrícolas y cultivos. El agua de escorrentía atrapa los contaminantes dependiendo por el lugar que discurra. El mayor factor que contribuye adversamente es el ser humano. El problema de este tipo de contaminación es que aumenta al ocurrir periodos de lluvias o tormentas en donde el contaminante en los suelos es arrastrado al cuerpo de agua. Esto empeora la calidad del agua (Fujioka, 2001).

Alteraciones biológicas

Se denominan como alteraciones biológicas a los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoarios y otros organismos que transmiten enfermedades y que utilizan como vehículo el agua. Éstas comúnmente llegan al agua en las heces fecales que producen los animales y excremento de las personas. Este parámetro es muy importante medirlo para saber si el agua está

contaminada o tiene una posible fuente de contaminación. No existe ningún microorganismo que reúna todos los criterios de un indicador ideal, y apenas unos grupos satisfacen algunos de estos requisitos y características (Soto et al., 2006). El grupo de coliformes fecales es uno de los indicadores principales y es el más usado para las aguas potables y el agua que proviene de los ríos (USEPA, 2006; Zamxaka et al., 2004)

En Puerto Rico se utiliza como indicador el grupo de los coliformes. Este grupo se compone de las enterobacterias las cuales son buenas indicadoras de posible contaminación. En el grupo se encuentran *Klebsiella*, *Escherichia*, las enterobacterias y las citobacterias. Se utiliza una muestra representativa para obtener este dato. De ésta tener valores mayores de 10,000 colonias/100 ml de coliformes totales o 200 colonias/100 ml de coliformes fecales, será positiva para esta prueba (JCA, 2003a).

Alteraciones físicas del agua

El agua en condiciones naturales posee características físicas propias como no tener olor ni sabor y ser incolora. Cuando una fuente fija o dispersa de contaminación la afecta, estas características físicas se alteran sustancialmente y actúan a veces como un sistema de alerta que indica el grado de contaminación que presenta.

Color

Las aguas contaminadas pueden tener diversos colores debido a los contaminantes, compuestos orgánicos y los pigmentos verdes de las algas que habitan en el río. Por lo general, no se pueden establecer relaciones entre el color y el tipo de contaminación.

Olor y sabor

El olor y el sabor prácticamente no son indicadores de contaminación; no obstante se pueden tomar en cuenta al momento de analizar un río sin algún tipo de instrumentación

cuantitativa. Un olor fuerte a pudrición en el agua puede indicar exceso de nutrientes y/o materia orgánica en descomposición. Mucha cantidad de minerales en el agua, sea natural o provocada, le da un sabor salobre al agua.

Temperatura

Este factor es importante, está relacionado con el oxígeno disuelto (OD) y los cambios de metabolismo en los organismos que habitan en el ecosistema acuático. El aumento en temperatura disminuye la solubilidad de gases como el oxígeno y aumenta en general las sales. A temperaturas altas aumenta la putrefacción y en lugares de descargas de aguas calientes se afecta el área y los organismos. Los cuerpos de agua en Puerto Rico no deben exceder una temperatura de 90 °F ó 32.2 °C donde no exista una descarga termal.

Sólidos suspendidos

La materia suspendida o disuelta en el agua, partículas como arcillas, limo y otros se consideran sólidos suspendidos. Se trasportan en el agua de dos maneras: por el arrastre del agua o se encuentran en suspensión estable. Los ríos con mucha concentración de sólidos suspendidos pueden ocasionar reacciones desfavorables para el consumidor ya que afectan la cantidad tanto como la calidad del agua. En Puerto Rico, el Reglamento de calidad de agua de la JCA estipula para los ríos 0 mg/l y 10-20 mg/l para la USEPA.

Turbidez

La turbidez se define como la falta de transparencia en el agua debido a la presencia de sólidos disueltos en el agua. Estos aumentan la turbidez. Mientras más sucia se vea el agua, mayor turbidez tendrá. Este parámetro está regulado por ley y la USEPA ha establecido un máximo de 0.03 unidades. En Puerto Rico se utiliza como parámetro establecido por ley la regulación de unos 50 Nefelometría de Turbidez (NTU, pos sus siglas en inglés).

Alteraciones químicas del agua

pH

El pH se mide entre 0 a 14 en solución acuosa, siendo ácidas las soluciones con pH menores de 7 y básicas las mayores de 7. El pH igual a 7 indica la neutralidad de una sustancia. Las aguas naturales pueden tener pH ácidos debido al SO_2 y CO_2 disueltos en la atmósfera, CO_3 de los suelos calizos, porque proviene de los seres vivos o por el ácido sulfúrico procedente de algunos minerales. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO_2 para formar un sistema de carbonato o bicarbonato y ácido carbónico. Las aguas contaminadas con zonas de descargas industriales pueden tener un pH muy ácido. En Puerto Rico, el nivel de pH debe mantenerse entre 6.0 y 9.0, si no ocurre un acontecimiento climático que lo altere.

Oxígeno disuelto

Este parámetro se refiere a la cantidad disuelta de oxígeno que se encuentra en el agua. El oxígeno es esencial para que ocurra la vida. El nivel de oxígeno disuelto (OD) puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua. Si el nivel de oxígeno es bajo se pudiera inferir que hay contaminación por materia orgánica o mala calidad del agua. Por lo general, una contaminación por aguas residuales o materia fecal disminuye el oxígeno disuelto y afecta la reproducción y la vida de los organismos que allí habitan. Los niveles de OD típicamente pueden variar de 0-18 partes por millón (ppm), aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 56 ppm para sostener la diversidad de vida acuática. En Puerto Rico, el nivel de OD debe estar sobre 5.0 mg/l, excepto cuando las causas naturales o antropogénicas ocasionan una disminución en este valor.

Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO se refiere a la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar o descomponer materiales contenidos en el agua. Esta prueba se utiliza para estimar la cantidad de materia orgánica en las aguas usadas. Estos resultados pueden tener un acierto mayor cuando el agua examinada sólo contiene material bacteriano orgánico y no tóxico (Martínez, 2006).

Nitrógeno total

Se refiere a la suma de concentraciones de Nitrógeno, Nitrito y Nitrato. Estos compuestos a pesar de que son necesarios para la vida acuática, en exceso producen la eutrofización y agravan el estado natural del río. Las actividades humanas en ocasiones aceleran que dichos compuestos ganen acceso a los cuerpos de agua a través de las aguas de escorrentías. Entonces se convierte en un nutriente limitante para el crecimiento. Para los ríos en Puerto Rico la medida que se utiliza es la suma de los diversos estados del Nitrógeno. En el caso del Río Piedras se ha reglamentado el Amoniacó en la estación 50049100 del USGS localizada en Hato Rey. El parámetro establecido no debe exceder 1 mg/l aguas arriba del río. Las plantas absorben los derivados del Amoniacó con facilidad y lo eliminan del medio utilizándolos en la fotosíntesis. Esto es importante reglamentarlo ya que interfiere con el transporte de oxígeno.

Fósforo total

El Fósforo también existe naturalmente en los suelos y es indispensable para la vida. Éste se encuentra en aguas naturales y aguas usadas. Sin embargo, un exceso es perjudicial para el ambiente. El Fósforo total incluye diversos compuestos como Ortofosfatos, Polifosfatos y Fósforo orgánico. El Fósforo total está estandarizado. Sus niveles no deberán exceder de 1 ppm en los cuerpos de aguas superficiales.

Conductividad

El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución. Su conductividad es mayor y proporcional a las cantidades y características de esos electrolitos. Es por eso que se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. La temperatura modifica la conductividad en el agua, por lo que los análisis se realizan a una temperatura de 20 °C. Las aguas superficiales con fondos formados con rocas de granito tienden a presentar conductividad más baja porque el granito se compone de materiales más inertes no ionizables por las corrientes de agua. Por otra parte, las aguas superficiales con fondos arcillosos presentan conductividades mayores debido a la presencia de compuestos ionizables (Lie et al., 2001)

Aceite y grasa

Esta categoría incluye un sinnúmero de compuestos orgánicos que son muy amplios en cuanto a la descripción física, química y toxicológica. El aceite y la grasa que entran al ecosistema acuático intervienen con la fotosíntesis y el intercambio de gases. Pueden provenir de derrames, la disposición inadecuada de los mismos y por las aguas de escorrentías que lavan las carreteras y estacionamientos. El flujo vehicular y el posterior lavado por las lluvias es el principal contribuyente. Sin embargo, los aceites de origen vegetal y animal no son compuestos tóxicos para los humanos y el medio ambiente acuático (USEPA, 1986).

Metales pesados

Ochenta y cuatro (84) elementos químicos que son metales. La contaminación en el suelo por éstos es un problema ambiental grande y difícil de regular. Cuando el río recorre suelos con minerales y áreas urbanas es aún más difícil de regular la contaminación (Clevers & Kooistra, 2003). En Puerto Rico, la contaminación por metales pesados ocurre a diario por las descargas industriales y urbanas que afectan los cuerpos de agua. El Reglamento de estándares de calidad del agua en la sección 3.1.9 (a) indica los regulados por ley (Tabla 1). Estos pueden ser alterados o modificados químicamente por las actividades humanas aumentando así el riesgo de su toxicidad. El impacto ambiental de los metales en los recursos suelo y agua son dependientes estrictamente de las reacciones y respuestas a las condiciones fisicoquímicas y biológicas donde se encuentren (Vullo, 2003). Un ejemplo para medir el efecto de los metales en el agua es la bioacumulación en los peces y se presume que al igual que ocurre en los peces se pudiera bioacumular en los humanos.

Antimonio

Es un metal de color blanco plateado que se encuentra en la corteza terrestre. Los minerales se combinan con otros metales para formar aleaciones de Antimonio. El Antimonio es liberado al medio ambiente a través fuentes naturales e industriales. El metal persiste en el aire y luego se deposita en el suelo. Así gana acceso a los cuerpos de agua. La exposición a niveles altos puede producir una variedad de efectos perjudiciales para la salud tales como, irritar los ojos y los pulmones, puede causar trastornos del corazón y pulmones, dolor de estómago, diarrea, vómitos y úlceras estomacales (ATSDR, 2008a).

Arsénico

El Arsénico es un elemento natural en la corteza terrestre. Ocurre en minerales de suelos. Esto puede causar contaminación en aire, agua y suelos. La gran mayoría de los compuestos de Arsénico se diluyen en agua, termina en los sedimentos y los peces pueden acumularlo (ATSDR, 2005b). Un dato importante es que el Arsénico no se degrada en el ambiente. Solamente puede cambiar de forma, adherirse o separarse con otras partículas.

La exposición del Arsénico a los humanos puede ser fatal: a concentraciones bajas provoca náuseas y vómitos y disminución de glóbulos rojos y blancos. La exposición a concentración baja prolongada causa problemas en la piel como enrojecimiento e hinchazón en las manos, los pies y el torso. La USEPA y la Agencia para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) han determinado que el Arsénico inorgánico es carcinógeno en los humanos.

Bario

Se encuentra en la naturaleza sólo como mineral. Al mezclarse con otros elementos forman compuestos químicos que se utilizan en la industria del petróleo, fabricación de pinturas, ladrillos, cerámicas, vidrio y caucho. Cuando está disuelto en el agua, es el de mayor preocupación. Cuando se combina con sulfato o carbonato, que se encuentra en su estado natural en el agua, se vuelve más estable y persisten en el ambiente (ATSDR, 2008c). La exposición a este metal puede causar perturbaciones gastrointestinales y debilidad muscular. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) no ha catalogado el Bario como carcinógeno a pesar de la preocupación cuando se combina.

Berilio

El Berilio está presente en el carbón en las diferentes rocas y en el petróleo. Se utiliza para fabricar componentes eléctricos y electrónicos, moldes de plástico, materiales de construcción, automóviles y computadoras. El Berilio entra al agua, aire y suelo debido a las actividades antropogénicas y naturales. Éste llega al agua porque se encuentra en los suelos., En el agua no se disuelve, por lo que no entra al suelo y no pasa al agua subterránea (ATSRD, 2008d). El Berilio en el agua no representa riesgo para la salud humana ni para los organismos acuáticos. El mismo puede entrar al cuerpo por ingestión o inhalación, pero no por contacto en la piel. Sin embargo, éste está bajo estudios de la USEPA para determinar si el berilio es carcinógeno en los humanos.

Cadmio

Este se encuentra naturalmente en diferentes tipos de terreno y roca. El Cadmio se utiliza para baterías, pigmentos, revestimientos para metales y plásticos (ATSRD, 2008e). Se disuelve en el agua, aunque no se degrada en el medio ambiente. El Cadmio permanece en el organismo por largo tiempo y puede bioacumularse. La exposición a este metal puede causar lesiones en pulmones, puede acumularse en los riñones, producir enfermedades renales y fragilidad en los huesos.

Cromo

Es un elemento natural que se encuentra en el suelo en las rocas, los animales, las plantas, el suelo y gases volcánicos. El Cromo está presente en el medio ambiente en varias formas diferentes. Las formas más comunes son el cromo (0) y se usa para fabricar acero. El Cromo (VI) y el cromo (III) se usan en cromado, para tinturas y pigmentos, curtido de cuero y preservar

madera. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha determinado que el Cromo (VI) es carcinógeno en los seres humanos (ATSRD, 2008f).

Níquel

El Níquel es liberado a la atmósfera por industrias que manufacturan o usan sus aleaciones o compuestos. También es liberado a la atmósfera por plantas que se queman. El Níquel liberado en desagües industriales termina en el suelo o en el sedimento en donde se adhiere fuertemente a partículas que contienen Hierro o Manganeso. El ingerir alimentos contaminados con Níquel y consumir agua contaminada es la exposición más importante para adquirir este metal (ATSDR, 2008g). El efecto adverso más común de la exposición al Níquel en seres humanos son las reacciones alérgicas.

Manganeso

El Manganeso es un metal que se encuentra naturalmente en muchos tipos de rocas. En las industrias se combina con Oxígeno, Azufre o Cloro para producir compuestos orgánicos como los pesticidas Mancoze y Metilciclopentadienil manganeso. Los humanos estamos expuestos a pequeñas cantidades de Manganeso en el aire, el agua y los alimentos. La exposición prolongada en humanos puede provocar perturbaciones mentales y emocionales (ATSRD, 2008h).

Plata

La Plata es una sustancia química que ocurre naturalmente y puede ser liberada al aire y al agua a través de la erosión de rocas. Es usada para fabricar joyas, cubiertos y vajillas, equipo electrónico y empastaduras dentales. También se usa para hacer fotografías, en aleaciones de alta temperatura y soldaduras, para desinfectar agua potable y agua en piscinas y como agente contra bacterias. La exposición a niveles altos de Plata en el aire ha producido problemas

respiratorios, dolores de estómago e irritación de la garganta y el pulmón. En contacto con la piel puede causar reacciones alérgicas leves como salpullido, hinchazón e inflamación (ATSRD, 2008i)

Selenio

El Selenio se encuentra naturalmente en los suelos y rocas. La mayor parte del Selenio se utiliza en la industria electrónica, plástica y vidrio, suplemento nutritivo, en pinturas, esmaltes, tinturas, caucho y pesticidas (ATSDR, 2008j). Estamos expuestos a Selenio en el consumo de agua, suelo contaminado y en los alimentos. La exposiciones a altas concentraciones puede producir náusea, vómitos y diarrea y la exposición más prolongada a cualquiera de estas formas en el aire puede producir irritación de las vías respiratorias.

Talio

El Talio se encuentra muy poco naturalmente y en pequeñas cantidades. Se utiliza principalmente en la fabricación de artículos electrónicos, interruptores y terminales y en la industria de semiconductores. Nos exponemos al Talio al consumir alimentos contaminados, fumando cigarrillos y por suelo contaminada. Aún no hay estudios o resultados de exposiciones en humanos que evidencien problemas a la salud (ATSDR, 2008k).

Estudios de casos

La Junta de Calidad Ambiental y el U.S. Geological Survey llevaron a cabo en conjunto estudios para relacionar escorrentías pluviales urbanas y las condiciones de flujo de aguas usadas con la calidad del agua del río receptor y las bahías y océanos (JCA, 1978). El estudio técnico de las escorrentías urbanas indicó que los primeros impactos de desagüe son los más significativos y

que los impactos mayores sobre la calidad del agua provienen de las cargas de coliformes fecales.

En el año 2002 se estudió la calidad del Río La Plata para correlacionar la contaminación al uso del terreno. Se clasificaron fuentes dispersas de contaminación, se tomaron datos para visualizarlos en el Sistema de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) con el fin de desarrollar mapas que ilustran los focos de contaminación. Luego utilizaron la información recopilada en diez estaciones del USGS sobre la calidad de agua en el Río La Plata. Se localizaron las fuentes dispersas y a través de un análisis espacial se asoció con la calidad del agua y con modelos matemáticos para predecir la magnitud y distancia de la contaminación por fuentes dispersas (Norat, 2002).

Ortiz Florivel (2004) desarrolló una investigación en el Río Puerto Nuevo. En este estudio se identificaron los coliformes fecales en seis puntos de muestreo que carecían de estaciones oficiales por alguna agencia del gobierno estatal o federal. En los puntos estudiados la contaminación para los coliformes fecales resultó como “contaminación severa”, según el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de la JCA. El estudio concluyó que las orillas del Río Piedras están altamente impactadas a causa del desparrame urbano. El proyecto de canalización se encuentra incompleto y por ende se transportan más sedimentos por lo que están más propensos a contaminación por escorrentías pluviales.

Un estudio determinó las concentraciones de sólidos suspendidos totales del Río Piedras y la Quebrada Buena Vista (Cordero, 1988). Los resultados de este estudio se analizaron y luego se compararon con los datos de precipitación y sedimentación total de las estaciones del USGS. Cordero llegó a la conclusión de que el Río Piedras y la quebrada están altamente impactados por los sedimentos. Luego se analizaron los datos para los sedimentos de las estaciones del USGS

para los años 1970 al 1982. En estos años había muchos desarrollos como construcciones de urbanizaciones, condominios y carreteras que se encontraban en proceso. Esta actividad produjo un acarreo grande de sedimentos. En el año 1988, el resultado del parámetro de sedimentos totales disminuyó. Concluyeron que los diversos desarrollos río arriba ya habían cesado, lo cual provocó que disminuyeran los sedimentos en el río favoreciendo al Río Puerto Nuevo y a la Quebrada Buena Vista.

Morales (2006) realizó un estudio sobre la calidad de las aguas en el Río Morovis. En este trabajo se estudió un segmento de este río en el cual se identificaron las posibles fuentes de contaminación y se analizaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Morales encontró que esta cuenca está impactada por la acción antropogénica, material orgánico de granjas y ganado y residencias sin alcantarillado. En las alturas de este río descarga la planta de tratamiento de aguas tratadas de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) Los resultados arrojaron que varios parámetros no cumplieron con el Reglamento de la JCA. Se concluyó que el parámetro de coliformes fecales y totales resultó positivo según los estándares de la JCA. La calidad del agua del Río Morovis está levemente contaminada debido a los aportes de la planta de agua tratadas descargan al río a pesar de que el mismo es utilizado por los residentes del área para la recreación (Morales, 2006).

Marco legal

La protección del recurso agua y la gestión ambiental se rige por reglamentos, leyes y ordenanzas que aplican directamente (Seguinot, 2000). En Puerto Rico existen varias leyes federales y estatales con reglamentos específicos aplicables a los ríos. Este marco de leyes ambientales se remonta desde la Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico

(ELAPR) el cual dispone: “*Será política pública del Estado Libre Asociado la más eficaz conservación de sus recursos naturales, así como el mayor desarrollo y aprovechamiento de los mismos para el beneficio general de la comunidad* (Artículo VI Disposiciones Generales, Sección 19 Recursos Naturales). El gobierno federal adopta leyes sobre el agua las cuales se aplican en Puerto Rico y en todos los estados para tratar de hacer las leyes más uniformes, de modo que el problema sea tratado con igualdad (López, 1999). No obstante, Puerto Rico ha adoptado sus propias leyes teniendo como base las federales. A continuación describiremos las leyes federales, leyes estatales y reglamentos aplicables a este estudio.

Leyes federales

Clean Water Act

La ley de agua Limpia (CWA, por sus siglas en inglés) del año 1977 estipula para que los estados sean responsables de desarrollar, manejar y evaluar la calidad de las aguas. Esta ley tiene cinco elementos esenciales: 1) Establece un programa de permisos; 2) Establece estándares para algunos contaminantes; 3) Fija un estándar para la calidad de las aguas; 4) Provee un fondo para problemas ambientales tóxicos y por derrames; y por último, 5) establece un programa para las plantas de tratamientos de aguas usadas y potables. El propósito de esta ley es en primer lugar, controlar y eliminar contaminantes que puedan ser descargados a las aguas. El CWA determinó ilegal el arrojar contaminantes o algún tipo de sustancias al agua sin la obtención de un permiso previo que lo disponga según el programa. Se resume que los tres estándares que se disponen en esta ley son la planificación, la licencia para descargas y los estándares de calidad del agua. Esta ley es aplicable a Puerto Rico y le adjudicó el cumplimiento a la Junta de Calidad Ambiental.

Safe Drinking Water Act

La ley de Agua Potable (SDWA, por sus siglas en inglés), originalmente conocida como Public Health Service Act, fue enmendada en el año 1974 por el SDWA. Esta ley intenta asegurar los abastos de agua y proteger los acuíferos de cualquier contaminación al agua subterránea de la inyección subterránea. En el año 1986 se enmendó la ley requiriendo a la USEPA regular y controlar 83 tipos de contaminantes. Se estableció el máximo de contaminantes y una lista nacional de regulaciones. En resumen, esta ley es aplicable debido a que regula los contaminantes en el agua potable. En Puerto Rico cualquier río puede ser tomado como abastecimiento de agua potable por lo que los ríos tienen que ser asegurados y protegidos.

Resource Conservation and Recovery Act

Esta ley conocida como RCRA (por sus siglas en inglés) reglamenta y controla los desperdicios peligrosos. Mediante esta ley se regula el origen, el almacenaje, el transporte, el tratamiento y la disposición final de sustancias. Fomenta el manejo apropiado de los desperdicios, municipales, domésticos e industriales (USEPA, 1998). La ley exige que se promulgue la reglamentación en cuanto a tanques soterrados de almacenamiento y que establezca fechas para restringir y prohibir almacenar sustancias peligrosas en el terreno. La USEPA es la encargada de administrar esta ley sin embargo, se ha delegado algunos programas a la JCA como los tanques soterrados y desperdicios no peligrosos. Todos los reglamentos sobre residuos peligrosos de la RCRA se encuentran en el Código de Reglamentos Federales (CFR), Título 40, parte 260 a 279 (USEPA, 2007a).

Leyes estatales

Ley Núm. 416 del 22 de septiembre de 2004, Ley sobre Política Pública Ambiental

Esta ley derogó y sustituyó la Ley Núm. 9 del 18 junio de 1970 conocida como Ley sobre Política Pública Ambiental. El objetivo principal es proteger la calidad del ambiente, mediante el control de la contaminación del aire, las aguas, los suelos y la contaminación por ruidos. Así como el utilizar los medios y prácticas para crear y mantener condiciones en las que el humano y la naturaleza puedan vivir en armonía y cumplir con las necesidades sociales y económicas. Los principales objetivos de esta ley son: efectuar cambios a la estructura organizacional actual de la Junta de Calidad Ambiental; crear un banco de datos ambientales digitalizados y conceder autoridad para la evaluación de acciones y programas gubernamentales sobre el ambiente y su desarrollo sostenible.

Ley Núm. 49 del 4 de enero de 2003, Ley para establecer política pública sobre la prevención de inundaciones y conservación de ríos y quebradas

Esta ley declara política pública del ELA el preservar los ríos y quebradas como ecosistemas que proveen múltiples beneficios. Se establece que el deber del DRNA es la vigilancia, conservación y limpieza de las playas y ríos, así como de aquellos materiales exógenos al cuerpo de agua que no son productos geológicos y que pueden obstruir el flujo de las aguas. Se establece que para cuerpos privados el DRNA no se responsabiliza. Sin embargo, el DRNA podría llevar a cabo procesos de limpieza, conservación en terrenos privados de acuerdo a un trabajo sufragado por la asamblea legislativa o por los municipios. En su artículo 2 la Ley dispone que a cualquier cuerpo de agua se declarará uso público y se dispondrá un ancho mínimo de 5 metros en ambos lados del cauce.

Reglamento de Estándares de Calidad del Agua de Puerto Rico del 28 marzo del 2003

Este reglamento estatal aplica a esta investigación a través del Reglamento de Estándares de Calidad del Agua de Puerto Rico de la Junta de Calidad Ambiental. El reglamento Núm. 6616 derogó el Núm. 4282 radicado el 28 marzo del 2003. Su objetivo primordial es preservar, conservar y mejorar la calidad de las aguas de Puerto Rico de manera que sean compatibles con las necesidades sociales y económicas del ELA. Los propósitos de este reglamento son: designar los usos para los cuerpos de agua de Puerto Rico, prescribir los estándares de calidad del agua con el fin identificar otras reglas y reglamentos aplicables a fuentes de contaminación que puedan afectar dicha calidad bajo este reglamento y tomar medidas de acción necesarias para implantar y conservar la calidad del agua.

Reglamento Núm. 13 de la Junta de Planificación del 5 de septiembre de 2002, Reglamento sobre Zonas Susceptibles a Inundaciones

Este reglamento establece medidas de seguridad para edificaciones y desarrollos en terrenos de área declarada susceptibles a inundaciones. El propósito primordial es restringir o prohibir desarrollos que sean peligrosos a la salud. Además de proveer la seguridad a la propiedad cuando éstos propician el aumento en los niveles de inundación o velocidad de las aguas que resulte en erosión. Requiere que el desarrollo sea vulnerable a inundaciones. Otro propósito es evitar o controlar la alteración de los valles inundables naturales, cursos de agua, barreras protectoras naturales que acomodan o canalizan aguas inundables y áreas de marejada.

Reglamento para el aprovechamiento, vigilancia, conservación y administración de las aguas territoriales, terrenos sumergidos bajo éstas y la zona marítima terrestre Núm. 5207 del 16 de marzo de 1995

Este es el reglamento que enmienda el Reglamento Núm. 4860. El reglamento está adjudicado al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico y se creó para ayudar a remediar los problemas costaneros en Puerto Rico. En el año 1978, con la aprobación del gobernador y por medio de la Junta de Planificación, se adoptó el Plan de Manejo de la Zona Costanera y se le adjudicó a DRNA. Este reglamento declara que la zona marítima terrestre es un bien público. En su artículo declara “*Son del dominio nacional y uso público sin perjuicio de los derechos que corresponden a los particulares*”. Este reglamento tiene por objetivo establecer criterios y mecanismos para la delimitación, vigilancia, conservación y saneamiento de la zona marítima terrestre y las aguas territoriales en las cuales se sobreentiende que todos los ríos entran en esta clasificación. También establece criterios y mecanismos para otorgar permisos de uso y aprovechamiento de esta área.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

El estudio contempló medidas cuantitativas y cualitativas para identificar y determinar el impacto de contaminación en un segmento del Río Piedras. Evaluamos un segmento de este río el cual discurre adyacente a los terrenos de la Universidad Metropolitana ubicada en Cupey. Evaluamos parámetros físicos, químicos y biológicos para determinar y analizar si el cuerpo de agua es afectado por una o varias fuentes de contaminación y cuáles podrían ser esas fuentes. Identificamos la ubicación de estructuras e instalaciones adyacentes al Río Piedras. Luego de recolectar esta información, evaluamos el posible impacto y sus consecuencias sobre este segmento.

Área de estudio

Evaluamos un segmento del Río Piedras, parte del cual discurre por los terrenos cercanos a la Universidad Metropolitana ubicada en Cupey. Seleccionamos un segmento de 0.64 km que discurre por debajo del puente de la carretera 176 al lado de los almacenes de Sears. El Río Piedras se encuentra con la quebrada Guaracanal, un tributario importante que pasa por un área aledaña a urbanizaciones, edificaciones comerciales, gasolineras y estacionamientos. El segmento bordea el estacionamiento de la UMET por el Oeste y el Jardín Botánico de la UPR por el Este (Figura 1). En este segmento del río pasa por variaciones en su flujo, comienza rápido, cambia a pasivo en un remanso y luego lento debido a la antigua represa del Río Piedras situada en el lugar. Pasada la represa, aumenta la velocidad de sus aguas.

Objetivo 1: Analizar parámetros de calidad del agua en un segmento del Río Piedras colindante a la UMET

En el segmento del Río Piedras seleccionado para el estudio no hay estaciones de monitoreo de ninguna agencia estatal ni federal o privada. Analizamos muestras de agua en dos de los puntos de muestreo localizados en el río para estudiar las posibles fuentes de contaminación. Previamente los observamos en la foto aérea. Recolectamos muestras en tres puntos denominados: 1) estacionamiento de la UMET (EU) después de la zona comercial, 2) la descarga al final del canal de desagüe del estacionamiento (DE) y 3) Canal 40 de televisión (CTV) después de la descarga DE.

El estudio se llevó a cabo en el mes de febrero de 2008. Recolectamos muestras en dos eventos diferentes: uno seco, el cual es la medida base del flujo mínimo, y otro en un evento de lluvia para así aumentar las probabilidades de obtener un lavado de los posibles contaminantes de la escorrentía pluvial urbana.

Diseño metodológico

Desarrollamos el muestreo durante dos eventos climatológicos: un evento de lluvia y otro evento seco. Analizamos los parámetros DOQ, Conductividad, DO, SST, metales y coliformes fecales y totales para ambos eventos. Realizamos muestras triplicadas para cada parámetro a ser analizado. Esto se realizó con el fin de obtener un análisis más certero de las muestras tomadas y para cálculos estadísticos. En la Tabla 2 aparece la metodología de obtención de las muestras por el método manual de recolección y preservación según lo establecido por USEPA.

Evento seco

Para el evento seco, tomamos muestras de agua en dos de los tres puntos o estaciones de muestreo. Las muestras fueron recogidas en puntos antes (el área del río que pasa por detrás de

los almacenes de Sears donde comienza el estacionamiento de la UMET –EU) y después (el área detrás de los anexos de salones de clases frente al canal 40 –CTV) de la fuente de contaminación potencial (punto de muestreo Desagüe Estacionamiento -DE). Este punto de muestreo DE capta las aguas que incluye el estacionamiento de la UMET y la zona comercial e industrial aledaña (Figura 3).

Recolectamos muestras de ambas estaciones en la mañana. El equipo para muestreo fue facilitado por el Laboratorio Central de la AAA en Caguas. El día del muestreo llevamos neveras con hielo para preservar las muestras a 4 °C. Llenamos una Cadena de Custodia procedente del Laboratorio de la AAA (Apéndice 1). Anotamos las condiciones del lugar incluyendo una breve descripción, condiciones climáticas, coordenadas de los puntos de muestreo por GPS 315 Magellan.

Evento lluvia

Tomamos muestras el día de lluvia para obtener resultados con una mayor probabilidad de contaminación por escorrentía pluvial al río tanto del estacionamiento como por descargas de tuberías de desagüe. Recolectamos muestras en las tres estaciones: EU, CTV y DE (Figura 4). La DE es el canal de desagüe que discurre por todo el estacionamiento de la UMET, capta sus aguas y luego las descarga al Río Piedras (Figura 5). En este evento evaluamos los mismos parámetros que para el evento seco.

Los análisis del muestreo en ambos eventos (i.e., seco y lluvioso) fueron evaluados por el Laboratorio Central de la AAA. En el campo obtuvimos los parámetros de temperatura, color, conductividad y oxígeno disuelto. Luego el Laboratorio de la AAA analizó el pH, los sólidos disueltos totales, la demanda bioquímica oxígeno, fósforo total, nitrógeno total, amoníaco, grasas

y aceites, metales y coliformes totales. Recolectamos, preservamos y analizamos cada parámetro como indicamos a continuación:

Temperatura: Utilizamos un medidor portátil modelo YSI 30 para medir este parámetro.

Conductividad: Evaluamos en el campo con el medidor portátil YSI modelo 30.

Oxígeno Disuelto: Utilizamos un multímetro modelo YSI-55 para tomar la lectura en el lugar de muestreo.

pH: Utilizamos un metro modelo ORIÓN 230 para realizar la lectura en el área de muestreo.

Sólidos Suspendidos Totales: Recolectamos las muestras en botellas plásticas de 1L y las preservamos a una temperatura 4 °C. Éstas fueron analizadas mediante el método SM2540D.

Demanda Química de Oxígeno: Recolectamos las muestras en botellas plásticas de 1L, almacenadas a una temperatura de 4 °C, y utilizamos el método HACH8000 y H₂SO₄ como preservativo.

Fósforo total: Recolectamos las muestras en botellas plásticas de 1L, les preservamos a 4 °C con H₂SO₄ y utilizamos el método de la USEPA 365.4 con el equipo BECKMAN DU 640.

Nitrito + Nitrato: Se tomaron las muestras en una botella plástica de 1L, se preservaron a una temperatura 4 °C con H₂SO₄ y las analizamos en el laboratorio según el método USEPA 365.2.

Los análisis bacteriológicos de coliformes totales y coliformes fecales fueron recolectados en botellas plásticas de 130 ml y analizados mediante el método USEPA SM92221.

Grasas y aceites: Recolectamos las muestras en botellas de cristal ámbar de 1L, y preservamos con ácido clorhídrico (HCl) para conservarlas a una temperatura de 4 °C. Luego las llevamos al laboratorio y utilizamos el método USEPA 1664 REV. A. para su análisis.

Metales para agua potables y de escorrentías: Recolectamos la muestra en botellas de plástico de 1L. Preservamos a 4 °C y con HNO₃. Se utilizó el equipo de espectrometría de masa con fuente

de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS, por sus siglas en inglés). Analizamos los siguientes metales: Berilio, Cromo, Manganeso, Níquel, Arsénico, Selenio, Plata, Cadmio, Antimonio, Bario y Talio.

Evaluamos una mayor cantidad de parámetros para que nos permitiera evidenciar la posibilidad de contaminación con fuentes dispersas o puntuales (USEPA, 2007b). Con los resultados obtenidos de cada parámetro ampliamos el marco de referencia aún más para poder determinar si el segmento del Río Piedras está impactado por algún contaminante. Los resultados obtenidos fueron comparados según el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico de la JCA o por el “Drinking National Priority List” de la USEPA (Tabla 3) para ver si están en violación.

Objetivo 2: Identificar fuentes de contaminación potenciales que impactan el segmento del río para correlacionar con los resultados de calidad de agua obtenidos

A base de los resultados obtenidos, procedimos a recorrer el segmento del río bajo este estudio para identificar posibles fuentes de contaminación puntual o dispersa. Utilizamos fotos aéreas y mapas geológicos para identificar estructuras construidas, estacionamientos, desparrame urbano e industrias localizadas en el cauce o en las cercanías del río.

Objetivo 3: Identificar y recomendar acciones correctivas para que la UMET pueda contribuir a la calidad del agua del Río Piedras

Consultamos con expertos en el área para que hicieran recomendaciones de acciones correctivas referente a los resultados analizados. Buscamos información de estudios en áreas similares a la estudiada para comparar y tomar medidas necesarias. Utilizamos la revisión de literatura y tomamos como base las estrategias recomendadas en el Plan de manejo para la calidad del agua en Puerto Rico (JCA, 1978).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Introducción

La recopilación y la evaluación de los datos la presentamos en la Tabla 4 y las Figuras 6, 7, 8, 9,10 y 11. El análisis biológico, físico y químico de las muestras de agua arrojaron valores que determinaron el cumplimiento o no del cuerpo de agua con relación a los estándares de calidad de aguas superficiales. Estos valores fueron discutidos para cada parámetro en las diferentes estaciones de muestreo. Seleccionamos las estaciones de muestreo ante la posibilidad de la existencia de fuentes de contaminación. Consideramos tomar muestras en dos eventos, seco y de lluvia, para comparar diferencias en la posible aportación de contaminantes. Utilizamos mapas y fotos aéreas para identificar las posibles fuentes de contaminación natural y antropogénicas. En el día de lluvia evaluamos el desagüe que discurre por el estacionamiento de la UMET para cumplir con el tercer objetivo. A estos efectos recomendamos a la administración de la UMET acciones correctivas que contribuyan a mejorar la calidad del Río Piedras. A continuación discutiremos los resultados por parámetros para cada estación y haremos referencia a las posibles fuentes de contaminación.

Resultados del Objetivo 1:

Analizar parámetros de calidad del agua en un segmento del Río Piedras colindante a la UMET

Parámetros Físicos

pH (6-9 SU JCA). Los valores de pH para las tres estaciones de muestreo EU, DE y CTV, en seco y lluvia, respectivamente, fueron 7.89, 7.84; 0, 7.79; 7.66, 7.69, los cuales cumplieron con los estándares del Reglamento de Calidad de Agua de la JCA en tiempo de lluvia y seco (Figura 12). Con respecto al pH concluimos que éste se mantiene dentro de los valores establecidos. Esto es saludable para la vida de organismos y para consumo humano y no demuestra contaminación.

Temperatura (32.2°C). En las estaciones de muestreo, la temperatura del agua fluctuó de una mínima de 24.3°C a una máxima de 25.4°C (Figura 13). Esta pequeña diferencia ocurrió porque no hubo diferencia significativa entre el tiempo seco y el lluvioso. La diferencia entre la T mín y la T máx. es una diferencia significativa ($p=0.05$, Apéndice 3). Atribuimos la diferencia a la luz del sol y la temperatura exterior.

Conductividad ($\leq 1275 \mu\text{mhos/cm}$). Todas las estaciones cumplieron con este parámetro (Figura 14). Hubo una variación en la estación CTV en tiempo de lluvia y seco, 396.33 y 436.66, respectivamente. La conductividad está relacionada a las formaciones geológicas del lugar. Este tiene la formación Tr. Esta formación está compuesta por capas finas y láminas de roca de cieno, arcilla y calcárea que incluyen fragmentos de cristales volcánicos (Figura 15). En la conductividad se miden las sales disueltas en el agua que propagan la electricidad. La conductividad en los ríos y arroyos es afectada sobre todo por la geología del área en la cual el agua fluye.

Oxígeno disuelto (>5.0 mg/l JCA). Las tres estaciones cumplieron con el valor mínimo establecido tanto para tiempo seco como para lluvioso (Figura 16). En las estaciones EU y CTV no hubo variación significativa entre ambas. Este resultado se puede atribuir a las algas fotosintéticas que oxigenan el agua. En la estación DE, la cual es un desagüe temporal, el valor fue el más bajo de las tres estaciones. Esto indica que la calidad del agua es menor, ya sea por contaminación o porque es un desagüe temporal y el agua discurre lentamente lo cual disminuye el oxígeno disuelto, pues en los segmentos más lentos sin rápidos o pendiente el agua se oxigena en menor grado.

Demanda química de oxígeno (DQO). En la estación EU observamos que en tiempo seco el agua del río tiene una mayor demanda química de oxígeno (7.56 mg/l) que en tiempo lluvioso (Figura 17). Esperábamos que ocurriera lo contrario. La materia orgánica proviene de los desagües de la carretera 176, desagües pluviales y el lado Este del río que lo bordea el Jardín Botánico. Éste acarrea material orgánico de las plantas y animales en estado natural. En la estación CTV en tiempo de lluvia el DQO resultó más alto que en seco. Esto posiblemente se debe a que cuando ocurrió el evento de lluvia la escorrentía arrastró más materia orgánica recibiendo el impacto de la estación DE. En la estación DE, el agua de escorrentía arrastra cierta concentración de materia orgánica aportando al río. Esta materia orgánica posiblemente proviene del estacionamiento, animales, árboles y contaminación antropogénicas.

Sólidos suspendidos totales (SST 0 mg/l JCA - 10-20 mg/l USEPA). Los valores para las tres estaciones de muestreo EU, DE y CTV, en seco y lluvia, respectivamente, fueron 6.8, 31; 0, 19; 5.2, 5.6 (Figura 18). En el periodo seco la estación EU y CTV resultó en violación con el reglamento de la JCA, sin embargo cumplió con lo establecido por la USEPA. El río cuenta con cantidades naturales de sólidos suspendidos. Durante el evento de lluvia las tres estaciones

violaron el parámetro de la JCA y sólo la estación EU y DE violaron los parámetros de la USEPA. La estación EU se encuentra a 250 metros después del puente de la carretera 176 y 50 metros antes de la descarga de la quebrada Guaralcanal. Justo al lado de la estación de muestreo EU se encuentra un desagüe pluvial. Esto pone en evidencia que al ocurrir un evento de lluvia son muchos los factores que aportan sólidos al río. En la estación CTV el resultado fue de un leve aumento de 5.2 mg/l en evento seco a 5.6 mg/l en el evento de lluvia. Esta aportación de sólidos posiblemente se deba a las escorrentías pluviales de la carretera San Isidro aledaña a esta estación CTV, las cuales erosionan el terreno por una cuneta que proviene de la carretera. La estación DE arrojó el resultado más crítico 19 mg/l ya que demuestra cómo en un evento de lluvia aumenta la cantidad de sólidos suspendidos en agua. Esta estación transcurre por el estacionamiento de la UMET que actualmente se encuentra con algunas áreas expuestas sin pavimento y algunas aéreas con asfalto.

Parámetros bacteriológicos

Coliformes fecales (200 colonias/100 ml JCA/USEPA). Para este indicador sólo obtuvimos los resultados (Figura 19) para la estación EU en el evento seco (5566 mg/l) y la estación CTV para el evento lluvia (5606 mg/l). El laboratorio reportó que se dañaron muestras porque excedieron el tiempo de retención establecido de siete (7) días para coliformes debido al gran volumen de análisis de muestras internas de la AAA. Sin embargo, se puede observar cómo se violó el parámetro establecido tanto para el evento seco como para el de lluvia. Se observó, aunque en estaciones diferentes, un aumento en la concentración de coliformes fecales en eventos de lluvia. Este tipo de contaminación se encuentra en ambos eventos lo cual nos indica que el río acarrea una concentración que aumenta por la escorrentía pluvial. Esta contaminación proviene desde

comienzos del río en donde la población no cuenta con sistema de alcantarillado sanitario y disponen de sus heces fecales en sistemas de pozos sépticos o directamente al río. Durante eventos de lluvia aumenta la escorrentía y la contaminación dispersa por el lavado de las carreteras y sistemas sépticos.

Coliformes totales ($\leq 10,000/100$ ml JCA/USEPA). Para este parámetro el laboratorio nos indicó también sobre las muestras dañadas que para coliformes fecales (Figura 20). En las estaciones EU y CTV se evidencia la presencia de concentraciones de materia fecal aportada al río. Este problema proviene de aguas arriba desde su nacimiento. Como mencionamos anteriormente, los residentes descargan sus heces fecales en pozos sépticos que por medio de las escorrentías son transportadas al río. Estas viviendas rurales no tienen un sistema sanitario de recogido de aguas usadas ni plantas de tratamiento de la AAA lo cual es un factor crítico. El problema se acrecienta debido al desarrollo cada vez mayor del desparrame urbano en los terrenos de la cuenca hidrográfica del río.

Parámetros químicos

Fósforo total (1 mg/l JCA) Durante los eventos de lluvia y seco, ninguna de las estaciones violó el límite aceptado por JCA de un máximo 1mg/l (Figura 21). En la estación EU en el evento seco (0.3 mg/l) el fósforo total resultó mayor que en el evento de lluvia (0.12 mg/l) debido a que el flujo es más lento y el fósforo se acumula. Debido a la lluvia el río comenzó a transportar los posibles contaminantes aguas abajo. En la estación CTV el río es más caudaloso. Observamos un aumento de 0.17 mg/l producido probablemente por las escorrentías de las carreteras. En la estación DE el valor (0.13 mg/l) fue bajo. Este desagüe discurre por un área verde y de jardines de la UMET. Desconocemos el uso de abono, o si existe aplicación controlada. La mayor

aportación de fósforo se debe al abono utilizado en aéreas rurales, ganadería y jardín. El segmento Este que discurre por el Jardín Botánico y el Oeste por el área urbana al parecer no hay aumento de este contaminante.

Nitrito+nitrato (1-10 mg/l JCA y USEPA). Obtuvimos los resultados para las estaciones EU y CTV sólo para evento seco. Las muestras para evento de lluvia se tomaron pero fueron descartadas por errores técnicos. En estas estaciones no se violó el parámetro establecido por el reglamento de la JCA y lo establecido por la USEPA (Figura 22). Los fertilizantes pueden provenir de los jardines de negocios y residencias a lo largo de la cuenca hidrográfica del río. A comienzos del río hay posibilidades de que los pozos sépticos utilizados por los habitantes sean la mayor fuente de este contaminante.

Aceite y grasa (0.01 mg/l JCA). En todas las estaciones el resultado fue positivo violando el reglamento establecido por la JCA y por la USEPA (Figura 23). El valor en la estación EU en evento de lluvia (7.1 mg/l) resultó mayor que en evento seco (1.4 mg/l). El aumento se podría atribuir al tubo de desagüe al lado de la estación de muestreo y a las cunetas de la carretera 176 debido a las gasolineras y talleres de mecánica para camiones y autos cercanos.

En la estación DE, río arriba, el valor 3.7 mg/l) excedió el estándar establecido. Este resultado posiblemente involucra directamente al estacionamiento de la UMET. La contaminación aparentemente proviene de los automóviles con posibles escapes en el motor y sustancias de productos para frenos.

En la estación CTV, río abajo, el valor para el evento seco (2.1 mg/l) fue mayor que para el evento de lluvia (1.5 mg/l). Esto puede ser posible debido al mayor flujo y rapidez del río pues en esta estación CTV el flujo es mayor que en la estación EU.

Metales

Antimonio (14.0 $\mu\text{g/l}$ JCA – 6 $\mu\text{g/l}$ USEPA) Todas las estaciones cumplieron con el límite establecido (Figura 24). Los valores en las estaciones EU y CTV, 0.41 y 0.41 $\mu\text{g/l}$, respectivamente, en evento seco estuvieron por debajo del límite detectado (MDL, por sus siglas en inglés) del instrumento. En el evento de lluvia la estación DE resultó (0.41 $\mu\text{g/l}$) por debajo del MDL; en evento de lluvia observamos un aumento en concentraciones en la estación EU y CTV. No encontramos diferencia significativa ($p = 0.374$) (ANOVA Apéndice 2). Probablemente la concentración del contaminante se debió a las formaciones geológicas (Figura 8). El río discurre por la formación geología Tr y Qa compuestas por capas de sedimentos, arena y arcilla ricas en minerales.

Arsénico (0.18 $\mu\text{g/l}$ JCA, 0 $\mu\text{g/l}$ USEPA). En las estaciones EU, DE y CTV, en ambos eventos de lluvia y seco (1.33, 4.43; 0, 1.63; 1.23, 2.63 $\mu\text{g/l}$, respectivamente) no se violó el parámetro establecido por la JCA. No obstante la USEPA enmendó el nivel mínimo permitido en el 2006 a 0 $\mu\text{g/l}$. Si utilizamos el parámetro más actualizado, entonces todas las estaciones en ambos eventos violan el parámetro establecido por la USEPA (Figura 25). En evento seco, en todas las estaciones se mantuvo los valores de 1.23 $\mu\text{g/l}$ a 1.33 $\mu\text{g/l}$ que son relativamente bajos. Posiblemente esto se debe a la composición de los suelos en el lecho del río y la ladera. En el evento de lluvia, en todas las estaciones violaron el parámetro de la USEPA. Aumentó considerablemente con las mismas estaciones para evento seco. Mediante prueba estadística de ANOVA se demuestra la diferencia significativa ($p = 0.007$) de los resultados entre seco y lluvia (Apéndice 3). El arsénico en tiempo de lluvia posiblemente se transporta al río por escorrentías de aguas luego de pasar por vertederos clandestinos de equipos electrónicos que se visualizaron al visitar el segmento bajo estudio. También pudo haber entrado por material químico utilizado

para la jardinería como plaguicida, herbicidas o fertilizantes procedentes del Jardín Botánico, uso residencial en urbanizaciones aledañas y de los jardines de la UMET.

Bario (200 $\mu\text{g/l}$ USEPA). Los resultados (Figura 26) para las tres estaciones en ambos eventos seco y lluvia (85.4, 81.3; 0, 104.3; 85.33, 99.76, respectivamente) cumplieron con el límite establecido por la ley. La estación DE arrojó el resultado (104.3 $\mu\text{g/l}$) más alto posiblemente debido a que el Bario se encuentra en los depósitos sedimentarios por lo cual al ser un canal intermitente se acumula. Cuando llueve se descargan estas cantidades hacia el Río Piedras. Otra forma de introducirlo al agua es de las descargas de refinерías y perforaciones en el suelo. Tal situación no ocurre en el estacionamiento de la UMET.

Berilio (0 JCA- 4 $\mu\text{g/l}$ USEPA). En la estación EU durante el evento seco como de lluvia resultó en el MDL de 0.026 $\mu\text{g/l}$. El Berilio llega al ambiente por la combustión de carbón. Al parecer no hay posible contribuyente para este contaminante por escorrentía pluvial al río. En la estación CTV en tiempo seco el resultado fue el MDL. Sin embargo, en evento de lluvia resultó 0.084 $\mu\text{g/l}$ (Figura 27). Esto señala que comúnmente en un evento de lluvia aumenta la cantidad de cualquier contaminante.

Cadmio (5 $\mu\text{g/l}$ USEPA) El MDL para el cadmio es de 0.31 $\mu\text{g/l}$. En todas las estaciones, tanto para evento seco como de lluvia resultó en el MDL (Figura 28). El Cadmio es muy difícil de encontrar en suelos, y usualmente se encuentra con Zinc, en fábricas que producen fertilizantes o minerales de fosfato y con la quema de carbón. En la cuenca hidrográfrica del Río Piedras no hay ningún tipo de industrias con estas actividades.

Cromo (100 $\mu\text{g/l}$ USEPA). No se violó el parámetro establecido por la USEPA (Figura 29). La JCA en su reglamento no establece límites para el cromo. El MLD para cromo es de 1.4 $\mu\text{g/l}$. Esto es importante debido a que en la estación EU en seco resultó en este límite y en evento de

lluvia aumentó un 30%. En la estación DE, el resultado fue en el MDL, con muchas posibilidades de que no haya contaminación por este metal en el área. Para la estación CTV en evento seco resultó en MDL. Sin embargo, durante el evento de lluvia aumentó en un 300%. No hay diferencia significativa ($p = 0.227$) entre los eventos de seco y lluvia (ANOVA Apéndice 4).

Níquel ($100 \mu\text{g/l}$ USEPA). Todas las estaciones cumplieron con el parámetro establecido por la USEPA. JCA no establece parámetro en su reglamento. En la gráfica observamos un aumento en las concentraciones durante un evento de lluvia (Figura 30). En las estaciones EU y CTV los niveles aumentaron en evento de lluvia. El posible causante pueden ser las escorrentías de la formación geológica Qt al Este del río en el Jardín Botánico. Esta contiene pedazos de roca volcánica en donde el níquel suele encontrarse. También los desagües de la carretera 176 y la calle Isidro Colón aportan el contaminante de níquel por los automóviles que transitan en estas carreteras. En la estación CTV también hay aportación por el estacionamiento Norte de la UMET. En la estación DE, el resultado fue lo esperado. Esto se debió posiblemente a que las escorrentías del desagüe UMET acarrear pequeñas cantidades de níquel que provienen de los automóviles. Este metal en aleaciones se encuentra en piezas de autos como cigüeñales, engranajes, llaves y aros se utiliza este metal.

Manganeso ($50 \mu\text{g/l}$ JCA y USEPA). Los valores para el límite establecido por la USEPA y la JCA fueron sobrepasados en ambos eventos (Figura 31). En la estación EU la aportación $166.66 \mu\text{g/l}$ fue mayor en el evento de lluvia. Posiblemente por las escorrentías y desagües de las carreteras por el tráfico durante las horas pico de la mañana y tarde. También el estacionamiento de Sears, los centros comerciales e industriales y sus estacionamientos aportan. En la estación DE el resultado fue el más alto $147.66 \mu\text{g/l}$ posiblemente por el impacto causado por el estacionamiento concurrido de la UMET desde las 6:00 AM a 10:00 PM en promedio. Los

automóviles aportan este contaminante por escapes, problemas de filtración, mala combustión, escape de gas, aditivo en la gasolina y pinturas. El terreno aledaño al canal de desagüe de la Umet se encuentra actualmente en arena, piedra y varias áreas de asfalto. Posiblemente está contribuyendo a este problema. En la estación CTV en evento de lluvia fue 366.13 $\mu\text{g/l}$, el mayor; posiblemente se deba a las escorrentías de los desagües de la carretera paralela y las aguas del estacionamiento de la UMET por escorrentía pluvial.

Plata (100 $\mu\text{g/l}$ USEPA). En las estaciones EU, DE y CTV durante el evento seco los resultados fueron por debajo del MDL 0.047 $\mu\text{g/l}$ (Figura 32). Durante el evento de lluvia observamos un aumento de 0.11; 0.09; 0.06 $\mu\text{g/l}$ respectivamente. Sin embargo cumple con el reglamento de la USEPA y la JCA no establece un nivel límite para Plata. El mineral Plata entra al agua a través de procesos naturales y se encuentra en sedimentos con materia orgánica. En los procesos antropogénicos no hay posibles fuentes causantes de contaminación.

Selenio (5.0 $\mu\text{g/l}$ JCA y USEPA). En este contaminante todas las estaciones en ambos eventos cumplieron con lo establecido por la JCA y la USEPA (Figura 33). En la estación EU durante el evento de lluvia el valor fue mayor (0.72 $\mu\text{g/l}$, respectivamente). El selenio se encuentra en sedimentos y depósitos naturales de la formación geológica (Tr) que contiene depósitos de tierra, arcilla y arena. El selenio se acumula en este suelo siendo transportado por escorrentías al agua. La estación CTV durante evento seco resultó mayor que el evento de lluvia. No hay diferencia significativa ($p = 0.426$; ANOVA Apéndice 2).

Talio (2 $\mu\text{g/l}$ USEPA). En todas las estaciones EU, DE y CTV los resultados fueron por debajo del MDL de 0.12 $\mu\text{g/l}$ (Figura 34). El mineral Talio es utilizado en la fabricación de dispositivos electrónicos e interruptores. Utilizamos mapas y fotos aéreas para evidenciar que la cuenca hidrográfica del Río Piedras no tiene ninguna de este tipo de industrias.

Resultados del Objetivo 2:

Identificar fuentes posibles de contaminación.

Utilizando fotos aéreas se pudo delinear las áreas de posibles fuentes de contaminación dispersa que pueden afectar el área bajo estudio. Se delimitaron en los siguientes colores: el color azul demarca las zonas urbanizadas que se encuentran río arriba de nuestro segmento de estudio: las urbanizaciones El Paraíso y San Gerardo; el color verde delimitó la zona del estacionamiento y edificios de la UMET; y el color amarillo las áreas comerciales como talleres de mecánica, restaurantes, tiendas, estaciones de gasolina. Observamos que en esta área la mayor concentración de la actividad comercial se encuentra aledaña a la Quebrada Guaracanal la cual desagua en el segmento de estudio (Figura 35).

Para el segmento del río evaluado, la aportación de material contaminante al río proviene del estacionamiento de la UMET. Esta aportación fue medida cuantitativamente en la estación DE.

Documentamos que en el área del estacionamiento se encontraba aledaña a la estación EU un área de seis (6) contenedores de desperdicios sólidos. Se recomienda la reubicación de los mismos para que la precipitación pluvial que pasa por los desperdicios no llegue este lixiviado al Río Piedras.

En la estación DE se encuentra la contaminación directa del estacionamiento y sus dos canales de desagüe. En la estación CTV, la carretera San Isidro se encuentra aledaña al segmento del río, por lo que las aguas de escorrentías llegan al río por medio de un desprendimiento ubicado en la carretera. Se recomienda la reconstrucción de una alcantarilla adecuada para evitar que continúe la erosión y el desprendimiento de terreno. También se puede utilizar un drenaje francés. Al lado de esta estación se encuentra un área de lavado de

automóviles el cual habrá que estudiar para determinar los tipos de detergentes y sustancias químicas utilizadas que pudieran llegar al río por las escorrentías pluviales.

Resultados del Objetivo 3:

Identificar y recomendar prácticas de mitigación y para mejor manejo de zonas desarrolladas.

Por medio de la revisión del Plan de manejo para la calidad del agua en Puerto Rico (JCA, 1978) y la comunicación personal con un especialista ambiental que estuvo a cargo de la preparación de parte del capítulo sobre fuentes dispersas (García-Moll, 1978) se encontró el uso de las mejores prácticas de manejo. El enfoque principal se basa en la prevención y control de material contaminante que puede llegar a los cuerpos de agua. Las técnicas planteadas y utilizadas en Puerto Rico se pueden agrupar en cuatro (4) categorías: 1) buena planificación, 2) protección de la superficie expuesta del terreno, 3) manejo y disposición adecuada de la escorrentía y 4) Evitar que los sedimentos salgan del área impactada al cuerpo de agua (JCA, 1978). De manera general existen dos tipos de prácticas para el mejor manejo: las no-estructurales y las estructurales. Las estructurales son aquellas que requieren estructuras e inversión de dinero, por ejemplo, charcas de retención, charcas de filtración, pavimentación porosa y trincheras de percolación. Ejemplos de estas se pueden observar en el estacionamiento de Costco, Inc., PR 177 en Bayamón en donde se utiliza una charca de retención para amortiguar la velocidad de las escorrentías al río Bayamón. Otro ejemplo de charca de retención se observa en las tiendas de descuento en Canóvanas. Otros tipos de prácticas de mejor manejo utilizadas son las no-estructurales. Estas requieren inversión mínima de dinero y no conlleva estructuras.

Ejemplos de éstas son: un plan de manejo adecuado al uso del terreno; plan de reforestación y una zona de amortiguamiento formando en conjunto una barrena natural; plan de mantenimiento y limpieza preventiva; y la educación y participación de ciudadana aledaña al cuerpo de agua. Estas prácticas no-estructurales son las que se recomiendan y las de mejor implantación debido a la inversión mínima y al espacio limitado del estacionamiento necesario para la actividad humana.

Hay que realizar un plan de manejo para esta zona por la Escuela de Asuntos Ambientales dirigido al mejoramiento del Río Piedras. Un plan de manejo es la principal estrategia para su mejor manejo. Con ella se puede crear diseños de controles, planos futuros, una zona desarrollada que impacte mínimamente al cuerpo de agua (JCA, 1978). Un plan de mantenimiento puede realizarse por el personal de limpieza actual. Se puede crear un plan de reforestación con una zona de amortiguamiento por las diferentes organizaciones estudiantiles en donde luego se pueda tomar esta área para estudios preliminares de para el mejoramiento de las aguas de escorrentías. Se recomienda la utilización de gramas o de grava para protección del terreno expuesto, también se recomienda el uso de semilla y cubierta. Para la carretera San Isidro que colinda con la estación CTV, en donde hay desprendimiento de terreno se recomienda el uso de un drenaje francés o una alcantarilla para el control de la erosión de laderas y la producción de sedimentos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Hoy día la conservación, manejo y evaluación del agua superficial se ha convertido en un problema para Puerto Rico. El Río Piedras no está exento de esta realidad. No sabemos si algún día tendremos que utilizarlo para consumo de agua como en un pasado. Está demostrado científicamente por este estudio y otros que la contaminación por escorrentías y el desarrollo urbano e industrial causa problemas a la calidad del agua y al cauce de los ríos.

Según indican los muestreos de calidad del agua en las estaciones estudiadas, encontramos una relación directa entre los resultados de los parámetros analizados y las posibles fuentes de contaminación. Se marcaron y zonificaron posibles fuentes dispersas y puntuales como industriales, urbanizaciones, lotes de estacionamientos y comercios en la zona que rodean el segmento evaluado. La escorrentía pluvial urbana es el mayor contribuyente de contaminantes al Río Piedras. Las escorrentías provienen de muchas áreas identificadas fácilmente durante la visita de campo (Figura 35). Identificamos varias tuberías de desagüe como fuentes de contaminación puntual. Sin embargo, el DRNA la identifica como una fuente dispersa debido a que este sistema de tuberías y canales recolecta agua de diferentes fuentes como alcantarillas, techos, estacionamientos, carreteras y residencias.

Los resultados fueron variados para los diferentes parámetros estudiados en las estaciones de muestreo y las posibles fuentes de contaminación (Tabla 5). Por esta razón haremos conclusiones individualmente para cada estación.

La estación de muestreo EU en el estacionamiento de la UMET resultó positiva para sólidos suspendidos totales (TSS), coliformes fecales, coliformes totales, aceites y grasa,

arsénico y manganeso. Con relación a la DQO, resultó que en el evento seco hubo una disminución en comparación con el evento de lluvia. Por lo tanto podemos inferir que hay una contribución de material orgánico aportado por las escorrentías pluviales. Con estos resultados se demostró que la escorrentía pluvial acarrea materia orgánica hacia el río. Se violó el estándar para TSS lo que indicó que para un evento de tiempo seco el resultado es menor que para un evento lluvioso. Esta estación tiene descarga directa de la Quebrada Guaralcanal, dos (2) tubos de desagües pluviales y las descargas del desagüe de la carretera 176. Esto demuestra que durante eventos de lluvia las escorrentías lavan todo tipo de suelo. En los parámetros bacteriológicos coliformes fecales y totales, el resultado fue lo esperado: un valor mayor al reglamentado por el Reglamento de estándares de calidad del agua. El resultado para los aceites y grasas en tiempo de lluvia y seco fue amplio. Se esperaba esto debido a todas las fuentes mencionadas anteriormente (desagües, gasolineras y talleres de mecánica) que se encuentran localizadas en la carretera 176. Los metales que resultaron positivos fueron manganeso y arsénico. Esto se encuentra en el agua naturalmente aunque son aportados al agua por el lavado de los suelos. Además, la formación geológica de este lugar es Río Piedras Siltstone que contiene capas de rocas sedimentarias y volcánicas y la formación Aluvión compuesta de arcilla, arena y arcilla-arena. Estas dos formaciones son propensas a la sedimentación de minerales en sus capas.

En la estación CTV, los resultados son parecidos a la estación EU. El DQO y TSS se adjudica a los sedimentos y materias orgánicas del lugar. Esta estación se encontraba al lado de un desagüe de la calle Isidro Colón que finaliza en el estacionamiento de la UMET. La ladera de esta estación está erosionada y desgastada susceptible a deslizamientos en periodos de fuertes lluvias. En la calle se encuentra una barrera de seguridad bloqueando un deslizamiento de tierra

y la acera está deteriorada. En el pasado se estacionaban autos en esta calle en ambas orillas y en la actualidad está prohibido. También el estacionamiento de la UMET contribuye al aumento en la contaminación por aceite y grasa. Los coliformes fecales y totales sobrepasaron ambos los límites en esta estación. Aunque no se adjudica que contaminan como los pozos sépticos inmediatos, sí podemos decir que se debe a la contaminación fecal que proviene de los animales domésticos y las comunidades rurales que carecen de sistemas de alcantarillado. En los laterales del río hay evidencia de basura arrastrada por las corrientes, lo que implica la posibilidad de contaminantes inorgánicos en niveles altos de manganeso y arsénico. El más preocupante de los contaminantes metálicos es el manganeso que aumentó de 55 ppm en tiempo seco a 366 ppm en tiempo de lluvia. Sugerimos que se lleven a cabo estudios de suelos que permitan conocer la concentración de manganeso en el área.

Las muestras obtenidas en la estación DE, desagüe del estacionamiento de la UMET, fueron tomadas durante un evento de lluvia. La contaminación aportada proviene de una fuente dispersa, pero desemboca en un punto fijo. Los valores del análisis de, aceites y grasas, TSS, arsénico y manganeso excedieron los estándares. En cuanto a aceites y grasas el valor fue 3.7 mg/l. Esto demuestra que los estacionamientos son fuentes de contaminación por aceites y grasa. Este metal manganeso arrojó un 147 $\mu\text{g/l}$ sobre los 50 $\mu\text{g/l}$ establecidos por ley. Estos son compuestos o elementos utilizados en la construcción de motores de autos. También, la mala combustión de los motores aporta Mg al ambiente. Destacamos que para los metales como Talio, Cadmio, Cromo y Berilio los valores estuvieron por debajo del nivel mínimo detectado por el instrumento de cromatografía de gas por lo que se descarta la posibilidad de contaminación.

En cumplimiento con el tercer objetivo de esta investigación, identificar las mejores prácticas de manejo para mitigar las fuentes de contaminación dispersa para que la UMET pueda contribuir a mejorar la calidad del agua del Río Piedras, se recomienda que se consideren acciones correctivas por parte de la Institución. De este modo se podrá contribuir tanto al mejoramiento de la calidad del agua del Río Piedras, como de la planta física. Estas medidas son necesarias luego de evaluar los resultados de la estación de muestreo DE del desagüe del estacionamiento de la UMET y los resultados en la estación CTV. Muestreamos esta estación DE en periodo de lluvia. La misma se considera un desagüe intermitente debido a que en tiempo seco se encuentra vacío. Este desagüe discurre prácticamente por todo el estacionamiento de la UMET y por el norte y centro dividiendo la parte asfaltada de la sin asfaltar (Figura 36). El curso natural del río fue alterado por la ampliación del estacionamiento. En temporadas de lluvias fuertes el DE desagua al río las escorrentías del estacionamiento causando inundaciones repentinas en el área. Esta zona es inundable (Figura 37).

Los resultados para la estación DE demuestran la aportación significativa de varios parámetros que violan lo establecido por la JCA y la USEPA. Esta estación violó los parámetros de TSS, aceite y grasa y DQO. Esto es evidencia de contaminación por materia orgánica y el metal manganeso (Tabla 5). Los parámetros que más alarman son los resultados para aceites, grasas y manganeso. Los automóviles del lugar son probablemente la fuente de estos contaminantes.

Recomendamos a la UMET contribuir con el mejoramiento de la calidad de agua y con el control de las aguas de escorrentías del estacionamiento:

- Establecer una zona amortiguamiento mediante la Ley Núm. 55 Artículo 2 que estipula que todo cuerpo de agua con terrenos colindantes se le asignará una zona de 5 metros de

amortiguamiento. Entendemos que existe la necesidad del estacionamiento por lo tanto, esta recomendación debe considerarse para establecer como base una zona menor, o sea de tres (3) metros en donde se elabore un filtro natural con grama y una faja lineal de árboles que sirvan para desagüe y zona de amortiguamiento vegetal para las aguas de escorrentías y como control de erosión (Figura 38).

- Establecer un programa de monitoreo en el canal de desagüe: la universidad cuenta con un Departamento de Ciencias y Tecnología en donde los estudiantes de diversas concentraciones relacionadas a las ciencias, elaborando proyectos y estudios científicos. Se puede sugerir como parte de un currículo de enseñanza en química o ciencias ambientales, un monitoreo semestral de las mismas estaciones evaluadas en este estudio para así ampliar la base de datos preliminar para beneficios de todos (Daniels & Daniels, 2006).
- Establecer un programa de control de erosión y sedimentos: Mediante la construcción de gaviones en las orillas del desagüe del estacionamiento se controlan los sólidos suspendidos en su origen. Además, se recomienda colocar rocas de cierto tamaño adecuado en el fondo del desagüe para de esta manera crear una serie de pequeños rápidos que aireen el agua de escorrentías.
- Establecer un plan de mantenimiento y limpieza al predio del estacionamiento de la UMET: Esto ayudará a evitar que basura, lixiviados de basura y sedimentos lleguen al río
- Involucrar a la comunidad estudiantil: Mediante las asociaciones estudiantiles concienciar a los ciudadanos sobre la importancia de mantener las áreas del estacionamiento de la UMET.

- Se recomienda reubicar el área de zafacones actualmente ubicado en las cercanías del Río Piedras, a un área alejada y adecuada en una zona de concreto y con diques.

Recomendaciones para estudios futuros

Basados en los resultados de esta investigación y conscientes del manejo y la evaluación de riesgo ambiental que hay que realizar en esta área del río, proponemos las siguientes recomendaciones para estudios futuros:

- Realizar estudios de suelo para correlacionar los parámetros de las aguas, específicamente los metales, con los resultados del suelo.
- Realizar investigaciones adicionales de las aguas superficiales del Río Piedras para obtener comparaciones con otras épocas o condiciones del año.
- Realizar estudios de PCB y PAH para el desagüe de la UMET para evidenciar cuáles compuestos orgánicos son arrastrados al río en periodo lluvia.
- Realizar muestreo para metales pesados como mercurio y plomo.
- Desarrollar un estudio de planificación en el área del estacionamiento de la UMET.
- Desarrollar un plan educativo para concienciar la población de estudiantes de la UMET para prevenir contaminación al río.
- Evaluar el uso de la maquinaria utilizada en la limpieza del desagüe que remueve la vegetación lo cual propicia la erosión del suelo hacia el río.
- EL área de lavado de autos de la UMET actualmente se encuentra aledaña a la estación CTV. El lavado de autos contribuye a la contaminación por productos químicos, metales pesados y fosfatos. Se recomienda reubicar esta área y utilizar productos biodegradables.

Limitaciones del estudio presente

Durante el desarrollo de la investigación confrontamos algunas limitaciones. A continuación señalamos algunas de ellas:

- Debido a la falta de recursos económicos y al alto costo de los análisis de las muestras, no fue posible realizar un número mayor de muestras. Con un mayor número de muestras se mejoran los resultados estadísticos y cuantitativos.
- Pérdida de muestras coleccionadas por errores técnicos en el manejo de especímenes en el laboratorio analítico que resultaron en valores desconocidos.
- El equipo para medir concentraciones de metales sólo nos permitió muestrear metales específicos.

Podemos señalar que este estudio de la calidad de las aguas del Río Piedras reveló que el desparrame urbano causado por las zonas comerciales, industriales, urbanizaciones y estacionamientos entre otros, influyen en la contaminación de este cuerpo de agua. Se hace meritoria la educación de toda la población que viva en la cuenca hidrográfica del Río Piedras para concienciar sobre los impactos de estas áreas. Las malas prácticas de disposición de basura y la contaminación por pozos sépticos ameritan atención inmediata al problema. Está evidenciado que los estacionamientos provocan y acarrearán contaminación por escorrentías pluviales al río. También, los estacionamientos influyen en la aceleración de descarga de escorrentías por ser suelo impermeable. Esto afecta ya que luego vienen las canalizaciones costosas aguas abajo. Se sugiere que la Escuela de Asuntos Ambientales y el Departamento de Ciencias y Tecnología conjuntamente realicen estudios y los apliquen a sus currículos.

LITERATURA CITADA

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (1998). RCRA. *En foco Imprenta*. USEPA-530-K-97-007-S. Washington, DC.
- Agency for Toxic Substance & Disease Registry. (2008a). ToxFaq: Antimony, cas#:7440-36-0. Department of Health and Human Services. United States.
- Agency for Toxic Substance & Disease Registry. (2008b). ToxFaq: Arsenic, cas#:7440-38-2. Department of Health and Human Services. United States.
- Agency for Toxic Substance & Disease Registry. (2008c). ToxFaq: Arsenic, cas#:7440-39-3. Department of Health and Human Services. United States.
- Agency for Toxic Substance & Disease Registry. (2008d). ToxFaq: beryllium, cas#:7440-39-3. Department of Health and Human Services. United States.
- Agency for Toxic Substance & Disease Registry. (2008e). ToxFaq: Cadmium, cas#:7440-43-9. Department of Health and Human Services. United States.
- Agency for Toxic Substance & Disease Registry. (2008f). ToxFaq: Chromo, cas#:7440-47-3. Department of Health and human services. United States.
- Agency for Toxic Substance & Disease Registry. (2008g). ToxFaq: Nickel, cas#:7440-02-0. Department of Health and Human Services. United States.
- Agency for Toxic Substance & Disease Registry. (2008h). ToxFaq: Manganese, cas#:7439-96-50. Department of Health and Human Services. United States.
- Agency for Toxic Substance & Disease Registry. (2008i). ToxFaq: Silver, cas#:7440-22-4. Department of Health and Human Services. United States.
- Agency for Toxic Substance & Disease Registry. (2008j). ToxFaq: Selenium, cas#:7782-49-2. Department of Health and Human Services. United States.
- Agency for Toxic Substance & Disease Registry. (2008k). ToxFaq: Talio, cas#:7440-28-0. Department of Health and Human Services. United States.
- California Protection Agency. (2006). State Water Resource Control Board Water Quality. *Folleto Informático Amoniaco*. 3.3.1.0. Extraído el 23 de enero de 2008, de: <http://www.waterboards.ca.gov>.
- Clevers, J.G. & Kooistra, L. (2003). *Assessment of heavy metal contamination in river floodplain by using the red-edge index*. Centre Geo-information (CGI), Wageningen. University and Research Centre.

- Consortio del Estuario de la Bahía de San Juan. (1999). *Plan integral de manejo y conservación para el estuario de la bahía de San Juan*.
- Cordero, A. T. (1988). *Determinación de las concentraciones de sólidos suspendidos totales del Río Piedras y la quebrada Buena Vista, Puerto Rico*. Tesis no publicada Escuela graduada de Salud Pública. Universidad de Puerto Rico.
- Daniels, T. & Daniels, K. (2006). *The environmental planning handbook*. Planners Press. American Planning Association Chicago. Illinois Washington, D. C.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1995). *Reglamento para el aprovechamiento, vigilancia, conservación y administración de las aguas territoriales, terrenos sumergidos bajo éstas y la zona marítimo terrestre. Estado Libre Asociado de Puerto Rico*.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2007). *Programa de Manejo de la Zona Costanera: Los primeros 25 años*. División de Zona Costanera del DRNA.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2008). *Plan integral de recurso de agua*. San Juan, Puerto Rico. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- Díaz, A. A. (2002). Al rescate del antiguo acueducto. *El Nuevo Día*. p. 78, 20 de octubre.
- Díaz, P., Aquino, Z., Figueroa, C., Vachier, R. & Sánchez, A. (2006). *Water resources data, Puerto Rico and the U. S. Virgin Islands, Water Year 2006*. U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-96-1. 564pp.
- Fujioka, R. S. (2001). Monitoring coastal marine waters for spore-forming bacteria of fecal and soil origin to determine point from non-point source pollution. *Water Science and Technology*. 44(7):181-188p.
- García-Moll, A. (1978). Ed.: Escorrentías Urbanas y Comunidades Rurales; En: *Plan de manejo para la calidad del agua en Puerto Rico, Informe final del Proyecto 208 Isla*, Capítulo 5: Fuentes Dispersas, (pp. 323-361, 365-408), División de Calidad de Agua, Junta de Calidad Ambiental, Oficina del Gobernador, Estado Libre Asociado de Puerto Rico, octubre de 1978.
- Gellis, A.C. (1991). *Construction effects on sediment for two basins, Puerto Rico*. Proceedings of the Fifth Federal Interagency Sedimentation Conference, Las Vegas, Nevada, 72-78 pp.
- Gromaire, M. C., Garnaud, S., Gonzales, A. & Chebbo, G. (1999). Characterization of urban runoff pollution in Paris. *Water, Science and Technology Journal*, 39(20):1-8p.

- Junta de Calidad Ambiental. (1978). *Plan de manejo para la calidad del agua en Puerto Rico*. Informe final del proyecto 208 Isla, División de Calidad de Agua, Junta de Calidad Ambiental, Oficina del Gobernador, Estado Libre Asociado de Puerto Rico, octubre de 1978.
- Junta de Calidad Ambiental. (2003a). *Puerto Rico Water Quality Inventory and list of impaired waters*. 2002 305(b)/303(d). Integrates Report Final Versión. Estado Libre Asociado. Oficina de la Gobernadora.
- Junta de Calidad Ambiental. (2003b). *Contaminación de Agua*. Estado Libre Asociado. Oficina de la Gobernadora.
- Junta de Calidad Ambiental. (2004). *Reglamento de estándares de calidad de agua de Puerto Rico. R-03-05*. Versión Enmendada. Estado Libre Asociado
- Junta de Calidad Ambiental. (2004). *Ley Núm. 416, Ley sobre Política Pública Ambiental del 22 de septiembre de 2004*. 12§§1121-1142. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- Junta de Calidad Ambiental. (2005). *Informe sobre el Estado y Condición del Ambiente en Puerto Rico*. Capítulo 2: Recurso Agua. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- Marcelo, R. (2001). Globalización del derecho ambiental. *Revista Jurídica de LexJuris*. 4(2):8.
- Marcos, M. & Botana, J. (2006). *Polución y corrosión en ríos contaminados*. III Congreso de ingeniería civil, territorio y medio ambiente. Agua, Biodiversidad e Ingeniería. Zaragoza, 25-27 de octubre de 2006. Extraído el 2 de septiembre de 2007, de <http://www.ciccp.es/biblio.es>.
- Marrero, T. & Villanueva, N. (2006). *Atlas Ambiental de Puerto Rico*. Editorial UPR. 102-110pp.
- Martínez, G. (2006). *Análisis de BODs por el método SM 5210B*. Edición 20. AAA/SOP-QA-012. 20pp.
- Memon, F. A. & Butler, D. (2005). Characterization of pollutants washed off from road surfaces during wet weather. *Urban Water Journal*, 2(3):171-182pp.
- Morales, K. (2006). *Calidad del Agua y Posibles Fuentes de Contaminación en la Cuenca del Río Morovis*. Tesis no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales. Universidad Metropolitana.
- Norat, J. (2002). Uso de terrenos y calidad e agua en la cuenca hidrográfica del río La Plata en Puerto Rico. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México, 27 al 31 de octubre.

- López, D. (1999). *El ambiente y las leyes en Puerto Rico: Lo que todos queremos saber*. Publicación Paraíso. Rincón, Puerto Rico. Obra Jurídica. Colegio de Abogados de Puerto Rico.
- Lugo, A & García, A.R. (1996). Cartilla del agua para Puerto Rico. *Revista Acta Científica*. 10 (1-3):1.
- Liu, Z., Weller, D., Correll, D. & Jordan, T. (2001). Effects of land cover and geology on stream chemistry in watersheds of Chesapeake Bay. *Journal of the American Water Resources Association*. Paper 00015.
- Oral, T., Boyacioglu, H. & Pakistan, M. (2007). An Assessment of sediment quality at the streams flowing into Izmir Bay, Aegean Sea, Turkey. *Journal of Biológica Sciences*. 10(10):1738-1742.
- Ortiz, F. (2004). *Coliformes fecales en el río Puerto Nuevo*. Tesis no publicada. Escuela Graduada de Salud Pública. Universidad de Puerto Rico. Recinto de Ciencias Médicas.
- Pave, P. & Marchese, M. (2005). Invertebrados como indicadores de calidad del agua en ríos urbanos (Paraná-Entre Ríos, Argentina). Asociación Argentina de Ecología. *Revista Ecología Austral*. 15(1):183-197.
- Pérez, J. (2000). Amenazado el Estuario de la Bahía de San Juan. *El Nuevo Día*. 24 de septiembre.
- Pérez, J. (2005) Vuelve la vida a la quebrada Chiclana, *El Nuevo Día*. 23 de octubre.
- Pérez, A. T, Nerei, L., De la Cruz, I., Rodríguez, J. A., Cristina, M., Villanga, G. & Liceaga, Y. (2005). El acueducto de la barriada Venezuela un monumento histórico echado a perder. *Periódico Claridad*, Sección En rojo. 13 al 19 de octubre.
- Seguinot, J. (2000). Gestión ambiental y protección de áreas naturales costaneras y marinas en los EEUU de Norteamérica y Puerto Rico. *Revista Jurídica de LexJuris*. 1(1):4.
- Soto, J. & Bruce, J., Martínez, I., Quintero, D & Chaidez, C. (2006). Presencia de microorganismos indicadores, patógenos y oportunistas en agua potable de zonas de Culiacán y Navolato, Sinaloa. *XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales*. 24 al 26 de mayo. Expo. Guadalajara.
- Suárez, V. (s. f.). *Inventario de los ríos más importantes de Puerto Rico*. Departamento de Recursos Naturales. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- Tiefenthaler, L. Schiff, K. C. & Bay, S. M. (2001). Characteristics of parking lot runoff produced by simulated rainfall. *Southern California Coastal Water Research Project*.

- US Environmental Protection Agency. (1986). *Quality Criteria for Water*. Office of water: Regulation and Standards. USEPA-440/5-86-001.
- US Environmental Protection Agency. (1999). *Update of Ambient Water Quality Criteria for Ammonia*. Office of Water.
- US Environmental Protection Agency. (2000). *Storm water phase II Final Rule*. USEPA-833-F-00-001. Office of Water. Washington, D. C. The 1996 National Quality Inventory.
- US Environmental Protection Agency. (2006). *Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable*. Ground Water and Drinking Water: USEPA 815-00-007. Extraído el 11 de septiembre de 2007, de <http://www.USEPA.gov/safewater/agua/estandares>.
- US Environmental Protection Agency. (2006). Safe Drinking Water Act. 42 USCA ii 300-300J-26.
- US Environmental Protection Agency. (2007a). Resources and conservation recovery. Extraído el 12 de septiembre 2007, <http://www.USEPA.gov/region5/defs/html/rcra>.
- US Environmental Protection Agency. (2007b). *Monitoring and assessment water quality*. Extraído el 1 de diciembre de 2007, de <http://www.USEPA.gov/owow/monitoring/volunteer.com>
- US Geological Services Survey. (1998). *Characterization of storm water discharges from the Guanajibo Industrial Park, Mayaguez, Puerto Rico*. Open File Report 99-180.
- US Geological Services Survey. (2006). *Water-resources data for the United States Water Year 2006*. Extraído el 1 de diciembre de 2007, de <http://www.water.usgs.gov>.
- Vullo, D. L. (2003). Microorganismos y metales pesados: Una interacción en beneficio del medio ambiente. *Revista Química Viva*. 2(3):1.
- Webb, R & Gomez, F (1998). *Trends in Bottom-Sediment Quality and Water Quality in the San Juan Bay Estuary System, Puerto Rico*. US Geological Survey. San Juan, Puerto Rico.
- Wong, T. & Taylor, A. (2002). *Non-Structural storm water quality best management practices- An overview of their use, value, cost and evaluation*. Cooperative Research Center for Catchment Hydrology. Report 02/11.
- Wunderlin, D. A, Díaz, M. R, Ame, M. V, Pesce, S. F, Hued, A. C. & Bistoni, M. A. (2001). Patter recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variation in water quality. A case study: Surquia River Basin Cordoba Argentina. *Water Research*. 135(12):2881-2894.

Zamxaka. M, Pironcheva, G. & Muyima NVO. (2004). Microbiological and physico-chemical assessments of the quality of domestic water source in select rural community of the Eastern Cape province, South Africa. *Journal: Water SA*. 30(3):333-340.

TABLAS

Tabla 1. *Estándares específicos para sustancias inorgánicas.*

SUBSTANCIA	AGUAS	AGUAS	AGUAS
	COSTANERAS	SUPERFICIALES	SUBTERRÁNEAS
	μg/L	μg/L	μg/L
Antimonio	4,300	14	5
Arsénico	1.4	0.18	50
Cadmio	9.3	-	5
Cianuro	1	5.2	200
Cromo	-	1	-
Cobre	3.1	-	-
Fluoruros	-	700	1300
Mercurio	0.051	0.05	-
Nitrógeno	5000	-	2
Níquel	8.2	-	-
N+N	-	10,000	-
Plata	2	-	-
Plomo	8.1	-	15
Selenio	71	5	50
Sulfuro	2	2	-
Zinc	81	-	-

Tabla 2. *Tipos de Preservativos y Envase.*

Parámetros	Envase	Volumen	Preservativo	Tiempo de Retención
Temperatura	campo	-	-	-
pH	campo	-	-	-
Oxígeno Disuelto	campo	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno	plástico	1L	H ₂ SO ₄ , 4 °C	28 horas
Sólidos suspendidos totales	plástico	1L	4° C	7 días
Fosforo Total	plástico	1L	H ₂ SO ₄ , 4 °C, pH<2	28 días
Nitrito y Nitrato	plástico	1L	H ₂ SO ₄ , 4 °C	48 horas
Amoniaco	plástico	1L	H ₂ SO ₄ , 4 °C, pH<2	28 días
Metales	plástico	1L	HNO ₃ , pH<2	
Aceite y Grasa	crystal ámbar	1L	H ₂ SO ₄ , 4 °C, pH<2	28 días
Coliformes	plástico	130 ml	Trisulfuro de sodio 5 °C, pH<2	7 días

Tabla 3. *Parámetros del Reglamento de Estándares de Agua de la JCA y EPA.*

Parámetros	Norma JCA	Norma EPA
Temperatura	≤32.2 °C	-
pH	6.0-9.0 SU	6.0-9.0
Oxígeno Disuelto	≥5.0 mg/L	-
Demanda Química de Oxígeno	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	0	10-20 mg/L
Coliformes Totales	≤10,000/100 mL	-
Coliformes Fecales	≤200/100 mL	-
Fosforo Total	<1 mg/L	-
Nitrito y Nitrato	<10 mg/L	1-10 mg/L
Amoníaco	<1 mg/L	-
Aceite y Grasa	0	≤0.01 mg/L
Antimonio	14.0 µg/L	6 µg/L
Arsénico	.18 µg/L	0 µg/L
Bario	≤2000 µg/L	200 µg/L
Berilio	-	4 µg/L
Cadmio	0.7852 ^{[Ln-dureza]-2.715}	5 µg/L
Cromo	-	100 µg/L
Níquel	0.8460 ^{[Ln-dureza]+0.058}	100 µg/L
Manganeso	50 µg/L	50 µg/L
Plata	1.72 ^{[Ln-dureza]-6.52}	100 µg/L
Selenio	5.0µg/L	50 µg/L
Talio	-	2 µg/L

Tabla 4. Valores promedio para las estaciones de muestreo.

Parámetro	Estándar	EU		DE		CTV	
		SECO	LLUVIA	SECO	LLUVIA	SECO	LLUVIA
Temperatura	32.2 °C	25	25.3	0	25.4	24.3	25.3
pH	06-sep	7.89	7.84	0	7.79	7.66	7.69
Oxígeno Disuelto	>5.0 mg/l	7.56	7	0	6.53	7.53	7.1
DQO	-	27	14	0	16	21	50
TSS	0 mg/l	6.8	31	0	19	5.2	5.6
Coliformes Totales	≤10,000/100 c/ml	5566	0	0	0	0	5606
Coliformes Fecales	≤200/100 c/ml	58126	0	0	0	0	63930
Fosforo Total	1 mg/L	0.3	0.12	0	0.13	0.2	0.38
Nitrito y Nitrato	1-10 mg/L	0.91	-	0	-	1.2	-
Aceite y Grasa	0 mg/l	1.4	7.1	0	3.7	2.1	1.5
Antimonio	14.0 µg/L	0.41	0.87	0	0.41	0.41	2.17
Arsénico	18.0 µg/L	1.33	4.43	0	1.63	1.23	2.63
Bario	200.0 µg/L	85.43	81.36	0	104.33	85.33	99.76
Berilio	0 µg/L	0.0026	0.0026	0	0.0026	0.0026	0.0026
Cadmio	5.0 µg/L	0.31	0.31	0	0.31	0.31	0.31
Cromo	100.0 µg/L	1.53	2.1	0	1.4	1.4	3.56
Níquel	100.0 µg/L	2.63	3.96	0	3.36	2.53	4.36
Manganeso	50.0 µg/L	55.8	166.6	0	147.66	55.66	366.13
Plata	100.0 µg/L	0.047	0.11	0	0.092	0.04	0.065
Selenio	5.0 µg/L	0.68	0.72	0	0.7	0.59	0.54
Talio	2.0 µg/L	0.12	0.12	0	0.12	0.12	0.12

Tabla 5. *Contaminantes positivos en estacione.*

Leyenda: + Incumplimiento con reglamento
 - Cumplimiento con reglamento

Parámetro	EU	DE	CTV
OD	-	-	-
COD	-	-	-
TSS	+	+	+
Coliformes Totales	+	+	+
Coliformes Fecales	+	+	+
Fosforo Total	-	-	-
Nitrito y Nitrato	-	-	-
Aceite y Grasa	+	+	+
Antimonio	-	-	-
Arsénico	+	+	+
Bario	-	-	-
Berilio	-	-	-
Cadmio	-	-	-
Cromo	-	-	-
Níquel	-	-	-
Manganeso	+	+	+
Plata	-	-	-
Selenio	-	-	-
Talio	-	-	-

Tabla 6. Valores de contaminantes estación DE.

Parámetros	Norma de la JCA	Norma de la EPA	DE
Demanda Química de Oxígeno	-	-	16 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	No asentamiento	10-20 mg/L	19 mg/L
Coliformes Totales	≤10,000/100 mL	-	46110
Coliformes Fecales	≤200/100 mL	-	6570
Aceite y Grasa	0	≤0.01 mg/L	3.7 mg/L
Manganeso	50 µg/L	50 µg/L	147.66 µg/L

FIGURAS



Figura 1. Foto aérea del área de estudio.

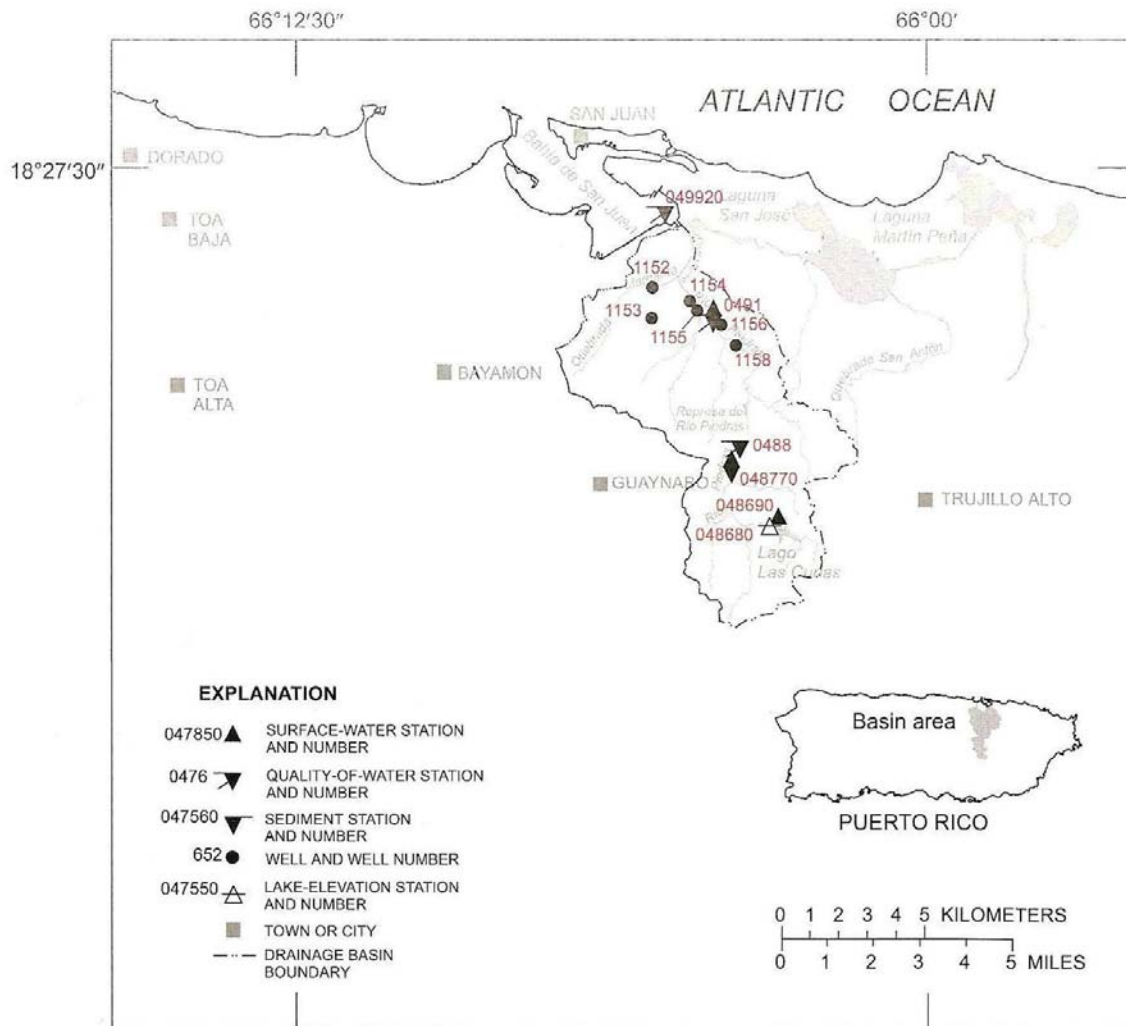


Figura 2. Cuenca hidrográfica del Río Piedras.



Figura 3. Estaciones de muestreo hechas en el evento seco.



Figura 4. Estación del Canal de Desagüe del estacionamiento UMET.



Figura 5. Estaciones de muestreo hechas en el evento de lluvia.

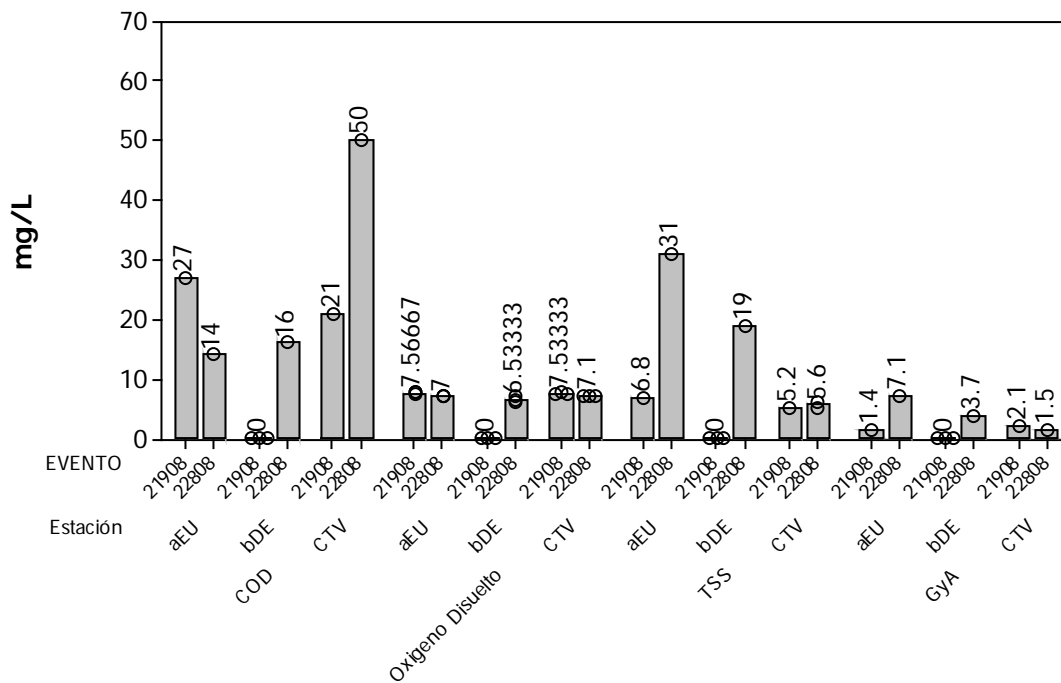


Figura 6. Concentraciones de DQO, OD, TSS y grasas y aceites por estación.

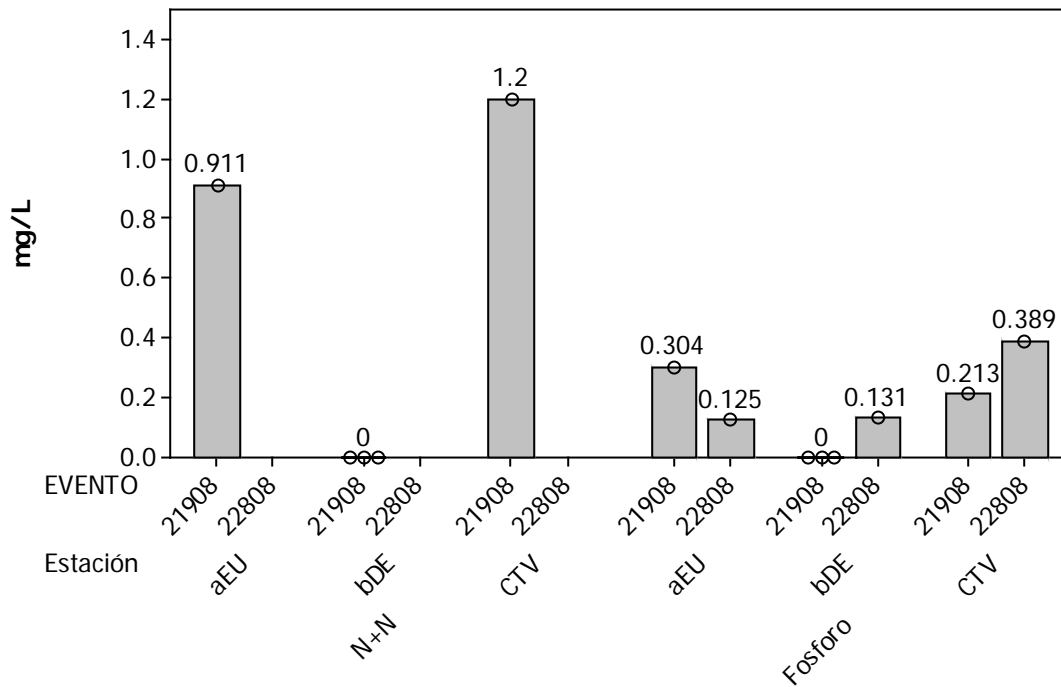


Figura 7. Valores promedio para las concentraciones de N+N y fósforo por estación.

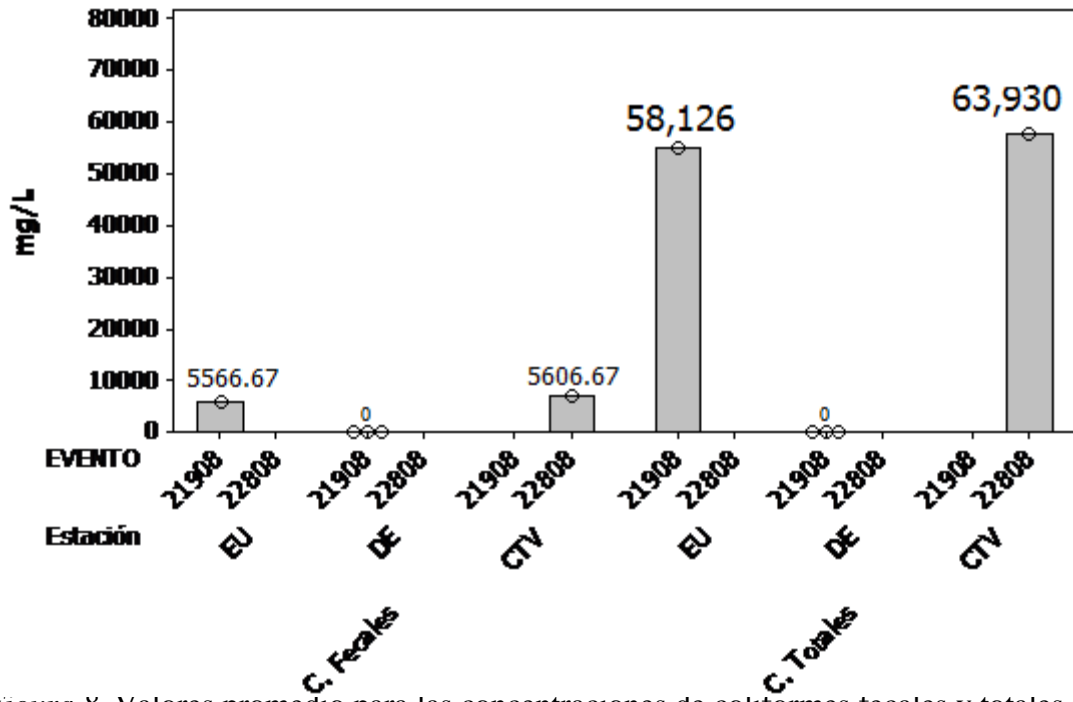


Figura 8. Valores promedio para las concentraciones de coliformes fecales y totales por estación.

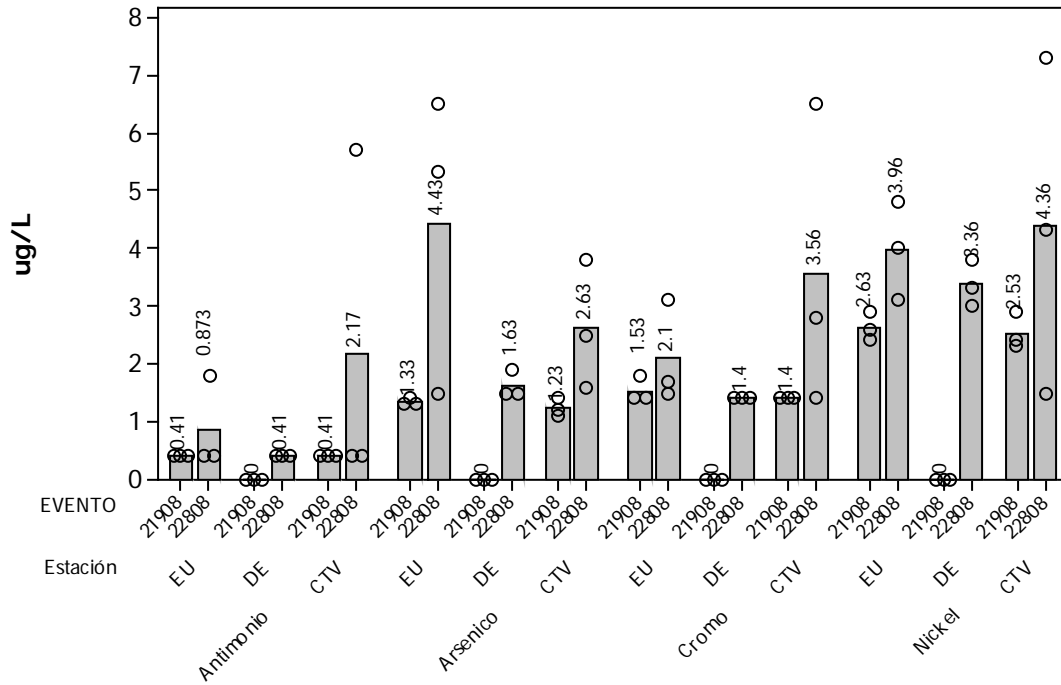


Figura 9. Valores promedio para las concentraciones de metales por estación.

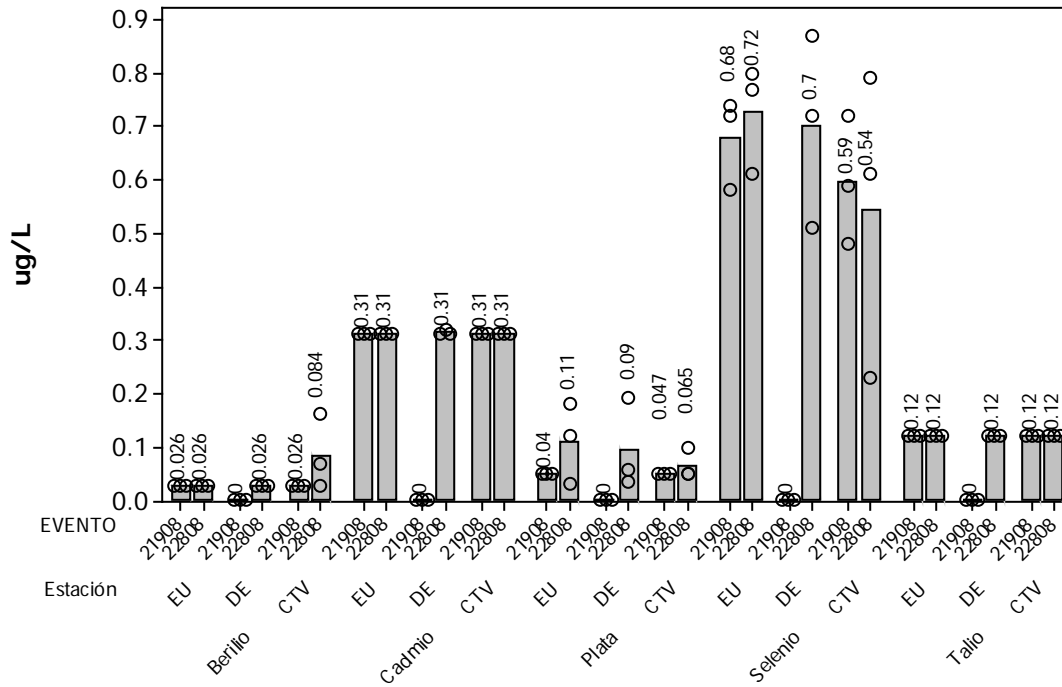


Figura 10. Valores promedio para las concentraciones de metales por estación.

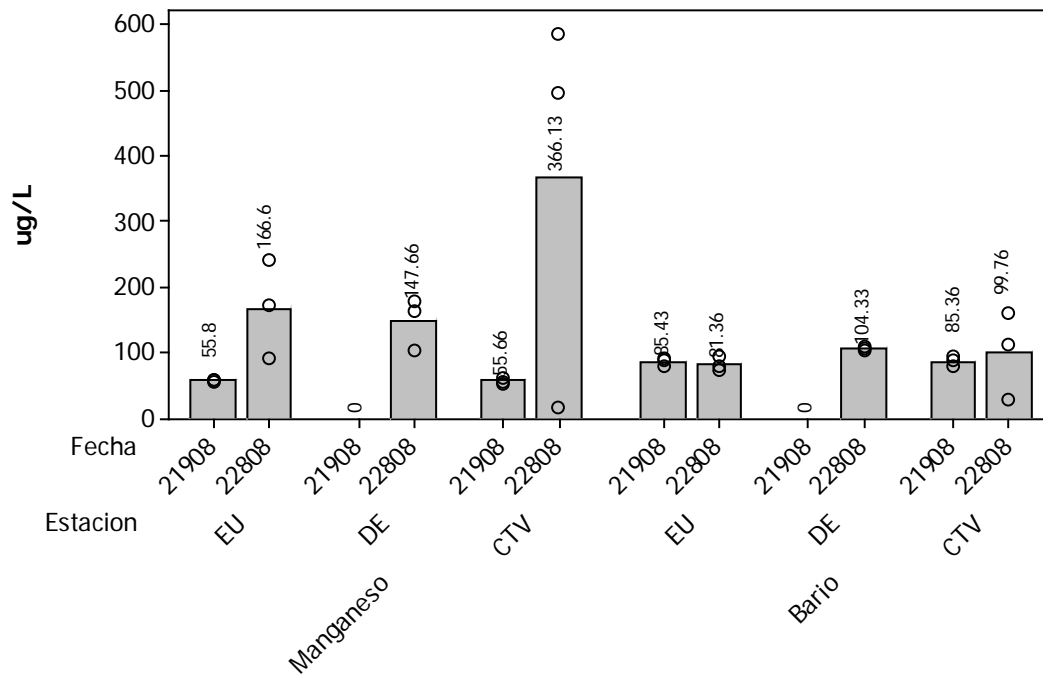


Figura 11. Valores promedio para las concentraciones de metales por estación.

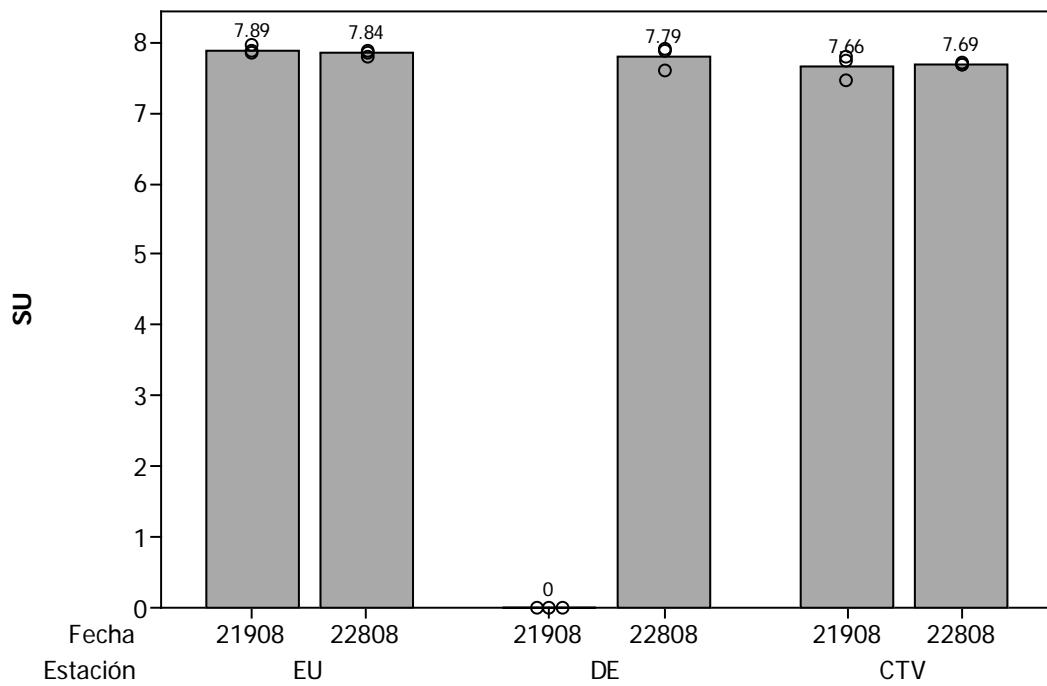


Figura 12. Valores promedio para la concentración de pH por estación.

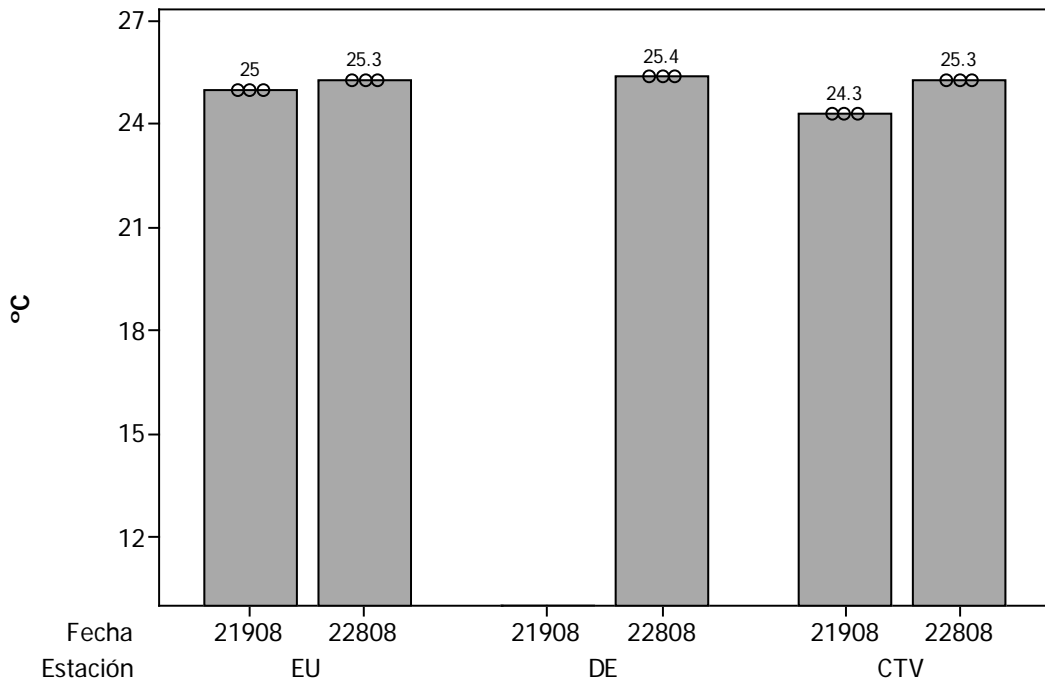


Figura 13. Valores promedio para la concentración de temperatura por estación.

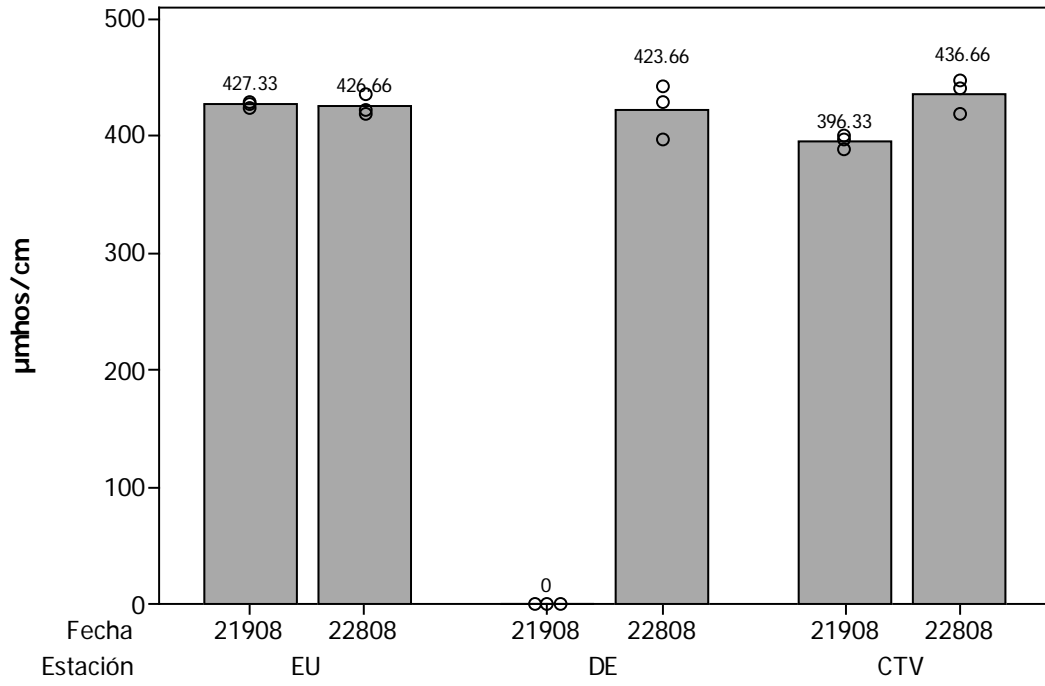


Figura 14. Resultados para conductividad por estación.

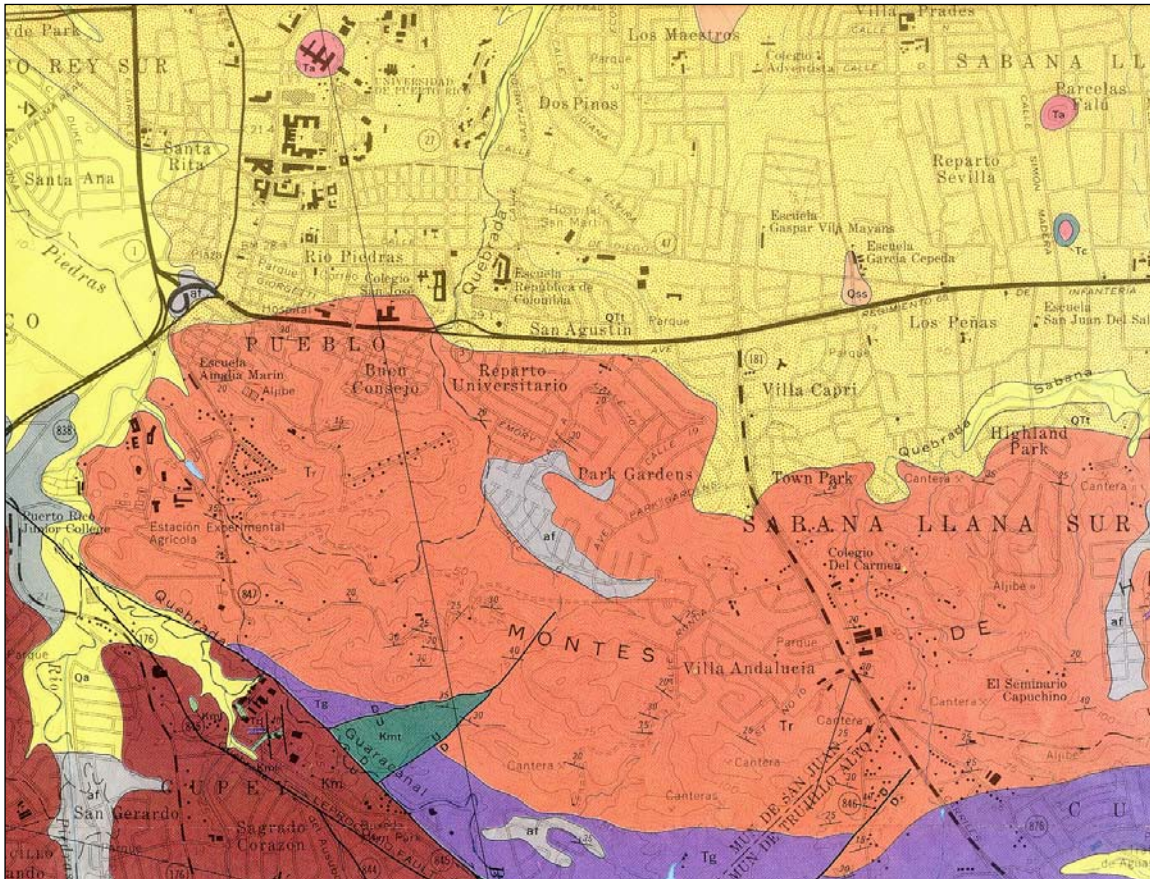


Figura 15. Mapa geológico del área donde está localizado el estudio. El color anaranjado representa Tr, el violeta Tg, el verde Kmt, el amarillo Qa y el gris af (Fuente: Mapa Geológico del USGS).

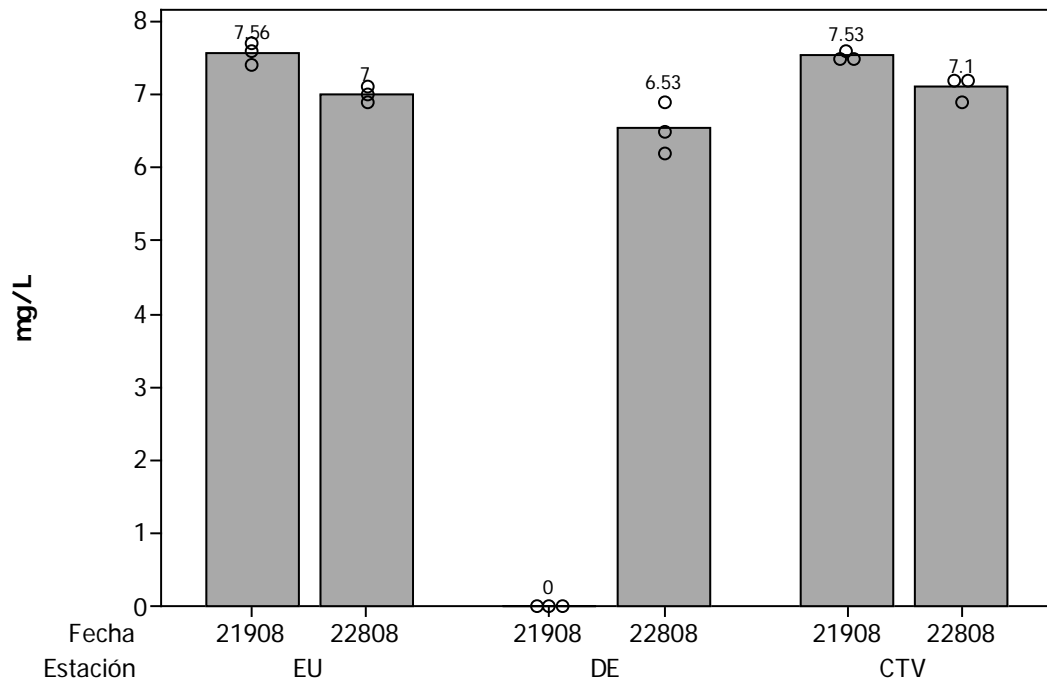


Figura 16. Valores promedio para la concentración de OD por estación.

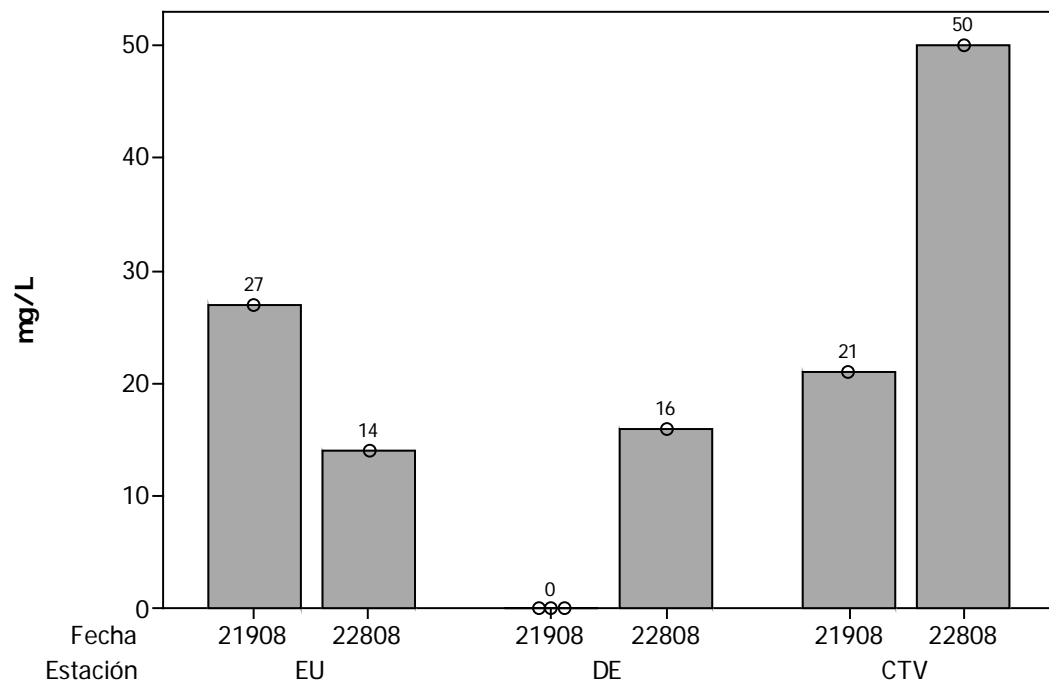


Figura 17. Valores promedio para la concentración de DQO por estación.

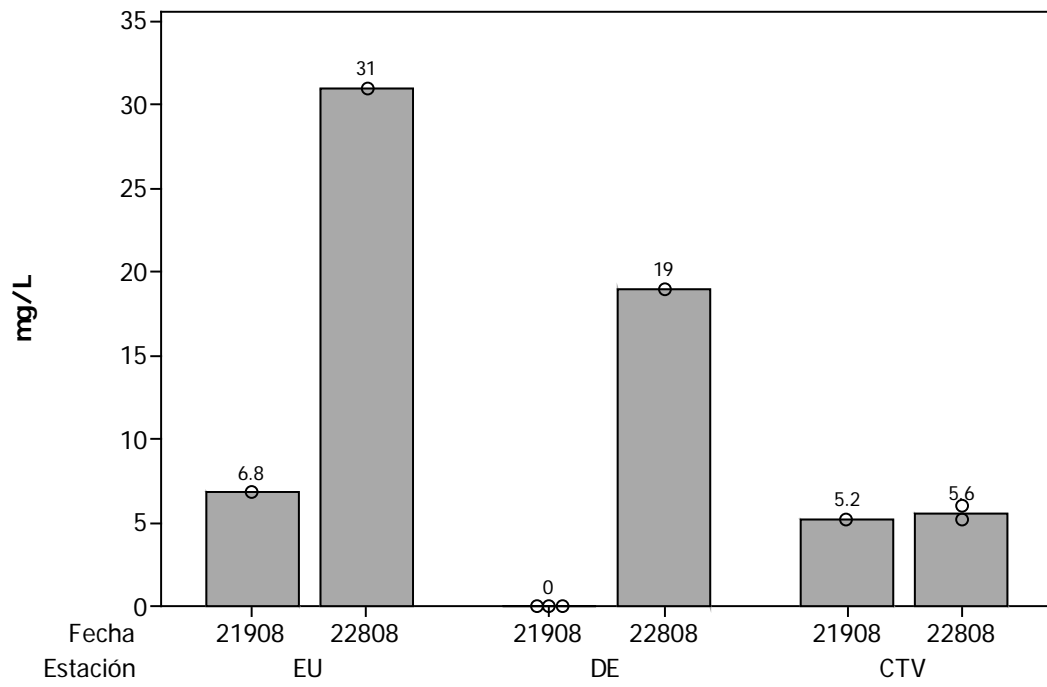


Figura 18. Valores promedio para la concentración de SST por estación.

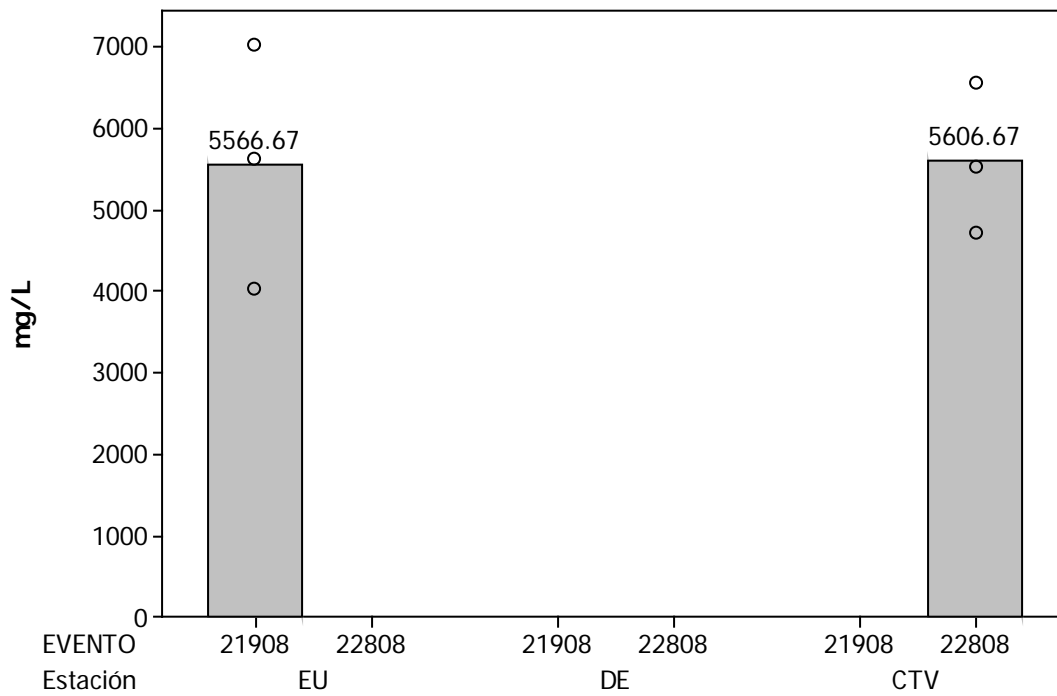


Figura 19. Valores promedio para la concentración de coliformes fecales por estación.

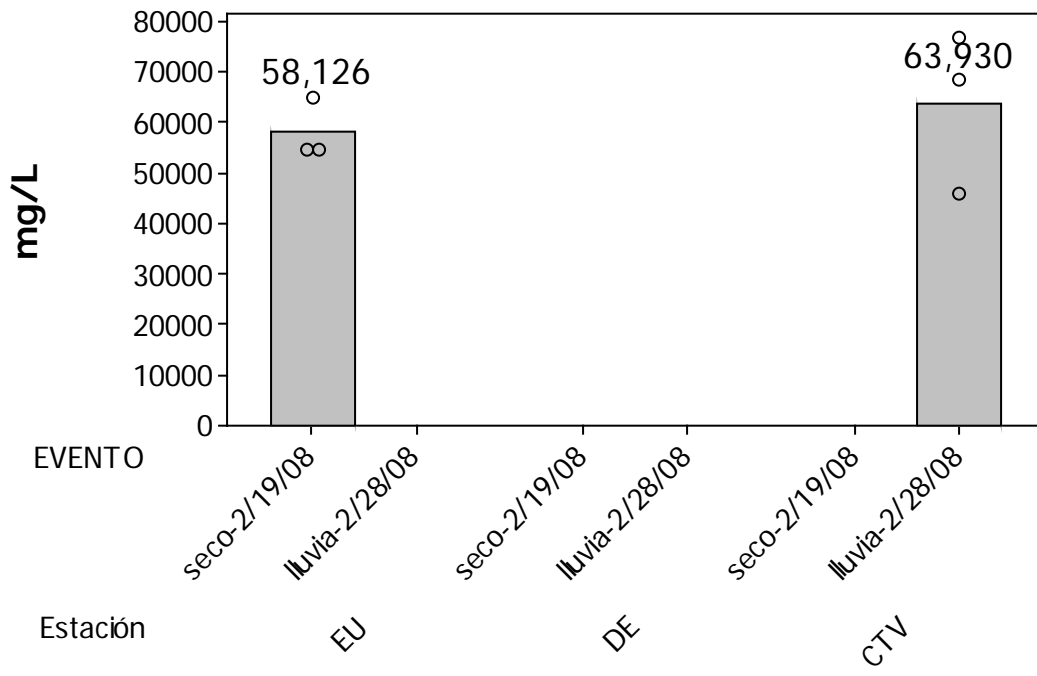


Figura 20. Valores promedio para la concentración de coliformes totales por estación.

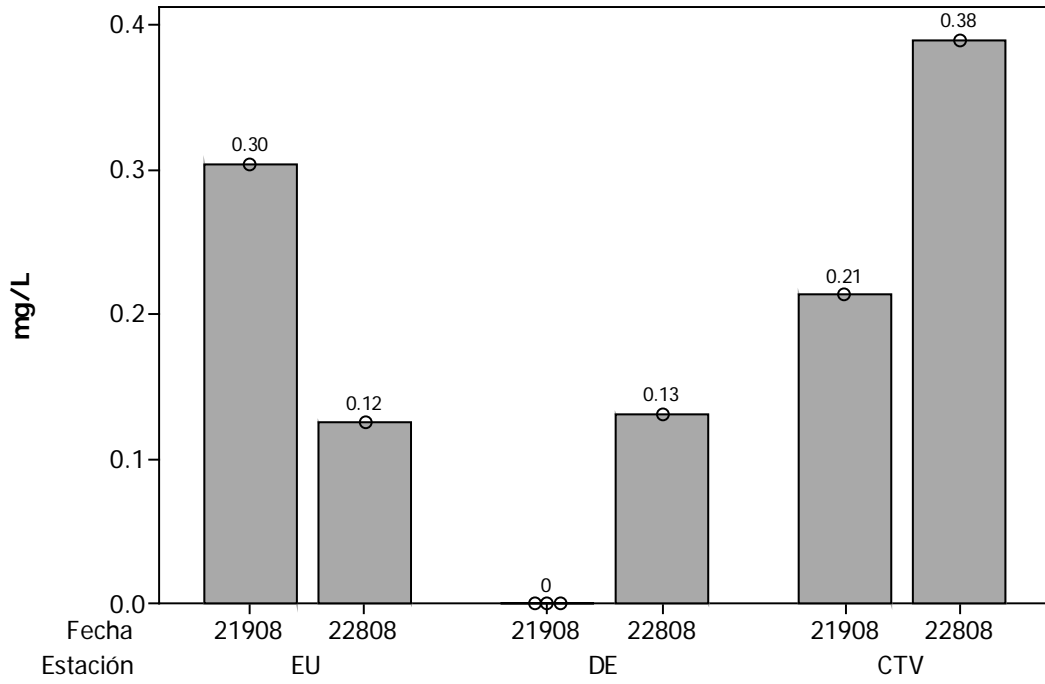


Figura 21. Valores promedio para la concentración de P por estación.

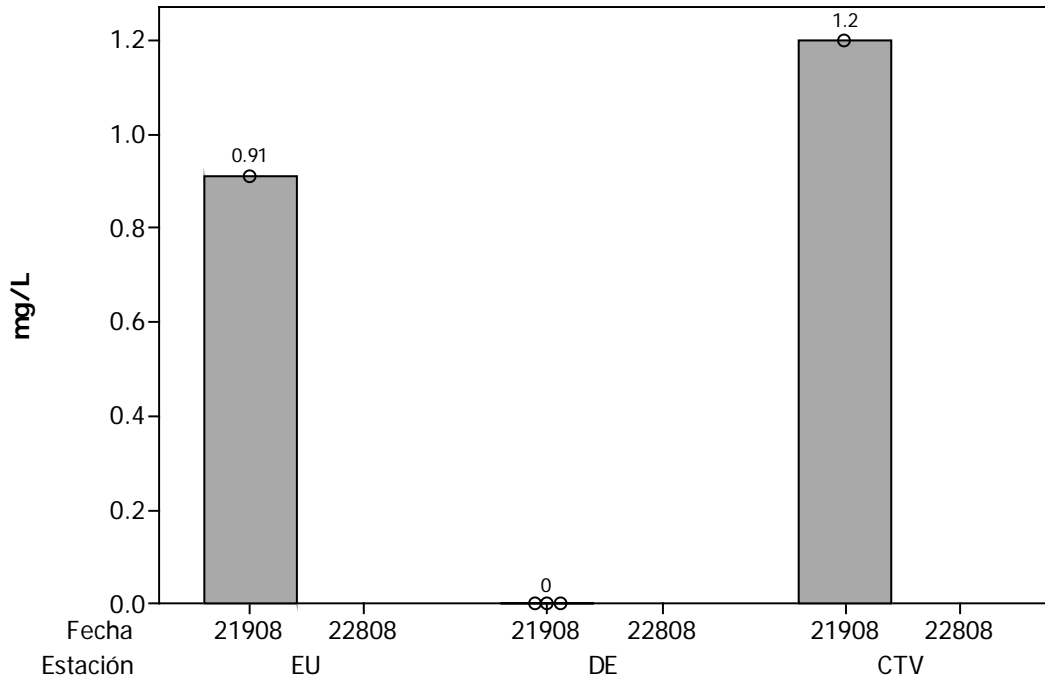


Figura 22. Valores promedio para la concentración de N por estación.

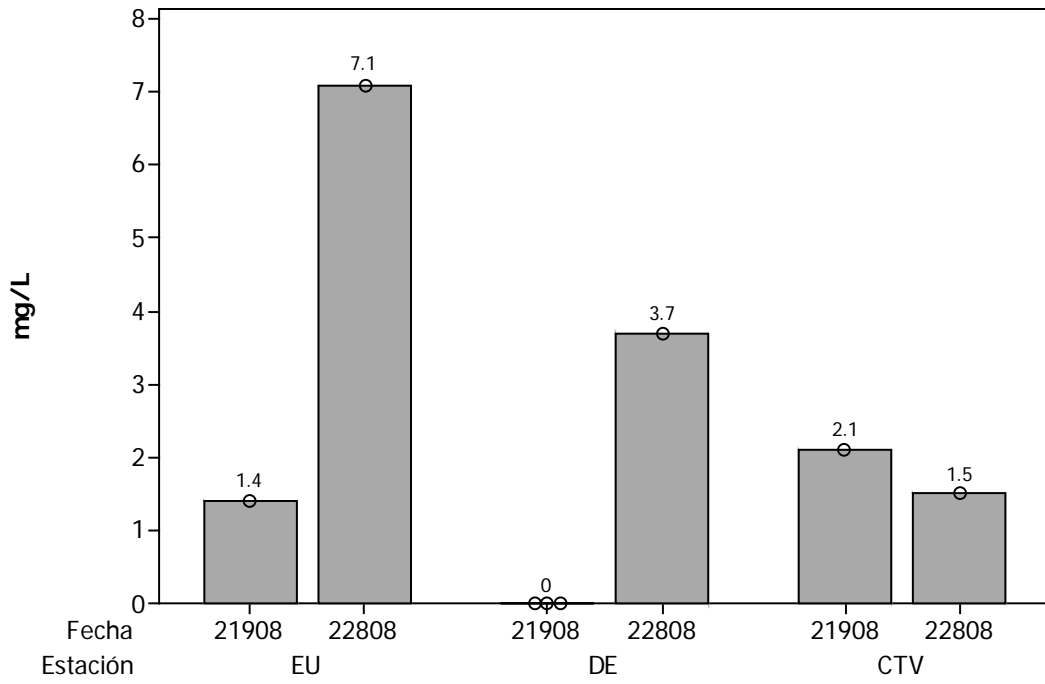


Figura 23. Valores promedio para la concentración de aceites y grasas por estación.

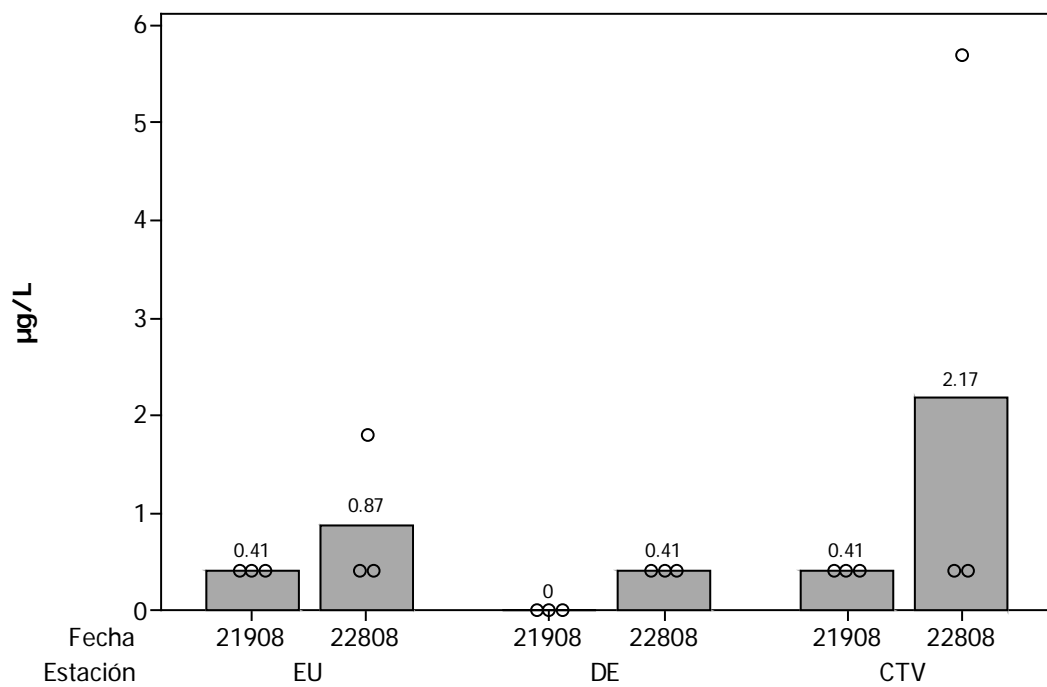


Figura 24. Valores promedio para la concentración de Antimonio por estación.

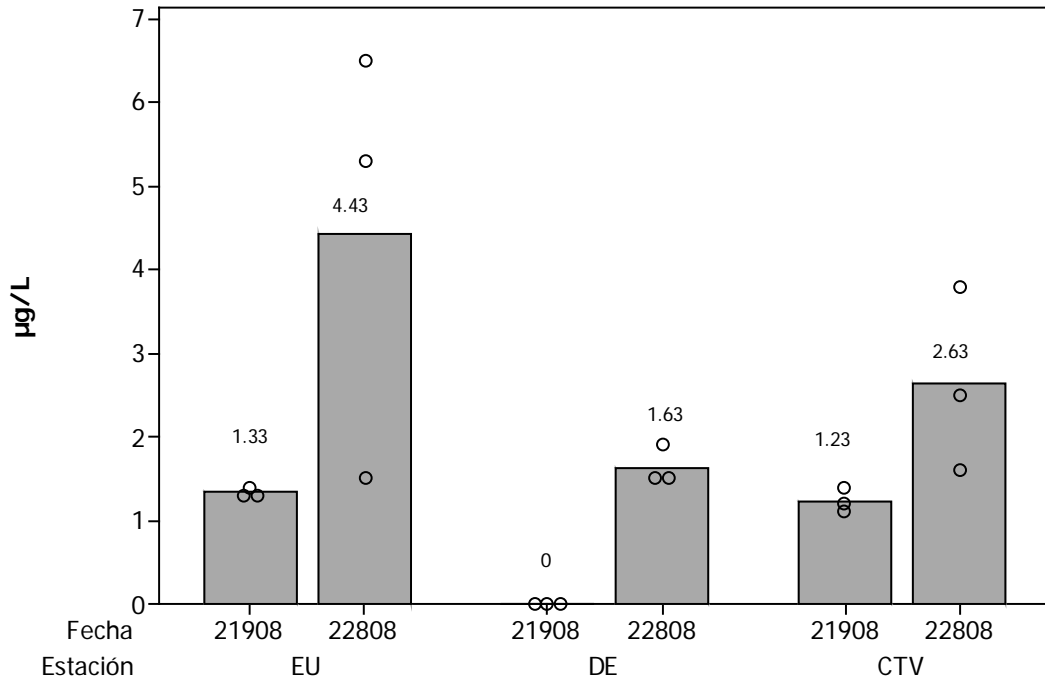


Figura 25. Valores promedio para la concentración de Arsénico por estación.

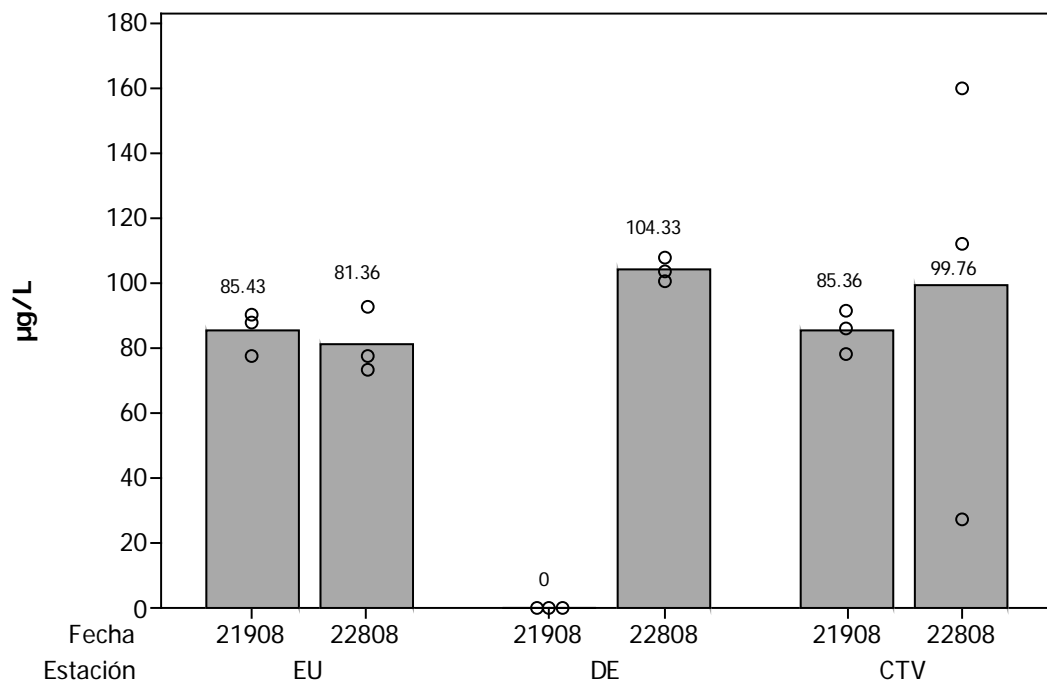


Figura 26. Valores promedio para la concentración de Bario por estación.

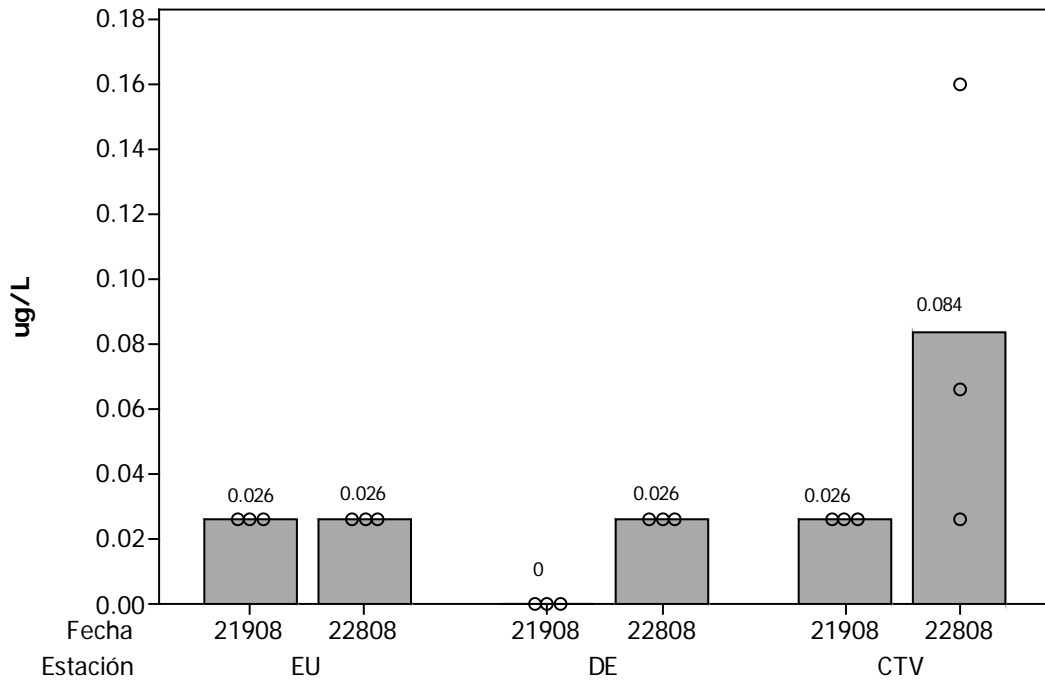


Figura 27. Valores promedio para la concentración de Berilio por estación.

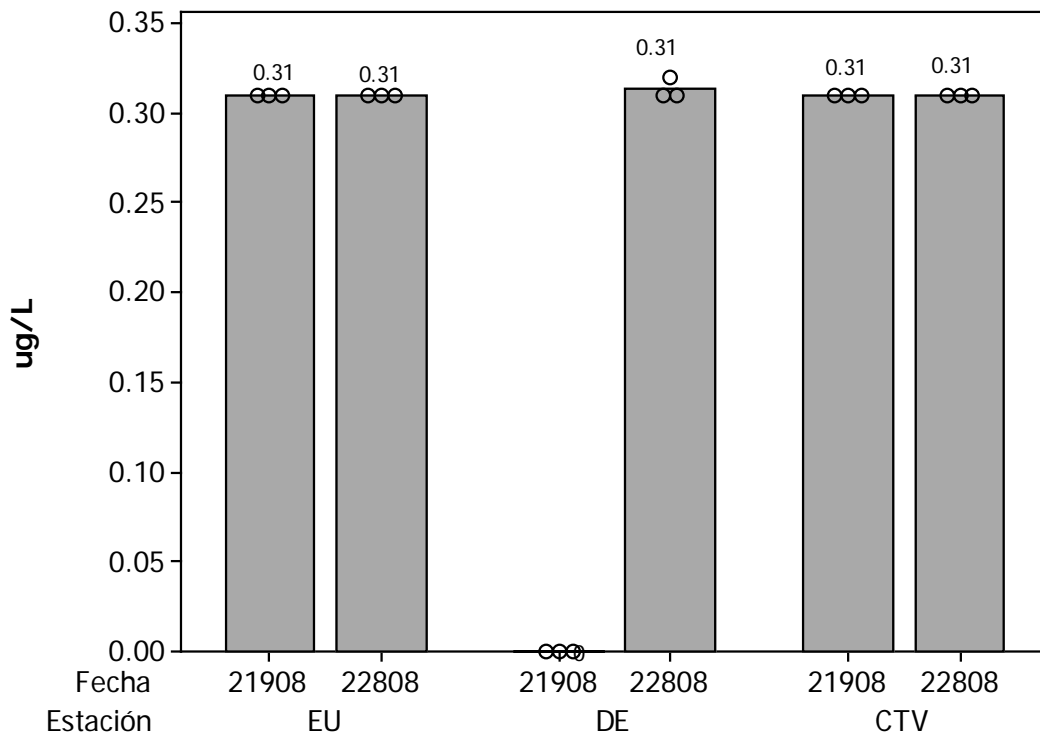


Figura 28. Valores promedio para la concentración de Cadmio por estación.

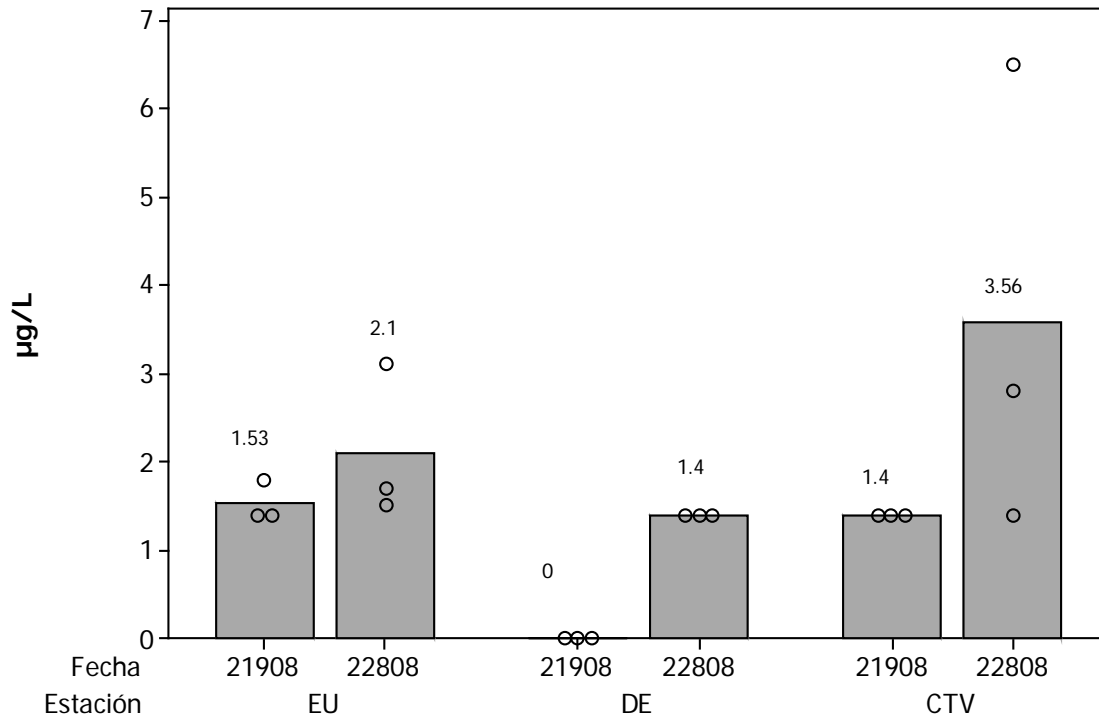


Figura 29. Valores promedio para la concentración de Cromo por estación.

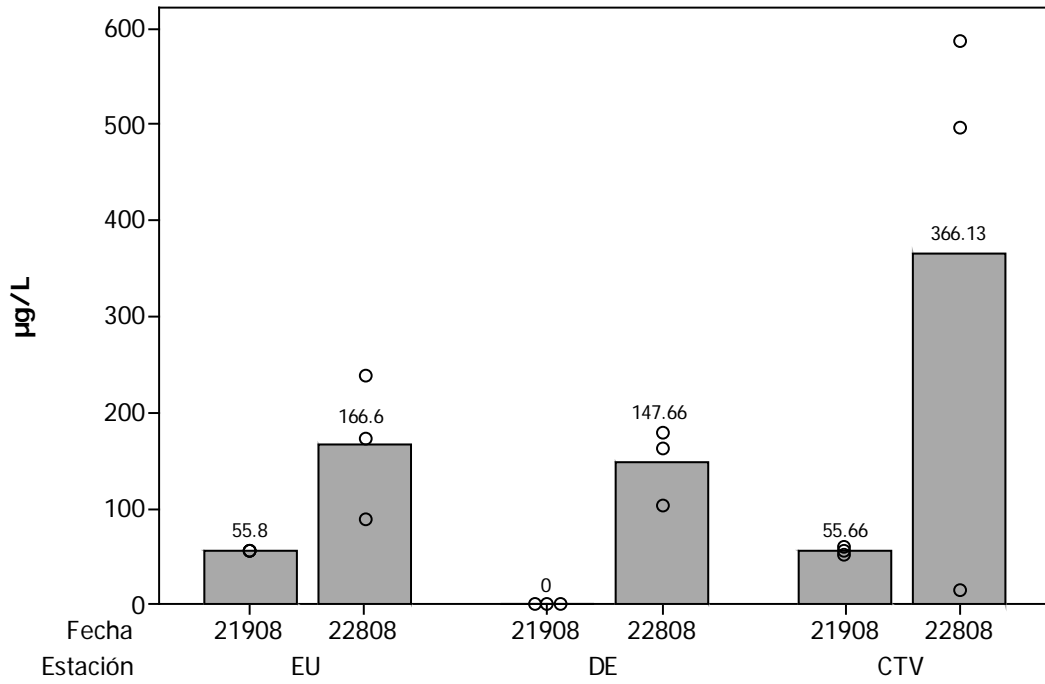


Figura 31. Valores promedio para la concentración de Manganeso por estación.

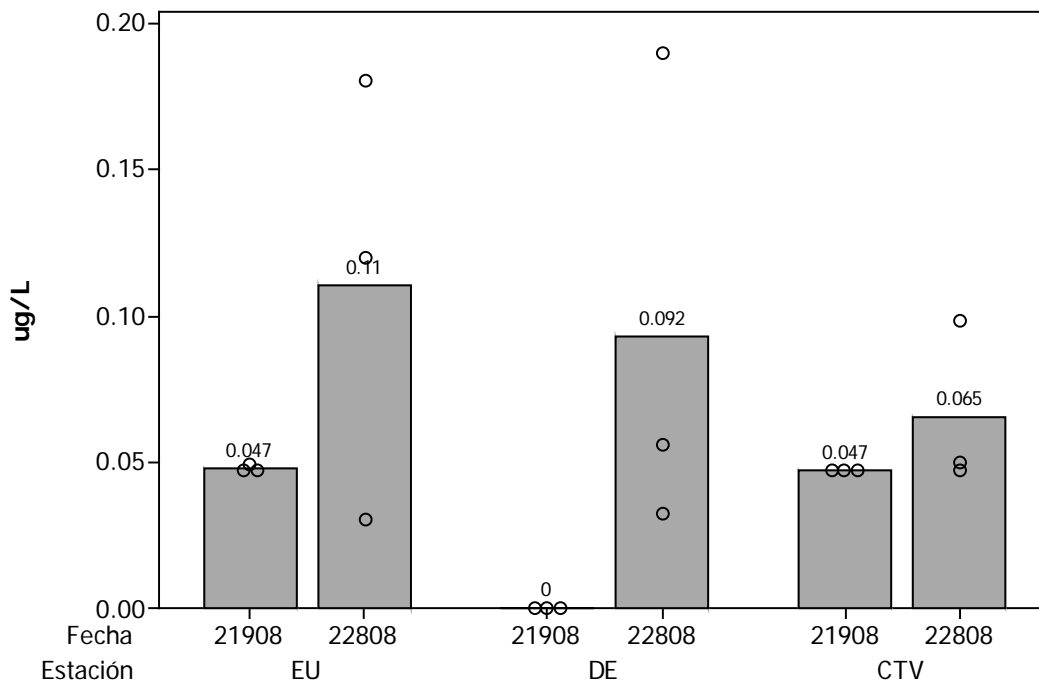


Figura 32. Valores promedio para la concentración de Plata por estación.

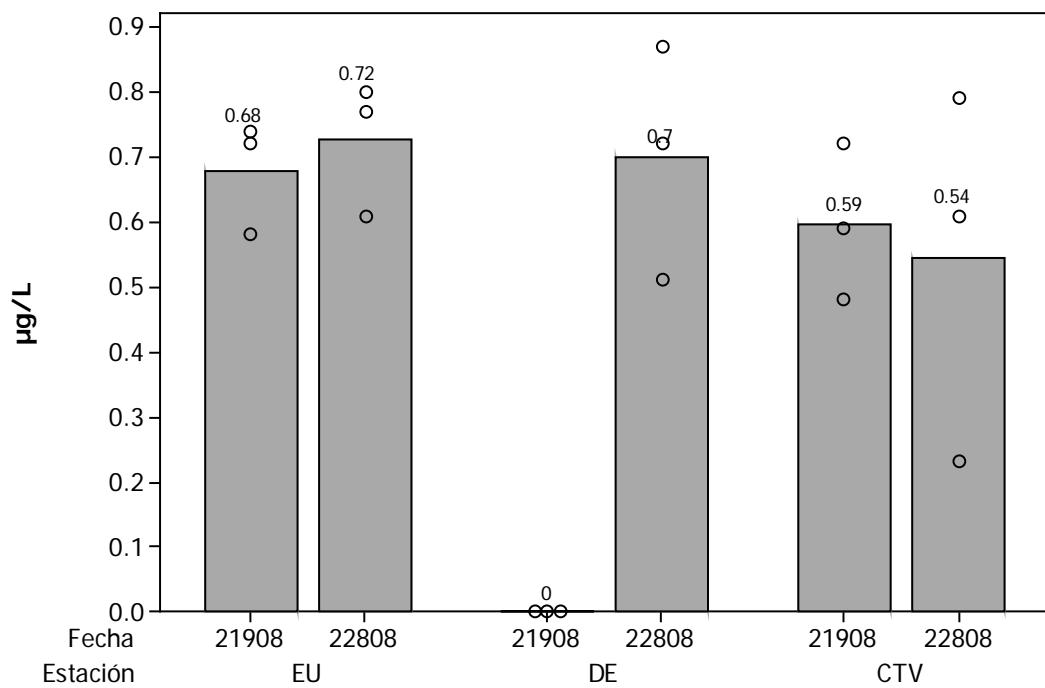


Figura 33. Valores promedio para la concentración de Selenio por estación.

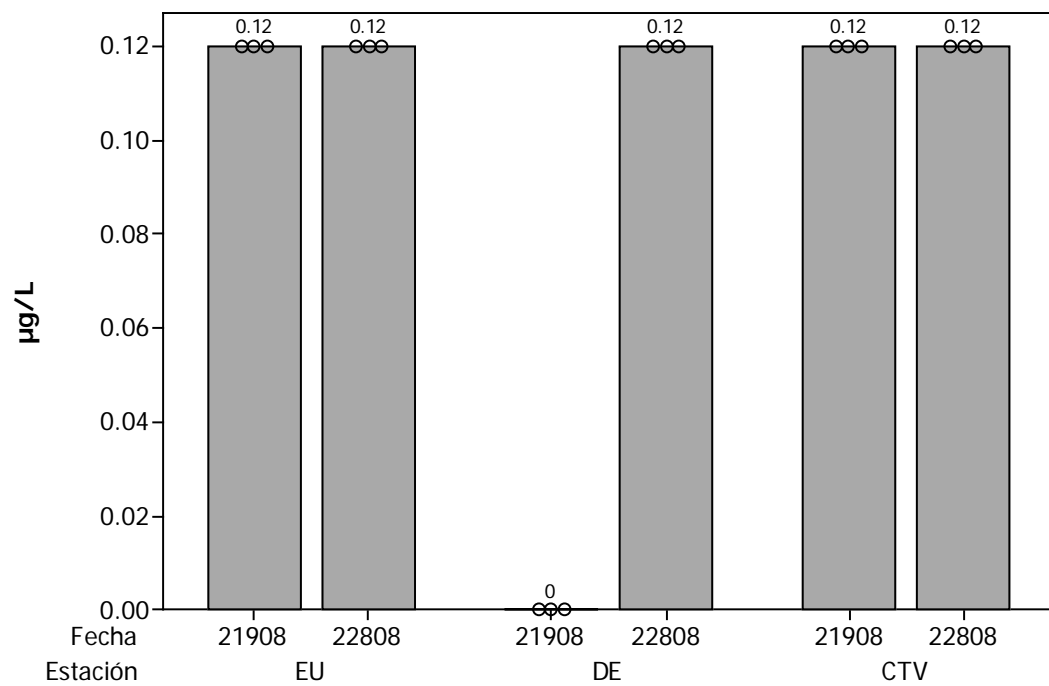


Figura 34. Valores promedio para la concentración de Talio por estación.

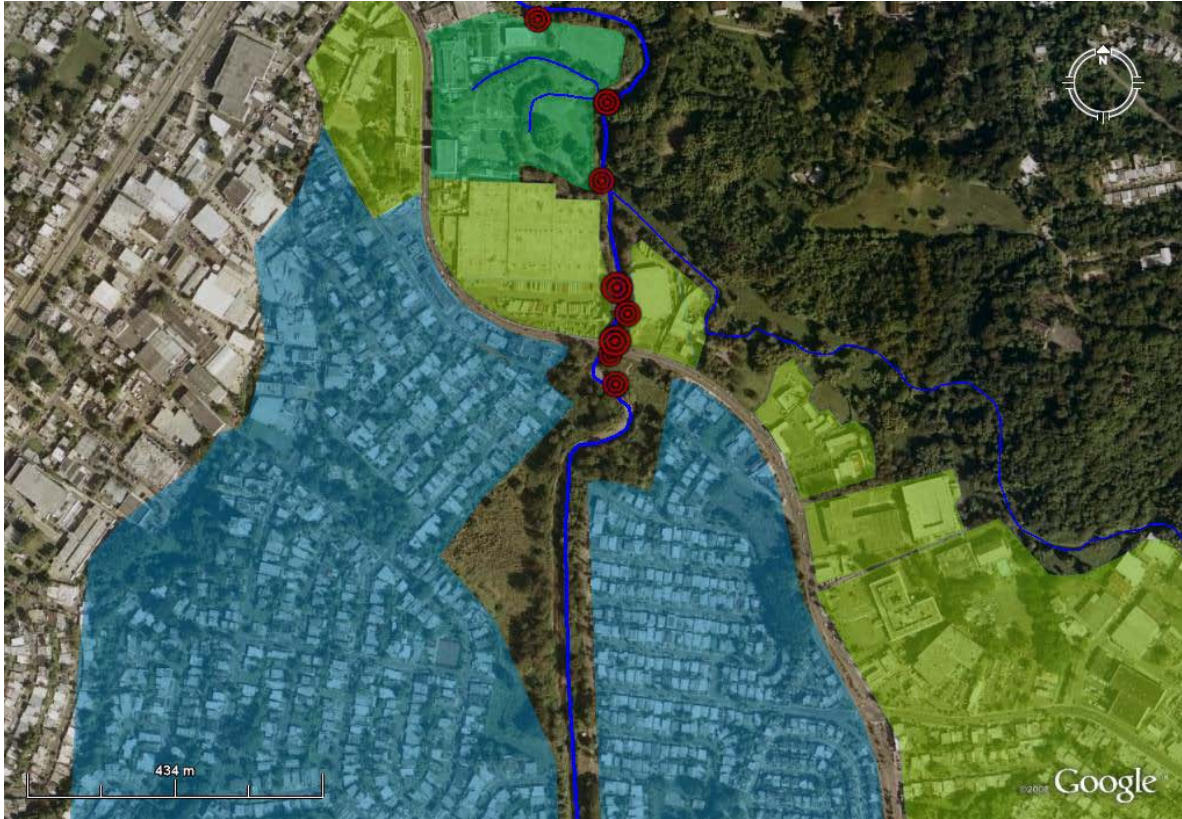


Figura 35. Mapa de posibles fuentes dispersas y puntuales de contaminación.

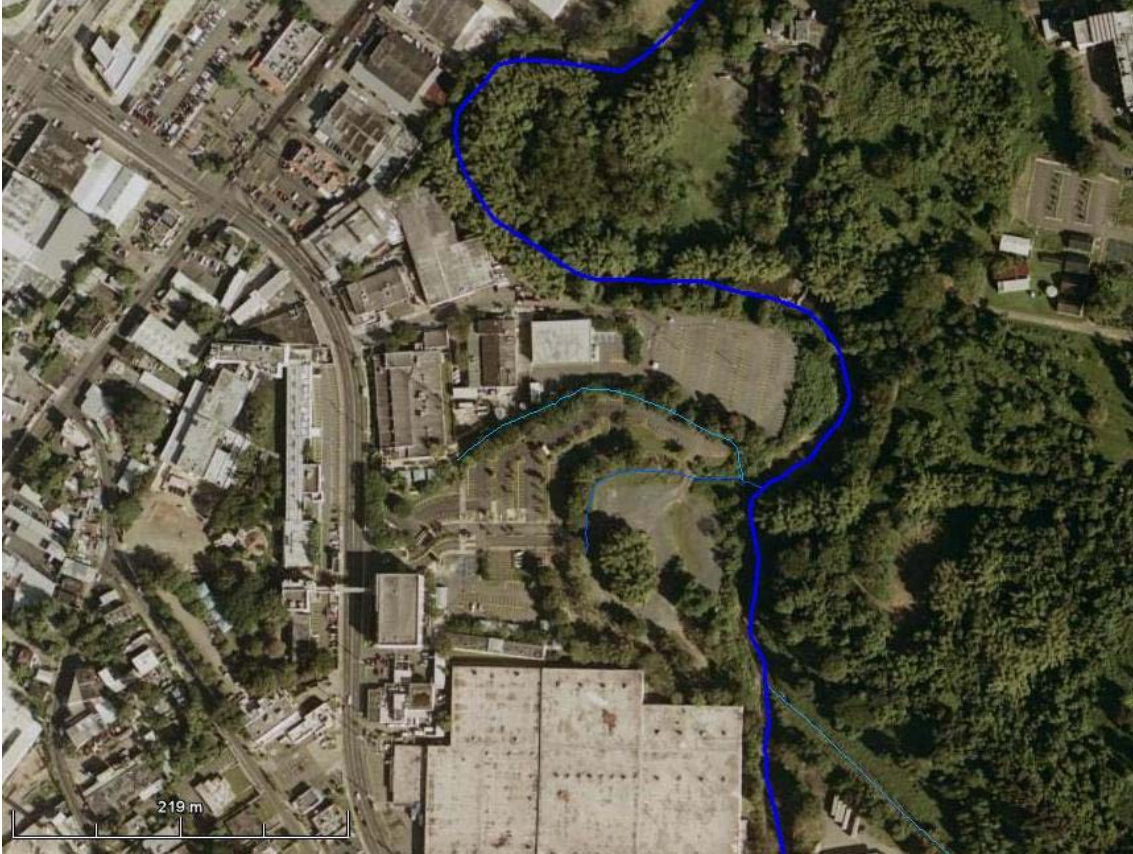


Figura 36. Mapa Canal de desagüe Estacionamiento UMET.

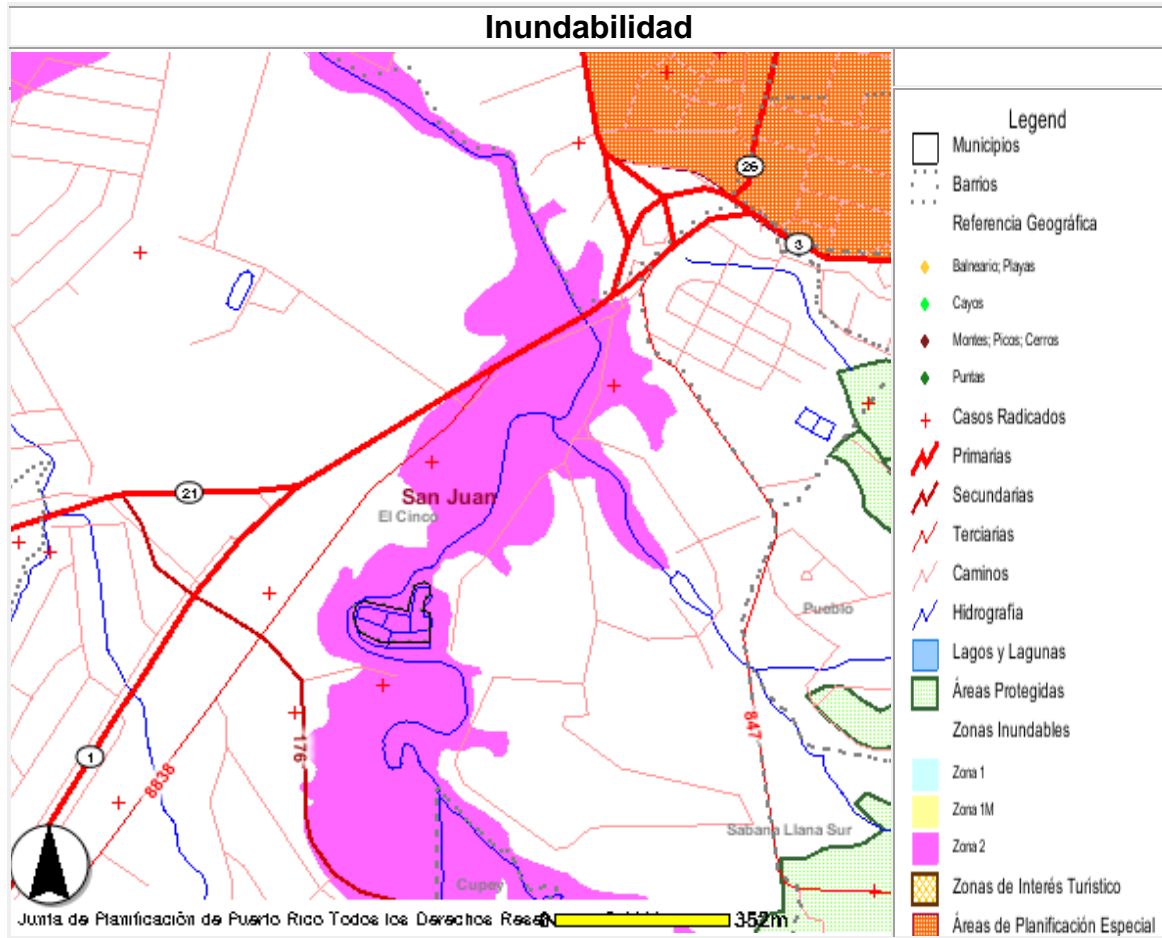


Figura 37. Mapa zona inundable Río Piedras Sector El Cinco.



Figura 38. Zona de amortiguamiento.

APÉNDICES

Apéndice 1
Hoja Cadena de Custodia



Autoridad de Acueductos y Alcantarillados
 Carr. 156, Parque Industrial Oeste, Bo. Cañabon, Caguas P. R.
 P.O. Box 5789, Caguas, P. R. 00725 Tel. (787) 286-5532 / 5542 Fax (787) 745-4707
 HOJA DE CADENA DE CUSTODIA PARA ANALISIS DE LABORATORIO

RE-AC032-01



*Cadena de custodia (Folder) número : 0807789

Estación de Muestreo: SAN JUAN Nombre del Colector: _____ Motivo de muestreo: RUTINA
 Sistema: - Fecha colección(M/D/A): _____ Iniciales: _____
 Programa de Muestreo: _____ Código: _____

PUNTO Canal 40 - - - / Hora: [] [] [] pH: [] [] [] Temp.: [] [] [] CI Res. Libre: [] [] [] CI Res. Total: [] [] [] O. Disuelto: [] [] []

Muestra # : 0807789001	Preservativo: H2SO4, pH<2, 4C	Muestra no colectada marque aquí	Envase : COD, Plastico	1/2 - gallon
Muestra # : 0807789002	Preservativo: Sin Preservante, 4°C	Muestra no colectada marque aquí	Envase : TSS, Plastico	1/2 - gallon
Muestra # : 0807789003	Preservativo: H2SO4, 4C	Muestra no colectada marque aquí	Envase : FOSFORO, Plastico	1 - L.
Muestra # : 0807789004	Preservativo: H2SO4, pH<2, 4C	Muestra no colectada marque aquí	Envase : AMONIA, Plastico	1 - L.
Muestra # : 0807789005	Preservativo: H2SO4, 4°C, pH <2	Muestra no colectada marque aquí	Envase : A & G, cristal	2 ea. de 1 - L.
Muestra # : 0807789006	Preservativo: HNO3, pH <2	Muestra no colectada marque aquí	Envase : METALES, Plastico	1 - L.

Condiciones muestra	Fecha/Hora	# Envase	Traspaso de Custodia	Condiciones muestra	Fecha/Hora	# Envase	Traspaso de Custodia
<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> Nevera C <input type="checkbox"/> Elect. <input type="checkbox"/> Piloto C <input type="checkbox"/> Comentarios Ver <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> Nevera C <input type="checkbox"/> Elect. <input type="checkbox"/> Piloto C <input type="checkbox"/> Comentarios Ver <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> Nevera C <input type="checkbox"/> Elect. <input type="checkbox"/> Piloto C <input type="checkbox"/> Comentarios Ver			<input type="checkbox"/> Entregado por: _____ <input type="checkbox"/> Guardado por: _____	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> Nevera C <input type="checkbox"/> Elect. <input type="checkbox"/> Piloto C <input type="checkbox"/> Comentarios Ver <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> Nevera C <input type="checkbox"/> Elect. <input type="checkbox"/> Piloto C <input type="checkbox"/> Comentarios Ver <input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> Nevera C <input type="checkbox"/> Elect. <input type="checkbox"/> Piloto C <input type="checkbox"/> Comentarios Ver			<input type="checkbox"/> Recibido por: _____ <input type="checkbox"/> Retirado por: _____ <input type="checkbox"/> Recibido por: _____ <input type="checkbox"/> Retirado por: _____ <input type="checkbox"/> Recibido por: _____ <input type="checkbox"/> Retirado por: _____

Controles de Campo: THM [] [] [] VOC [] [] [] 508 [] [] [] 525.2 [] [] [] Metales [] [] [] 531.1 [] [] []
 515.1 [] [] [] Hg [] [] [] 547 [] [] [] 548.1 [] [] [] 504.1 [] [] [] 552.2 [] [] [] Dioxina [] [] [] Otro : [] [] [] HAAs [] [] []

Comentarios: _____

*Complete los datos en letra de molde, escriba claro y no use corrector blanco.

Apéndice 2
Analisis en Minitab

One-way ANOVA: TW versus Fecha

Source	DF	SS	MS	F	P
Fecha	1	356.4	356.4	4.69	0.046
Error	16	1216.0	76.0		
Total	17	1572.4			

S = 8.718 R-Sq = 22.67% R-Sq(adj) = 17.83%

Individual 95% CIs For Mean Based on
Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI Lower	CI Upper
21908	9	16.433	12.329	12.0	18.0
22808	9	25.333	0.050	24.0	30.0

Pooled StDev = 8.718

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Fecha

Individual confidence level = 95.00%

Fecha = 21908 subtracted from:

Fecha	Lower	Center	Upper	CI Lower	CI Upper
22808	0.188	8.900	17.612	-7.0	14.0

One-way ANOVA: Antimony versus Fecha

Source	DF	SS	MS	F	P
F	1	0.322	0.322	1.00	0.374
Error	4	1.288	0.322		
Total	5	1.610			

S = 0.5675 R-Sq = 20.00% R-Sq(adj) = 0.00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
21908	3	0.4100	0.0000
22808	3	0.8733	0.8025

Pooled StDev = 0.5675

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of F

Individual confidence level = 95.00%

F = 21908 subtracted from:

F	Lower	Center	Upper
22808	-0.8231	0.4633	1.7498

One-way ANOVA: Arsenic versus Fecha

Source	DF	SS	MS	F	P
F	1	18.81	18.81	9.52	0.007
Error	16	31.62	1.98		
Total	17	50.43			

S = 1.406 R-Sq = 37.30% R-Sq(adj) = 33.38%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
21908	9	0.856	0.648
22808	9	2.900	1.879

Pooled StDev = 1.406

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of F

Individual confidence level = 95.00%

F = 21908 subtracted from:

F	Lower	Center	Upper
22808	0.640	2.044	3.449

One-way ANOVA: Cromo versus Fecha en Estación CTV

Source	DF	SS	MS	F	P
Fecha	1	7.04	7.04	2.03	0.227
Error	4	13.89	3.47		
Total	5	20.93			

S = 1.863 R-Sq = 33.65% R-Sq(adj) = 17.06%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
21908	3	1.400	0.000
22808	3	3.567	2.635

Pooled StDev = 1.863

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Fecha

Individual confidence level = 95.00%

Fecha = 21908 subtracted from:

Fecha	Lower	Center	Upper
22808	-2.057	2.167	6.391

One-way ANOVA: Selenium versus Fecha

Source	DF	SS	MS	F	P
Fecha	1	0.0121	0.0121	0.28	0.626
Error	4	0.1747	0.0437		
Total	5	0.1869			

S = 0.2090 R-Sq = 6.50% R-Sq(adj) = 0.00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI Lower	CI Upper
21908	3	0.6333	0.0751	0.5582	0.7084
22808	3	0.5433	0.2859	0.2574	0.8292

Pooled StDev = 0.2090

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Fecha

Individual confidence level = 95.00%

Fecha = 21908 subtracted from:

Fecha	Lower	Center	Upper
22808	-0.5638	-0.0900	0.3838

Apéndice 3
Reporte de los análisis para metales
En el laboratorio de la AAA

PROCEDENCIA	# MUESTRA	Fecha Analisis	BERILIO (µg/l)	CROMIO (µg/l)	MANGANESO(µg/l)	NIQUEL (µg/l)	ARSENICO(µg/l)	SELENIO (µg/l)	PLATA (µg/l)	CADMIO (µg/l)	ANTIMONIO (µg/l)	BARIO (µg/l)	TALIO (µg/l)
Mdl(µg/L)													
I D1 ESTACIONAMIENTO	806112008	4/26/08	0.026	1.4	0.39	0.85	0.18	0.23	0.047	0.31	0.41	1.5	0.12
I D2 ESTACIONAMIENTO	806112008	4/26/08	<0.026	<1.4	55.4	2.4	1.3	0.58	<0.047	<0.31	<0.41	77.9	<0.12
I D3 ESTACIONAMIENTO	806112008	4/26/08	<0.026	<1.4	55.80	2.60	1.40	0.74	<0.047	<0.31	<0.41	90.2	<0.12
II D1 CANAL 40	806116008	4/26/08	<0.026	1.8	56.2	2.9	1.3	0.72	0.049	<0.31	<0.41	88.2	<0.12
II D2 CANAL 40	806116008	4/26/08	<0.026	<1.4	51.4	2.3	1.1	0.48	<0.047	<0.31	<0.41	78.0	<0.12
II D3 CANAL 40	806116008	4/26/08	<0.026	<1.4	55.6	2.4	1.2	0.59	<0.047	<0.31	<0.41	86.2	<0.12
I D1 ESTACIONAMIENTO	807783006	4/26/08	<0.026	<1.4	60.0	2.9	1.4	0.72	<0.047	<0.31	<0.41	91.9	<0.12
I D2 ESTACIONAMIENTO	807783006	4/26/08	<0.026	3.1	172	4.8	6.5	0.77	0.03	<0.31	<0.41	73.3	<0.12
I D3 ESTACIONAMIENTO	807783006	4/26/08	<0.026	1.7	88.8	3.1	1.5	0.80	0.18	<0.31	<0.41	93	<0.12
ESTACIONAMIENTO	807783006	4/26/08	<0.026	1.5	239	4.0	5.3	0.61	0.12	<0.31	1.8	77.8	<0.12
II C1 CANAL 40	807789006	4/26/08	0.160	6.50	587	7.3	3.8	0.79	0.098	<0.31	<0.41	160	<0.12
II C2 CANAL 40	807789006	4/26/08	<0.026	<1.4	15.4	1.5	2.5	<0.23	<0.047	<0.31	5.7	27.3	<0.12
II C3 CANAL 40	807789006	4/26/08	0.066	2.8	496	4.3	1.6	0.61	0.05	<0.31	<0.41	112	<0.12
III E1 Canal Desague	807794006	4/26/08	<0.026	<1.4	102	3.0	1.5	0.87	0.056	<0.31	<0.41	101	<0.12
III E2 Canal Desague	807794006	4/26/08	<0.026	<1.4	178	3.8	1.9	0.51	0.19	<0.31	<0.41	108	<0.12
III E3 Canal Desague	807794006	4/26/08	<0.026	<1.4	163	3.3	1.5	0.72	0.032	0.32	<0.41	104	<0.12

Apéndice 4
Reporte de los análisis bacteriológicos
En el laboratorio de la AAA

BACTERIOLOGÍA

HOJA DE REPORTE PARA ESTUDIANTES

MÉTODO DE COLILERT - *Quanty Tray*

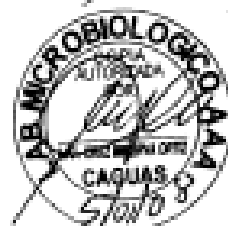
I

de toma de muestra: ^{Phk's} ~~2/18/08~~ 2/19/08
 e del colector: Estudiante *Petru Orozco*

Muestra	Dirección	Hora	(PP) Resultados			
			(PP) Amarillo	(PP) Fluorescencia	Coliformes Totales	E. coli
1	Muestra Directa		49/48	49/48	72419	72419
10	1/99		49/28	31/6	$\frac{547.5}{54,750^*}$	$\frac{28.3}{5,630^*}$
2	Muestra Directa		49/48	49/48	72419	72419
10	1/99		49/31	35/7	$\frac{648.8}{64,880^*}$	$\frac{70.3}{7,030^*}$
3	Muestra Directa		49/48	49/48	72419	72419
10	1/99		49/28	27/2	$\frac{547.5}{54,750^*}$	$\frac{40.4}{4,040^*}$

CONTROL DE CALIDAD						
E. Coli		Klebsiella		Pseudomona		Leyenda
FL	A	FL	A	FL	A	A: Amarillo
Pos	Pos	Neg	Neg	Neg	Neg	FL: Fluorescencia

- pozos grandes
 - pozos pequeños



HOJA DE REPORTE PARA ESTUDIANTES

MÉTODO DE COLILERT- *Quanta Tray*

II

Fecha de toma de muestra: *2/19/08* ~~2/19/08~~ *2/28/08*
 Nombre del colector: *Estudiante Félix Casas*

Muestra	Dirección	Hora	Resultados			
			(AP) Amarillo	(FP) Fluorescencia	Coliformes Totales	E. coli
E1	<i>Muestra Directa</i>		49/48	49/48	> 2419	> 2419
<i>4x60 ml</i>	<i>1/99</i>		49/32	30/7	$\frac{686.7}{68670}$ *	$\frac{55.4}{5540}$ *
E2	<i>Muestra Directa</i>		49/48	49/48	> 2419	> 2419
<i>4x60 ml</i>	<i>1/99</i>		49/34	30/2	$\frac{770.1}{77,010}$ *	$\frac{47.1}{4710}$ *
E3	<i>Muestra Directa</i>		49/48	49/48	> 2419	> 2419
<i>4x60 ml</i>	<i>1/99</i>		49/35	33/8	$\frac{461.1}{46,110}$ *	$\frac{65.7}{6570}$ *

E. Coli	Klebsiella		Pseudomona		Leyenda
	FL	A	FL	A	
<i>3</i>	<i>Pos</i>	<i>Pos</i>	<i>Neg</i>	<i>Neg</i>	FL: Fluorescencia

- pozos grandes
- pozos pequeños



Apéndice 5
Reporte de los análisis
en el laboratorio de la AAA

Fecha Muestreo	Punto de Muestreo	Colectada por	Número Muestra	Parámetro	Resultado	Unidades	Método	Fecha Análisis	Analista
2/19/2008	Estacionamiento UMET	F. Ocasio	806112001	TSS	6.8	mg/L	SM2540D	2/21/2008	AAA
			806112002	BOD	<2.0	mg/L	SM5210B	2/20/2008	AAA
			806112003	Conductividad	439	µmhos/cm	SM2510B	2/20/2008	AAA
			806112004	COD	27	mg/L	HACH8000	2/28/2008	AAA
			806112005	N+N	0.911	mg/L	EPA353.2	2/26/2008	AAA
			806112006	Fósforo	0.304	mg/L	EPA365.4	2/27/2008	AAA
	Canal 40	F. Ocasio	8061120010	Aceites y Grasas	<1.4	mg/L	EPA1664	2/28/2008	AAA
			806116001	TSS	5.2	mg/L	SM2540D	2/21/2008	AAA
			806116002	BOD	<2.0	mg/L	SM5210B	2/20/2008	AAA
			806116003	Conductividad	449	µmhos/cm	SM2510B	2/20/2008	AAA
			806116004	COD	21	mg/L	HACH8000	2/25/2008	AAA
806116005	N+N	1.2	mg/L	EPA353.2	2/26/2008	AAA			
8061160010	Aceites y Grasas	2.1	mg/L	EPA1664	2/28/2008	AAA			
8061160011	Fósforo	0.213	mg/L	EPA365.4	2/27/2008	AAA			

Informe Análisis Muestreo Especial

Requerido por: Félix Ocasio

Fecha Muestreo	Punto de Muestreo	Colectada por	Número Muestra	Parámetro	Resultado	Unidad	Método	Fecha Análisis	Analista
2/28/2008	Estacionamiento UMET	F. Ocasio	807783001	TSS	31	mg/L	SM2540D	3/6/2008	AAA
			807783002	COD	36	mg/L	HACH8000	3/13/2008	AAA
			807783003	Fósforo	14	mg/L	EPA365.4	3/7/2008	AAA
			807783005	Aceites y Grasas	0.125	mg/L	EPA1664	3/6/2008	AAA
			807789001	COD	7.1	mg/L	HACH8000	3/7/2008	AAA
2/28/2008	Canal 40	F. Ocasio	807789002	TSS	50	mg/L	SM2540D	3/7/2008	AAA
			807789003	Fósforo	6.0	mg/L	EPA365.4	3/7/2008	AAA
			807789005	Aceites y Grasas	--	mg/L	EPA1664	3/6/2008	AAA
			807794001	COD	5.2	mg/L	HACH8000	3/13/2008	AAA
			807794002	TSS	0.389	mg/L	SM2540D	3/6/2008	AAA
2/28/2008	Desague Estac.	F. Ocasio	807794003	Fósforo	1.5	mg/L	EPA365.4	3/7/2008	AAA
			807794005	Aceites y Grasas	16	mg/L	EPA1664	3/6/2008	AAA
			807794005	Aceites y Grasas	19	mg/L	HACH8000	3/13/2008	AAA
2/28/2008	Desague Estac.	F. Ocasio	807794003	Fósforo	0.131	mg/L	EPA365.4	3/7/2008	AAA
			807794005	Aceites y Grasas	3.7	mg/L	EPA1664	3/6/2008	AAA
			807794005	Aceites y Grasas	3.7	mg/L	EPA1664	3/6/2008	AAA

APENDICE 6
Fotografías:
Estaciones de muestreo EU



Apéndice 7
Fotografías:
Estaciones de muestreo CTV



Apéndice 8
Fotografías:
Estaciones de muestreo DE



Apéndice 9
Data Minitab

Estacion	Fecha	TR	CO	DO	COD	N+N	FO	TSS	CF	CT	GyA	Sb	As	Ba	Be	Cd	Cr	Ni	Mg	Ag	Se	Talio	flujo	TA	TW	pH
aEU	21908	1	428	7.6	27	0.911	0.304	6.8	5630	54750	1.4	0.41	1.3	77.9	0.026	0.31	1.40	2.4	55.4	0.047	0.58	0.12	8.9	28	25	7.87
aEU	21908	2	425	7.4								0.41	1.4	90.2	0.026	0.31	1.40	2.6	55.8	0.047	0.74	0.12	8.9	28	25	7.85
aEU	21908	3	429	7.7								0.41	1.3	88.2	0.026	0.31	1.80	2.9	56.2	0.049	0.72	0.12	8.9	28	25	7.96
aEU	22808	1	423	6.9	14	0.125	31.0	5540	68670	7.1	0.41	6.5	73.3	0.026	0.31	3.10	4.8	172	0.03	0.77	0.12	76	26.1	25.3	7.8	
aEU	22808	2	420	7								0.41	1.5	93	0.026	0.31	1.70	3.1	88.8	0.18	0.8	0.12	76	26.1	25.3	7.89
aEU	22808	3	437	7.1								1.80	5.3	77.8	0.026	0.31	1.50	4	239	0.12	0.61	0.12	76	26.1	25.3	7.84
CTV	21908	1	398	7.5	21	1.200	0.213	5.2	4040	54750	2.1	0.41	1.1	78	0.026	0.31	1.40	2.3	51.4	0.047	0.48	0.12	8.5	26.1	24.3	7.75
CTV	21908	2	401	7.5								0.41	1.2	86.2	0.026	0.31	1.40	2.4	55.6	0.047	0.59	0.12	8.5	26.1	24.3	7.8
CTV	21908	3	390	7.6								0.41	1.4	91.9	0.026	0.31	1.40	2.9	60	0.047	0.72	0.12	8.5	26.1	24.3	7.45
CTV	22808	1	441	7.2	50	0.389	6.0	4710	77010	1.5	0.41	3.8	160	0.160	0.31	6.50	7.3	587	0.098	0.79	0.12	34	26.1	25.3	7.68	
CTV	22808	2	420	6.9				5.2				5.70	2.5	27.3	0.026	0.31	1.40	1.5	15.4	0.047	0.23	0.12	34	26.1	25.3	7.7
CTV	22808	3	449	7.2								0.41	1.6	112	0.066	0.31	2.80	4.3	496	0.05	0.61	0.12	34	26.1	25.3	7.69
bDE	22808	1	444	6.2	16	0.131	19.0	6570	46110	3.7	0.41	1.5	101	0.026	0.31	1.40	3	102	0.056	0.87	0.12		28	25.4	7.9	
bDE	22808	2	430	6.5								0.41	1.9	108	0.026	0.31	1.40	3.8	178	0.19	0.51	0.12		28	25.4	7.89
bDE	22808	3	397	6.9								0.41	1.5	104	0.026	0.32	1.40	3.3	163	0.032	0.72	0.12		28	25.4	7.6
bDE	21908	1	0	0	0	0.000	0.000	0.0	0	0	0	0.00	0	0	0.000	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
bDE	21908	2	0	0	0	0.000	0.000	0.0	0	0	0	0.00	0	0	0.000	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
bDE	21908	3	0	0	0	0.000	0.000	0.0	0	0	0	0.00	0	0	0.000	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0