

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

**USO DE LA SAL MONOSÓDICA DEL ÁCIDO
METILARSÓNICO (MSMA) EN LOS CAMPOS DE GOLF:
EVALUACIÓN DE PELIGRO**

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

Por
Carlos J. Rivera Núñez

19 de enero de 2011

DEDICATORIA

*Quiero dedicar este trabajo a mi
esposa porque gracias a ella ésto fue posible y
a mis padres por su ayuda incondicional y empuje.*

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a Dios por brindarme todas las herramientas para concluir esta etapa de estudio. Quiero agradecer a todas las personas que tomaron de su tiempo y brindaron de su ayuda durante el proceso del estudio. Agradezco a mi familia por brindarme su apoyo y al Dr. Nefthalí García por su dirección. Extiendo el agradecimiento al comité por sus comentarios, a todos los profesores y personal de oficina de la Escuela de Asuntos Ambientales por su ayuda. Agradezco al programa de becas e internados, en especial a la Fundación José Jaime Pierluisi por dejarme entrar en su familia y adoptarme como uno de sus estudiantes becados; gracias por confiar en mí. De no haber tenido la ayuda de cada uno de ellos este estudio no hubiera sido posible.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE APÉNDICES	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
Trasfondo del problema	1
Problema de estudio	7
Justificación del estudio	8
Preguntas de investigación	9
Meta	10
Objetivos	10
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	11
Trasfondo histórico	11
Propiedades del arsénico.....	16
¿Dónde se encuentra el arsénico?.....	17
Exposición	18
Toxicidad	21
Efectos del arsénico	22
Tratamiento, prevención y detección	25
Estudios de arsénico	28
MSMA	30
Estudio de casos	33
Marco legal	41
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	60
Área de estudio	60
Periodo de estudio	61
Diseño metodológico	61
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
LITERATURA CITADA	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Ubicación geográfica de los puntos de muestreo. Información del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) del lugar de las muestras.....	83
Tabla 2.	Datos obtenidos del primer grupo de muestreo:.....	84
Tabla 3.	Datos obtenidos del segundo grupo de muestreo.....	85
Tabla 4.	Concentración total de arsénico en muestras de agua de riachuelo y pozos poco profundos	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Foto aérea del segmento de estudio: Río Bayamón y Río Bayamón Golf Course	88
Figura 2.	Cuenca hidrográfica del Río Bayamón	89
Figura 3.	Descarga, pies cúbicos por segundo del Río Bayamón para las fechas de 17 de julio de 2010 hasta el 21 de agosto de 2010	90
Figura 4.	Descarga, pies cúbicos por segundo del Río Bayamón para las fechas de 17 de julio de 2009 hasta el 21 de agosto de 2009	91
Figura 5.	Descarga, pies cúbicos por segundo del Río Bayamón para las fechas de 17 de agosto de 2010 hasta el 17 de septiembre de 2010	92
Figura 6.	Descarga, pies cúbicos por segundo del Río Bayamón para las fechas de 17 de agosto de 2009 hasta el 17 de septiembre de 2009	93
Figura 7	Localización de los riachuelos y los pozos de muestreo de Little Lake Jackson	94

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1.	Botellas de muestreo rotuladas	96
Apéndice 2.	Localización del punto 1	97
Apéndice 3.	Localización del punto 2	98
Apéndice 4.	Localización del punto 3	99
Apéndice 5.	Localización del punto 4	100
Apéndice 6.	Localización del punto 5	101
Apéndice 7.	Cadena de custodia provista por EQ Lab	102
Apéndice 8.	Certificación de EQ Lab correspondiente al primer grupo de muestras analizadas	103
Apéndice 9.	Resultado del análisis de la muestra del punto 1	104
Apéndice 10.	Resultado del análisis de la muestra del punto 2	105
Apéndice 11.	Resultado del análisis de la muestra del punto 3	106
Apéndice 12.	Resultado del análisis de la muestra del punto 4	107
Apéndice 13.	Resultado del análisis de la muestra del punto 5	108
Apéndice 14.	Certificación de EQ Lab correspondiente al segundo grupo de muestras analizadas	109
Apéndice 15.	Resultado del análisis de la muestra del punto 1	110
Apéndice 16.	Resultado del análisis de la muestra del punto 2	111
Apéndice 17.	Resultado del análisis de la muestra del punto 3	112
Apéndice 18.	Resultado del análisis de la muestra del punto 4	113
Apéndice 19.	Resultado del análisis de la muestra del punto 5	114

RESUMEN

Realizamos un estudio sobre el uso de hierbidas con componentes arsénicos en los campos de golf y cómo éstos representan un peligro para los cuerpos de aguas aledaños, al igual que la salud humana. Nos enfocamos en el uso de MSMA, un hierbicida organoarsénico utilizado con frecuencia en los campos de golf por su efectividad en el manejo de malas hierbas. Seleccionamos un segmento del Río Bayamón adyacente a un campo de golf como área de estudio. El método empleado para el desarrollo del mismo fue el análisis de arsénico total en el agua. Como marco de referencia, usamos la concentración permitida por la Agencia de Protección Ambiental (U.S. EPA). Tomamos 10 muestras de agua divididas en dos grupos de cinco, con un tiempo de diferencia de un mes entre cada grupo. Establecimos cinco puntos de muestreo a través del segmento del río. La concentración de arsénico en el agua depende del tipo de suelo, el tiempo que se lleve utilizando el hierbicida y la cantidad aplicada del mismo en el sustrato. Los análisis demostraron que la concentración de arsénico en el agua se encontraba bajo el límite de detección en todas las muestras. Este hallazgo indica que en ese momento la concentración de arsénico en el agua no presenta un peligro para la salud humana o el ambiente. Dicho resultado no significa que el cuerpo de agua está exento de presentar cambios en su composición química. El arsénico es un contaminante acumulativo. Como consecuencia directa, mientras más se utilice mayor es el riesgo de contaminaciones futuras. Por consiguiente, es de suma importancia el continuo monitoreo del agua para determinar la concentración de arsénico, junto con el análisis de suelo como posible centro de almacenaje del contaminante. Este estudio pretende concienzar al lector y servir de fuente informativa sobre el peligro futuro que conlleva el uso excesivo de hierbidas, tanto para el ambiente como para la comunidad en general.

ABSTRACT

This study focuses on the use of organic arsenical herbicides on golf courses and its effects on surface water and human health. From the variety of organic arsenical herbicides available, we selected the MSMA since it is one of the most frequently used in golf courses. It controls the growth of bad weeds by killing them with a small effect on the grass. We chose a segment of Río Bayamón that runs next to the Golf Course for conducting our investigation. The method used for the development of this study was the analysis of total arsenic on surface water. We also compared the concentration with the one determined by the Environmental Protection Agency (U.S. EPA). We took 10 samples of water from five sample points established on the river segment. The sampling process was divided into two groups of five samples each and with a time difference of one month between each sampling. The concentration of arsenic in the water is determined by the type of soil, the amount of time the herbicide was used and the quantities applied on the substrate. Every sample analyzed demonstrated that the concentration of arsenic on surface water was below the detection limit. From this result we can conclude that the concentration of arsenic at that moment does not present risks for human health or the environment. On the other hand, this doesn't mean that the river is exempt of chemical changes. If the use of arsenical herbicides continues, the risk of contamination will grow due to the accumulative effect of arsenic on the soil. It is of great importance to constantly test the water source and to analyze the soil to prevent future contamination. This study pretends to awaken the reader's intellect and to become a source of information regarding the potential risks for human health and the environment associated to the excessive use of herbicides.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del problema

Todo ser viviente depende del agua para sobrevivir, por lo cual la pureza y la calidad del valioso líquido son factores determinantes para su supervivencia. A pesar que es un recurso renovable, el agua debe manejarse y protegerse eficazmente. De lo contrario, su calidad se degrada y se convierte en un recurso no renovable. El agua es un recurso natural de vital importancia para la vida, el crecimiento y el desarrollo de los pueblos. El abasto de agua para el consumo general proviene de las aguas superficiales y subterráneas y su uso se emplea en un 70 % para el área residencial, en un 13% para el comercial, en un 10% para el gobierno, en un 4% para el industrial y en un 3% para los hidrantes (DRNA, 2008a). Los ríos, los embalses y las cuencas son las fuentes básicas del agua, donde son recolectadas por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico (AAA) para su tratamiento y distribución. Los usos del agua deben garantizar que al devolverse al ecosistema ésta sea de una calidad y unas características físicas que no deben interferir con otros usos de las aguas abajo del lugar donde ocurre la actividad (DRNA, 2008b).

El uso del agua debe asegurar que su explotación no conlleve al deterioro del recurso. En la actualidad, el sector doméstico presenta una problemática en cumplir con la demanda del agua. El Departamento de la Vivienda y la AAA han identificado aproximadamente ciento cuarenta y una comunidades con deficiencias crónicas en el servicio de agua potable (DRNA, 2008b). La demanda de este preciado líquido aumenta

como consecuencia del crecimiento poblacional y el desparramiento urbano. Por tal motivo, la contaminación del agua en los ríos, las quebradas y los embalses es incontrolable. Las escorrentías, tanto las rurales como las urbanas, son parte de las fuentes de contaminación de los ríos. Este hecho se debe a su trayectoria antes de llegar al cuerpo de agua.

Todo líquido y sólido que son arrastrados por el agua que proviene de cualquier fuente, ya sea lluvia u otra fuente, se convierten en contaminantes que alteran la calidad del agua del río. Algunos ejemplos de contaminantes que provienen de escorrentías son: los aceites de motor de autos, los detergentes, los plaguicidas y otros (Palaniappan, Gleick, Allen, Cohen, Christian-Smith, & Smith, 2010). Dichos productos se utilizan comúnmente en los hogares. Por otro lado, las fábricas que tienen algún tipo de descarga a los ríos se identifican como factores contaminantes de las aguas. Los líquidos que se originan de los procesos de manufactura, que no son tratados adecuadamente, sin duda alguna, contaminan el agua.

La utilización de ciertos productos químicos es esencial para el cuidado preventivo de áreas específicas en el hogar, la agricultura y los lugares de interés turístico. Existe una amplia gama de dichos productos que se usan comúnmente. Algunos de éstos son los siguientes: los hierbicidas para el manejo del césped, los plaguicidas para erradicar plagas, los detergentes y los suavizantes para la ropa. Los hierbicidas se han convertido en herramientas fundamentales para los consumidores ya que facilitan la eliminación de las plagas indeseadas (Palaniappan et al., 2010). Éstos juegan un papel muy importante para la producción de los frutos y el mantenimiento de las áreas verdes, tanto en el ámbito agrícola como de jardinería.

El uso de hierbidas contribuye a la calidad visual de la flora ornamental de lugares de interés turístico o recreativo, tales como los hoteles y los campos de golf. Estos compuestos químicos ejercen una influencia directa en el aumento de la producción de frutos. Por tal razón, la ausencia de los hierbidas afecta significativamente a las grandes empresas dedicadas al turismo, la recreación y el cultivo. Como consecuencia directa, se desarrollan nuevas técnicas para el manejo de plagas en las áreas agrícola y hotelera. La función efectiva de esta herramienta se conoce y divulga al momento de la compra. Por el contrario, los efectos nocivos no son señalados de igual manera.

El hierbida sal monosódica del ácido metilarsónico (MSMA, por sus siglas en inglés) es uno de tipo organoarsénico. Dicho producto está compuesto por 35.43% de la sal monosódica del ácido metilarsónico y el restante 64.57% de ingredientes inertes (Helena Chemical Company, 2005). El mismo se utiliza para la cosecha de algodón y el mantenimiento de múltiples tipos de césped. Entre éstos podemos señalar los campos de golf, los jardines de los hogares y las áreas recreativas (U.S. EPA, 2006). El MSMA se utiliza para el control de diversos tipos de césped. Varios de estos ejemplos son: Bahiagrass, Barnyardgrass, Chickweed, Smooth and Large Crabgrass, Dallisgrass, Nutsedge, Sandbur y Wood Sorrel. El MSMA se usa en los céspedes anteriormente mencionados debido a su función de selectividad. Según Helena Chemical Company (2005), este hierbida produce una leve descoloración o quemado en el césped deseado pero no afecta su crecimiento si el mismo está en buenas condiciones.

El MSMA, como todo producto químico, puede causar efectos nocivos. Este hierbida se considera peligroso si se ingiere y puede causar irritación de la nariz, la garganta y la piel (U.S. EPA, 2006). Las personas en contacto con dicho producto deben

seguir medidas específicas de protección. El U.S. EPA (2005) indica que las medidas de seguridad incluyen el uso de las camisas de manga larga, los pantalones largos, los guantes impermeables, las medias, los zapatos resistentes a productos químicos y las gafas protectoras (U.S. EPA, 2005). Además, el personal que interviene en la mezcla y manejo para el embarque del MSMA debe utilizar un delantal. Para el uso de este hierbicida se mezcla una cantidad de cuatro pintas o 1.9 litros (L) en cuarenta galones de agua que equivalen a 151.4 L. Luego de realizada la dilución del hierbicida, éste se aplica directamente al césped no deseado. En esta aplicación se debe evitar el contacto con el agua de lluvia, irrigación o algún cuerpo de agua cercano para impedir la contaminación (Helena Chemical Company, 2005).

El arsénico (As) es un elemento presente en la atmósfera, el suelo, las rocas, las aguas naturales y los organismos (Matschullat, 2000). Su movilización ocurre mediante la combinación de procesos naturales como las reacciones de meteorización tanto química como física, las actividades biológicas y las emisiones volcánicas. La mayoría de los problemas causados por el arsénico son el resultado de la movilización por condiciones naturales (Welch & Stollenwerk, 2002). Además, el ser humano produce un impacto adicional en el ambiente a través de la minería, el uso de combustibles fósiles y la utilización de los plaguicidas con componentes arsénicos (Smedley & Kinniburgh, 2002). En el año 2003, los países con la producción más alta de compuestos de arsénico eran China, Chile y Perú. Por otra parte, Estados Unidos era el principal y mayor consumidor de compuestos de arsénico para esta misma fecha (ATSDR, 2007).

Luego que el arsénico se libera al ambiente, éste entra a las aguas subterráneas o superficiales donde una serie de procesos afectan su transporte y destino final, según lo

establece el Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007). Estos procesos incluyen las reacciones de oxidación y reducción, transformación y biotransformación. Los factores que alteran estas reacciones son: el estado de oxidación del arsénico, el potencial de oxidación - reducción, el pH, la concentración de hierro, los sulfuros metálicos, los sulfitos, la temperatura, la salinidad y la distribución y composición de la biota (ATSDR, 2007). Una característica determinante de la contaminación por arsénico se define como su capacidad de adherirse a la fase sólida del suelo. Esta cualidad indica que dicho elemento se acumula progresivamente con el paso del tiempo de manera proporcional a su utilización (Whitmore, Riedinger-Whitmore, Smoak, Kolasa, Goddard & Bindler, 2008).

Las formas predominantes del arsénico en el agua son las siguientes: arsenato con número de oxidación cinco (As(V)) y arsenito que posee un número de oxidación de tres (As(III)). La toxicidad relativa del arsénico depende en su mayoría de su forma orgánica o inorgánica, solubilidad, estado físico y pureza, razón de absorción y eliminación, y de su estado de oxidación (ATSDR, 2007). Dicho estado químico aparenta ser el factor más importante que determina la prolongación y la trasportación del arsénico en los sistemas de tratamientos de agua (U.S. EPA, 2000a). El césped es uno de los sistemas bióticos de mayor manejo en las zonas urbanas y en las áreas donde mantiene un lugar de suma importancia. El mantenimiento intenso de los campos de golf requiere la utilización de diferentes tipos de productos químicos que ayudan a combatir las malas hierbas y las plagas que afectan la calidad del césped. La razón primordial es que el uso del césped para el deporte de golf conlleva una rigurosidad impecable que requiere una uniformidad en la altura del césped, densidad y valor estético (Cornejo, Celis, Domínguez, Hermosín

& Cornejo, 2007a). Por consiguiente, se le aplica mayor cantidad de herbicidas en comparación a otros tipos de césped (Wu, Liu, Yates, Green, Pacheco, Gan & Yates, 2002). Como resultado, los campos de golf se consideran zonas de alto riesgo de contaminación en comparación con los suelos utilizados para la agricultura (Suzuki, Kondo, Yaguchi, Maki & Suga, 1998; Armbrust & Peeler, 2002).

En el año 2008, se publicó un estudio realizado en el estado de la Florida sobre el arsénico en los lagos cercanos a los campos de golf. Los especialistas en ciencias ambientales responsables de dicho estudio son: Thomas Whitmore, Melanie Riediger-Whitmore, Joseph Smoak, Keith Kolasa, Ethan Goddard y Richard Bindler. El objetivo principal fue determinar y documentar la presencia de arsénico y si la misma excede los límites permitidos por la Agencia de Protección Ambiental (U.S. EPA, por sus siglas en inglés). El estudio se llevó a cabo específicamente en Little Lake Jackson, localizado en Highlands County, Fl y se analizaron los sedimentos y el agua del lago. Dicho lago está adyacente a tres campos de golf, cuyas escorrentías desembocan en el cuerpo de agua. Los hallazgos revelaron que la concentración de arsénico en los sedimentos representa una posible amenaza para la fauna de la zona bentónica. Esta zona, que se encuentra en el fondo del lago, sirve de hábitat para los organismos que toleran temperaturas frías y niveles bajos de oxígeno (Chiras, 2001).

El agua de la superficie de Little Lake Jackson proviene de un área topográfica de mayor elevación al oeste del mismo, donde se encuentran ubicados los campos de golf y las residencias. En agua, las concentraciones más altas de arsénico encontradas en el estudio, están presentes en los pozos de muestreo y en un riachuelo ubicados entre los campos de golf y el lago. Por otra parte, la concentración de arsénico en los pozos de

muestreo localizados en el perímetro distal del campo de golf, se encontró por debajo de los límites de detección. Mientras que en los sedimentos, la mayor concentración del arsénico presente en Little Lake Jackson se encuentra en el fondo del lago.

Problema de estudio

Las aguas del Río Bayamón se utilizan para abastecer varias comunidades de Guaynabo, San Juan, Bayamón, Cidra, Gurabo, Caguas y Juncos (DRNA, 2008c). En su trayectoria hacia la desembocadura, el Río Bayamón entra en contacto con múltiples fuentes de contaminación. El desarrollo y los avances económicos y tecnológicos que facilitan la vida diaria representan dos de los factores de mayor impacto sobre el ambiente y la calidad del agua. El Río Bayamón es uno de los más afectados en Puerto Rico debido a la deforestación, las industrias pecuarias, las aguas usadas de comunidades sin alcantarillado, los pozos sépticos, el incremento poblacional y el desparramiento urbano. Otra fuente de posible contaminación para este río es el campo de golf localizado en las cercanías de su ribera.

El uso de los hierbicidas es imprescindible para el manejo del césped. Dichos productos químicos promueven el mantenimiento y la uniformidad del mismo. En los campos de golf se emplea una variedad de fertilizantes y plaguicidas. El césped requiere cantidades elevadas de estos productos ya que juega un papel determinante en la calidad del juego. Esta peculiaridad del deporte de golf pone en peligro a todo ecosistema que lo rodea. Los hierbicidas, como el MSMA, se utilizan frecuentemente en los campos de golf debido a su efectividad para eliminar malas hierbas. El mismo produce leves efectos adversos significativos en el césped (Helena Chemical Company, 2005).

El MSMA es un hierbicida de alta movilidad al entrar en contacto con el agua. Por tal motivo, al momento de aplicar este hierbicida se debe evitar regar el césped. La interacción con el agua lo convierte en un lixiviado que penetra las aguas superficiales y subterráneas. Como resultado directo, el MSMA al entrar en contacto con el agua, altera su calidad. Debido a la constante utilización de MSMA en los campos de golf, éste representa una amenaza a los cuerpos de agua circundantes. Es por ello que este estudio va dirigido a analizar el peligro que presenta al Río Bayamón el uso de este hierbicida.

Justificación del estudio

Los problemas ambientales asociados al uso de los plaguicidas de alta movilidad en la agricultura y en las zonas urbanas causan preocupación ya que sus compuestos se detectan en aguas subterráneas y superficiales (Hoffman, Capel & Larson, 2000). Por lo tanto, existe una gran probabilidad de contaminación por el uso de hierbicidas en el cauce del Río Bayamón. La calidad del agua de este río se ve afectada debido al uso de hierbicidas, como MSMA, en el campo de golf adyacente al río. La degradación de la calidad del agua produce un impacto negativo en su belleza natural. De igual manera, la flora y la fauna disminuyen significativamente al contaminarse el hábitat. La población que consume los abastos de agua provenientes de este río tiene una alta probabilidad de ver su salud afectada. La preocupación surge ya que la exposición a bajos niveles de arsénico en el agua potable durante un periodo de tiempo prolongado puede causar cáncer en la piel y en distintos órganos del cuerpo (Moreno, 2007; Castro de Esparza, 2006; Greenwood & Earnshaw 1997). Por consiguiente, la población no puede utilizar el agua y el valor recreativo se afecta. A su vez, la función de transportar nutrientes del río se

perjudica al alterar la composición química del agua. Tanto la presencia como el aumento significativo de arsénico en el agua indican que existe un contaminante que se origina de una fuente dispersa no identificada. Algunas de éstas pueden ser los campos de golf, los jardines de los hogares y las áreas recreativas (U.S. EPA, 2006).

Se ha demostrado que el arsénico es un elemento tóxico para el ser humano por sus características cancerígenas. Además, se ha determinado que su presencia en los ríos cercanos a los campos de golf tiene como fuente el uso de hierbicidas que tengan este tóxico. Por consiguiente, estos campos localizados en las riberas o cercanos a cuerpos de agua presentan una amenaza real para las comunidades que utilizan sus aguas. Las aguas del Río Bayamón y todos los ríos cercanos a un campo de golf que utilice hierbicidas, como el MSMA, están en peligro de que sus aguas sean contaminadas. De esto ocurrir, diversos ríos con valor ecológico mayor al del Río Bayamón podrían presentar una disminución de su hábitat y provoca que sus aguas no sean saludables para el público.

Preguntas de Investigación

1. ¿Existe presencia del arsénico en el agua superficial del Río Bayamón?
2. ¿La concentración cumple con los parámetros establecidos por la EPA?
3. ¿El uso del hierbicida MSMA en el campo de golf de Bayamón es una fuente del contaminante arsénico en el agua?

Meta

Determinar si el uso del MSMA en el campo de golf contribuye a la presencia de arsénico en las aguas superficiales del Río Bayamón y si esto representa un peligro para la comunidad.

Objetivos

1. Determinar la concentración de arsénico en el agua del Río Bayamón.
2. Determinar si hay un aumento en la concentración de arsénico por el uso del MSMA y si representa un peligro ambiental.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

Los ríos y las quebradas son las arterias principales de las cuencas hidrográficas para el transporte del agua, los nutrientes, los minerales, la materia orgánica, los sedimentos y los organismos de las montañas a los valles y los estuarios (Lugo, García, Nunci & Ruiz, 1996). La calidad del agua en los ríos es de suma importancia por motivo de su función específica para las distintas biotas. Todos los ecosistemas con los cuales el río interactúa en su trayectoria hacia el mar se perjudican cuando la calidad del agua se ve afectada. La determinación del uso de las aguas para el consumo o el disfrute, depende de su calidad. Para identificar la calidad se utilizan varios parámetros como lo son: la concentración de oxígeno disuelto (OD), la temperatura, la acidez (pH), la cantidad de dióxido de carbono, las bacterias (principalmente *E. coli*), los sólidos suspendidos, los minerales disueltos, los metales pesados y la diversidad y la densidad de los organismos. Los indicadores de la pobre calidad del agua que podemos observar son los siguientes: la turbidez, el color, la alta salinidad, o la presencia de metales pesados, bacterias fecales o trihalometanos (Lugo et al.,1996).

En todas partes del mundo, los ríos contribuyen al desarrollo y el bienestar de la comunidad, la población o la nación que los rodea. Los mismos se consideran de gran relevancia ya que tienen funciones específicas. En primer lugar, éstos sirven como vía de comunicación y/o transportación entre territorios. Por tal razón, se facilita el intercambio de los bienes y la comunicación entre sí. En segundo lugar, dichos cuerpos de agua se

utilizan como delimitadores geográficos como el Río Bravo o Río Grande que sirve de frontera natural entre Texas y Méjico.

Los ríos son pilares en la formación de civilizaciones. El Río Nilo fertiliza las tierras utilizadas para el cultivo que proveen el sustento a la población de Egipto. Por lo tanto, la presencia de dicho cuerpo de agua marca el desarrollo de la civilización egipcia y por ende, su historia. Por otro lado, el Río Mississippi es un ejemplo de la influencia directa que estos sistemas acuáticos ejercen sobre la población. Este río es fundamental para el comercio. La historia del Río Bayamón no se considera tan relevante como la del Río Nilo, tampoco divide grandes fronteras como el Río Bravo y mucho menos posee los atributos económicos del Río Mississippi. Sin embargo, este río es de suma importancia para la comunidad e historia de los bayamonenses y su ciudad.

Anteriormente, el Río Bayamón facilitaba la comunicación entre los municipios de Bayamón y San Juan. En este momento histórico no existían las calles en la ciudad de Bayamón. La transportación se llevaba a cabo mediante una yola que salía del embarcadero y llegaba a la bahía por Palo Seco. Al regresar de San Juan, entraba por el caño de San Fernando de Cataño y desembarcaba al final de la ciénaga en la Hacienda Santa Ana (Enciclopedia de Puerto Rico, 2010). El río fue la vía principal de acceso hasta el 1852 cuando se inauguró la carretera desde la punta de Cataño hasta Bayamón. Según Jiménez (1960), la economía del pueblo de Bayamón aumentó gracias a la carretera ya que lo convirtió en un punto de enlace entre San Juan y los pueblos limítrofes.

El Río Bayamón tiene una cuenca de 26 millas (mi) o 40 kilómetros (km) de largo y un área de drenaje de 105 millas cuadradas (mi²). El mismo nace en las montañas de

Cidra y desemboca en la Bahía de San Juan. En su trayectoria por el territorio de Bayamón, recibe las aguas del Río Minillas y de las quebradas Bello Gallón, Callores, El Marques, Magueyes, Las Peñas y Santa Olaya (Enciclopedia de Puerto Rico, 2010). Desde el año 1901 al año 1920, existieron industrias de abono, ropa y calderos de aluminio en Bayamón. Para el año 1960, la lista de industrias incluía: los muebles, los colchones, los bloques, el acetileno, el hielo, el mantecado, los botones, los sombreros y el mármol, entre otros productos (Jiménez, 1960). Con el paso del tiempo, la economía del municipio cambió de agrícola a comercial e industrial.

Para la década de los años 1960 se llevó a cabo la canalización del Río Bayamón junto al Río Hondo. Ésta surgió como una medida estructural para el control de las inundaciones en los sectores de Levittown en Toa Baja y comunidades en Cataño (Negrón, 2008). El propósito de la canalización fue controlar el flujo del agua disminuyendo los puntos de interrupción en su llegada al mar. De tal manera, se estableció un camino más directo, se aumentó la rapidez en su llegada y se drenaron las aguas arriba del río. Por consiguiente, las comunidades que se encuentran aguas arriba pueden evitar inundaciones cuando ocurren episodios de lluvia continua y de gran escala.

De acuerdo a Ruiz Marrero (2004), el enfoque estructural que consiste en la construcción de canales y represas está basado en la idea de sacar el agua de la gente. La canalización de los ríos afecta directamente a los humedales, los estuarios, los valles, los lagos, los arrecifes y las montañas. La acción de canalizar los ríos disminuye la fertilidad de los suelos, pues evita que éstos reciban los nutrientes esenciales. Por otro lado, dichos nutrientes entran en contacto con el suelo cuando el río sale de sus cauces. Debido a la ausencia de los nutrientes esenciales, el suelo pierde su cualidad agrícola y se convierte

en llanos que pueden ser urbanizados. Como resultado directo, surge el desparramamiento urbano que causa la contaminación de los ríos por las escorrentías que fluyen de varias fuentes. A su vez, las aguas costaneras se ven afectadas por todos los sedimentos que el río deposita en su trayectoria al mar. La contaminación que reciben las costas produce un impacto ambiental en los arrecifes, los humedales y los estuarios.

En Puerto Rico, mientras más se invierte en canalizaciones, más pérdidas por inundaciones se registran. La canalización no protege el cien por ciento de las inundaciones. Por tal motivo, el tiempo de protección para las comunidades depende de la magnitud de la construcción. Las canalizaciones de las quebradas se realizan con los fondos municipales o estatales. Éstas protegen contra inundaciones por un periodo de cinco a 20 años. Los ríos principales se canalizan con fondos federales para una protección de inundaciones por 100 años, aproximadamente (Lugo et al., 1996). Dicha protección no está garantizada.

La canalización del Río Kissimmee en la Florida conlleva una reducción de unos 150km de longitud a unos 64km, 70 metros (m) de ancho y 10m de profundidad. Este río se convirtió de un caudal pasivo a uno que drena rápidamente las aguas arriba. Por tal razón, ocurre un cambio en el área. El hábitat del área se consideraba rico en diversidad, más luego cambió a uno escaso de vida silvestre. Muchos científicos señalan esta canalización como uno de los desastres más grandes en el área ambiental. Dicha canalización destruyó tres cuartas partes de las 16 hectáreas (ha) de ciénaga que sirven de hábitat para miles de aves marinas (Chiras, 2001b).

La población del Municipio de Bayamón exhibió un crecimiento dramático entre los años 1950 y 2000. En el último censo poblacional se reportaron 224,024 personas en

79,476 unidades de vivienda. Se reflejó un aumento poblacional de 367% en un periodo de 50 años (Municipio de Bayamón, 2007). Con el pasar del tiempo, los terrenos que eran inundables a causa del desbordamiento del Río Bayamón se urbanizaron. Se observó el surgimiento de nuevas comunidades y facilidades para el disfrute de los residentes. Este hecho representa un avance en el desarrollo urbano pero un gran retroceso para la conservación del ambiente. Los suelos que fueron fértiles para la agricultura se transformaron en terrenos idóneos para el desarrollo de las viviendas y las industrias.

El 8 de junio de 2003 se inauguró El Paseo Lineal Río Bayamón. El mismo recupera e integra un sistema hidrológico planificado para atender las necesidades municipales como por ejemplo, la recreación. El paseo está compuesto por dos vías. Una de las cuales es para uso peatonal y la otra para los ciclistas. Este paseo inicia en la carretera PR 177 y finaliza en la carretera PR 22, ocupando una longitud aproximada de nueve kilómetros (Municipio de Bayamón, 2009).

En el año 2005 surgió El Río Bayamón Golf Course, el cual es el primer campo de golf público en el área norte de Puerto Rico. El mismo cuenta con 4,600 yardas (yd) que equivalen a 4,206.24m y se encuentra en medio de la zona metropolitana. Los tres lagos artificiales y las facilidades del campo de golf están ubicados en un predio de terreno de 54 cuerdas. Dicho terreno está localizado en la intersección PR 177 y PR 891, a orillas del histórico Río Bayamón. Este campo de golf es un diseño de los arquitectos Figueroa & Figueroa y es el único que existe dentro del área metropolitana. El Río Bayamón Golf Course consta de un “*putting range*” y un “*driving range*” de dos niveles (Municipio de Bayamón, 2009).

Desde el año 1852 hasta el presente, el Río Bayamón sucumbió a cambios drásticos en su entorno. Estos cambios son los siguientes: se construyeron edificios, sus fronteras fueron recortadas y se utilizaron sus riberas para la construcción de viviendas y fábricas. La consecuencia directa de estas prácticas fue producir un efecto negativo en la calidad de sus aguas. Se obligó al río a seguir un curso no propuesto por su autoridad sino impuesto por la nuestra. Por consiguiente, este río es uno de los más urbanizados en la Isla. Por tal motivo, sus aguas son susceptibles a convertirse en el destino final de contaminantes que provienen de las escorrentías, alterando la calidad de sus efluentes.

Propiedades del Arsénico

El arsénico es un elemento localizado en el grupo 15 de la tabla periódica. El número atómico de este metaloide es 33 y el mismo posee una masa atómica de 74.92. El arsénico ocupa el lugar número 52 en abundancia entre los elementos naturales de la corteza terrestre. Cuando se calienta, se sublima y pasa directamente de sólido a gas a una temperatura de 613°C (Calvert, 2004). Existen 245 especies de arsénico, aproximadamente (Scarlatos & Scarlatos, 1997). Entre éstas se encuentran tres alótropos o modificaciones polimórficas del arsénico. La primera se conoce como la forma a cúbica. La misma es de color amarillo y se obtiene por la condensación del vapor a temperaturas muy bajas. La forma b polimórfica negra es isoestructural con el fósforo negro. Ambas modificaciones revierten a la forma más estable del arsénico al calentarlas o por exposición a la luz. Esta forma metálica de color gris, conocida como l, es un conductor térmico y eléctrico moderado, quebradizo, fácil de romper y de baja ductibilidad (Greenwood & Earnshaw, 1997). El mineral principal del arsénico es el

arsenopirita (FeAsS). Otros minerales comunes son el rejalgar (As_2S_2), el oropimente (As_2S_3) y el trióxido de arsénico (As_2O_3). El arsénico sustituye frecuentemente al azufre en los sulfuros (Calvert, 2004).

¿Dónde se encuentra el arsénico?

El arsénico se puede encontrar de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones. Una tercera parte del arsénico en la atmósfera proviene de fuentes naturales mientras que el resto surge como resultado de varias actividades humanas. El mismo aparece en la corteza terrestre en una concentración promedio de 2 a 5mg/kg (Moore & De Santos, 1991). Debido a la contaminación geológica natural, se pueden detectar concentraciones elevadas de arsénico en el agua potable, como es el caso de Bangladesh (IPCS, 2001).

Este elemento químico es extremadamente duro de convertir en un producto soluble en agua o volátil. El mismo es un compuesto móvil y de fácil esparcimiento promoviendo la contaminación por arsénico. Dicho metaloide se ha esparcido a regiones donde no existía de forma natural por actividades humanas tales como la minería y las fundiciones de metales (Greenwood & Earnshaw 1997). En el Reino Unido, la industria minera utiliza el arsénico para extraer el hierro (Sambu & Wilson, 2008). Como consecuencia de la interferencia antropogénica, el ciclo de arsénico se ha ampliado y grandes cantidades del mismo terminan en el ambiente y en los organismos vivos. Las industrias productoras de cobre, la producción de plomo y zinc y la agricultura han elevado las emisiones de arsénico al medio ambiente. Dicha sustancia no puede ser destruida una vez que entra al ambiente. Por consiguiente, las cantidades añadidas por las

grandes industrias pueden esparcirse y causar efectos adversos a todos los organismos vivos expuestos a este químico (Greenwood & Earnshaw 1997).

Exposición

La exposición al arsénico ocurre de manera natural pero puede ser agravada debido a diversas actividades humanas. Estamos expuestos a dos formas químicas predominantes de arsénico: inorgánico y orgánico. Según Moreno (2007), se pueden encontrar diversas cantidades de la forma inorgánica de arsénico tóxico en los suelos, las rocas y las aguas tanto superficiales como subterráneas. La forma orgánica se refiere a compuestos que contienen carbón y son de baja toxicidad. Los mismos se encuentran en los animales, las plantas, los peces y los mariscos (Moreno, 2007).

La mayor parte de las personas están expuestas al arsénico por medio de la ingestión y la inhalación de pequeñas cantidades del químico. Estas dos se consideran como las principales rutas de exposición al arsénico. Este tóxico está presente en el agua de beber, el particulado del aire y los alimentos. Debido a la contaminación geológica natural, las comunidades que obtienen el agua para beber del subsuelo, pueden potencialmente ser expuestas a cantidades excesivas de arsénico (Scarlatos & Scarlatos, 1997). La forma ingerida de arsénico proveniente del agua potable varía de acuerdo a su exposición con el aire. El agua de pozos en su mayoría contiene As(III), mientras que en el agua superficial predomina el As(V) (Rossman, 2007).

El agua de pozos contaminados por fuentes naturales que contienen arsénico se ha señalado como la causa de toxicidad por arsénico a nivel mundial. La presencia de este químico en el agua de beber ha cobrado gran importancia desde la década de los 90, que

se evidenció en las aguas para uso potable en Bangladesh (WHO, 2001). Entre los países donde se han reportado efectos tóxicos de arsénico por el uso de agua de pozos contaminados por fuentes naturales de dicho elemento se encuentran: Argentina, India, Bangladesh, Bolivia, Canadá, Chile, China, Alemania, Ghana, Grecia, Hungría, Japón, Méjico, Mongolia, Rumania, España, Taiwán, Estados Unidos y Vietnam (NRC, 2000). En los Estados Unidos, las áreas con mayor concentración de arsénico natural en aguas subterráneas incluyen el Suroeste, Noroeste y Nordeste de la nación, Alaska y regiones cercanas a diversas actividades geotermales (ATSDR, 2007).

Por otra parte, el consumo de alimentos que contienen compuestos de arsénico es la fuente principal del tóxico entre la población norteamericana. Se estima que los adultos en Estados Unidos ingieren un aproximado de 40µg de arsénico al día (ATSDR, 2007). La mayor parte de los alimentos contienen niveles bajos de arsénico, aunque no se añaden por su cualidad tóxica (Moreno, 2007). Los niveles de dicho químico pueden ser elevados en los peces y los mariscos debido a que éstos absorben el arsénico del agua que los rodea (Greenwood & Earnshaw, 1997). Moreno (2007) recalca que los peces, los mariscos, las algas y el arroz pueden contener niveles elevados de las formas orgánicas de arsénico. Este elemento tóxico se encuentra frecuentemente en mariscos, tales como las ostras, las almejas y los mejillones; crustáceos como langostas y cangrejos; y animales acuáticos que se alimentan del fondo del cuerpo de agua. En contraparte, ciertos tipos de algas, como por ejemplo el alga hijiki, poseen concentraciones elevadas de arsénico inorgánico (Rose, Lewis, Langford, Baxter, Origgi & Barber, 2007). Otras vías de exposición incluyen la ingestión accidental del suelo que contiene este elemento y el uso

en los hogares de productos químicos como: las pinturas, los tintes, las medicinas y los productos para preservar la madera (Moreno, 2007).

Por otro lado, el agua superficial se puede contaminar por el contacto con el suelo, los sedimentos, las escorrentías y las aguas residuales contaminadas con arsénico, plaguicidas y residuos industriales que contienen dicho compuesto (Villaescusa & Bollinger, 2008). Este metaloide se adhiere a las pequeñas partículas del polvo y permanece en el aire por varios días recorriendo grandes distancias. La exposición al polvo con cantidades elevadas de arsénico puede originarse de actividades agrícolas por el uso de plaguicidas y fungicidas; ganaderas; mineras; y la inhalación de humo por la quema de gasolina, petróleo, madera, carbón y tabaco (Rossman, 2007). Las partículas más pequeñas se depositan en las áreas más profundas del tracto respiratorio. El arsénico en las partículas del polvo se absorben al sistema gastrointestinal tras adherirse al tracto respiratorio superior y tragarse (Yip & Dart, 2001).

El contacto dermal es otra ruta de exposición al arsénico aunque es menos común y dañina a la salud. La exposición al arsénico puede ser más alta para las personas que trabajan con este químico, las que consumen cantidades significativas de vino, los que viven en casas cuyas estructuras incluyen ciertas maderas tratadas e individuos que viven en granjas donde se ha aplicado hierbicidas con arsénico (Greenwood & Earnshaw, 1997). En la década de los años 1990, un profesor de la Escuela de Medicina de la Universidad de Iowa contratado por la Asociación de Superintendentes de Campos de Golf (GCSAA, por sus siglas en inglés) determinó que las personas encargadas del mantenimiento de dichos campos presentan mayor mortandad asociada a diferentes tipos de cáncer. Entre éstos podemos mencionar: cáncer de pulmón, cerebro, intestinos,

próstata y sangre. Para este estudio de mortalidad se revisaron 618 certificados de defunción pertenecientes a los miembros de la GCSAA entre los años 1970 y 1992. Los mismos se compararon con las estadísticas de mortalidad de la población en general (Feldman, 2005).

Toxicidad

Los problemas ambientales asociados al arsénico se deben a su cualidad tóxica (Scarlatos & Scarlatos, 1997). La toxicidad de arsénico depende del estado de oxidación, la estructura química y la solubilidad en el medio biológico. Los efectos tóxicos del arsénico están directamente relacionados al tipo y a la dosis o la concentración de arsénico al que se está expuesto, y la frecuencia y la duración de la exposición (ATSDR, 2009). La escala de toxicidad de dicho elemento decrece en el siguiente orden: arsina > As(V) inorgánico > As(III) orgánico > As(III) inorgánico > As(V) orgánico > compuestos arsenicales y arsénico elemental. La toxicidad de As(III) es 10 veces mayor que la del As(V) y la dosis letal para adultos es de 1 – 4 mg As/Kg (Castro de Esparza, 2006a). Diversos estudios referentes a la toxicidad de arsénico indican que los compuestos inorgánicos son más potentes que los orgánicos. Por consiguiente, los compuestos inorgánicos trivalentes (III) son más tóxicos que los pentavalentes (V).

El cuerpo humano puede detoxificarse de las formas inorgánicas de arsénico al añadir grupos metilo en un proceso llamado metilación. Un 70% del arsénico se excreta por la orina después de ser metilado en el hígado (Rossman, 2007). El arsénico pasa al torrente sanguíneo a nivel celular y entra a los glóbulos rojos y blancos, al igual que a otras células que reducen el arsenato a arsenito (ATSDR, 2009; Wang, Dey, Rosen &

Rossmann, 1996; Winski & Carter, 1995). La conversión de As(V) a As(III) es esencial para que la metilación ocurra. Según se agregan los grupos metilo, los compuestos inorgánicos de arsénico se tornan menos tóxicos (Moore & De Santos, 1991). El arsénico resulta venenoso en dosis significativamente mayor que 65 miligramos (mg) y el envenenamiento puede producirse por una dosis alta, al igual que por la acumulación progresiva de pequeñas dosis repetidas (ATSDR, 2007). La mayor parte de los efectos tóxicos del arsénico se originan a partir de la exposición al arsénico inorgánico que afecta casi todos los sistemas de órganos del cuerpo humano.

Efectos del Arsénico

El arsénico entra al cuerpo humano por medio de la ingestión, inhalación o la absorción por la piel. La mayor parte del arsénico que se ingiere o inhala se absorbe al tracto gastrointestinal y a los pulmones hasta llegar a la sangre (Saha, Dikshit, Bandyopadhyay & Saha, 1999). Por lo general, el arsénico se encuentra en el agua potable en forma de arsenato y se puede absorber con facilidad al tracto gastrointestinal en una proporción entre 40 y 100% (Frederick, Kenneth & Chien-Jen, 1994). El 95% del arsénico trivalente ingerido pasa al tracto gastrointestinal (Rossmann, 2007). La concentración total de arsénico que se absorbe por medio de inhalación no se ha determinado con exactitud, aunque se presume que fluctúa entre un 60 y 90% (Yip & Dart, 2001).

Luego de la absorción a los pulmones o al sistema gastrointestinal, el arsénico se distribuye en la sangre a diversos órganos del cuerpo (ATSDR, 2007). El arsénico inorgánico pasa al torrente sanguíneo, donde se enlaza a la hemoglobina y en 24 horas

puede encontrarse en el hígado, los riñones, los pulmones, el bazo y la piel. La mayoría de los tejidos lo eliminan con rapidez excepto la piel, el pelo y las uñas, donde el arsénico puede permanecer de dos a cuatro semanas posterior a la exposición (Yip & Dart, 2001; Lansdown, 1995). También se puede encontrar en los huesos y los dientes. La acumulación de arsénico en la piel se debe a que reacciona fácilmente con las proteínas (Castro de Esparza, 2006a). Esta interacción produce alteraciones en la estructura molecular de las proteínas, interrumpiendo su actividad biológica. Como consecuencia directa, se afecta la proteína que interviene en el transporte de electrones. En este caso, la intoxicación con arsénico interrumpe la actividad mitocondrial y por consiguiente la producción de trifosfato de adenosina (ATP, por sus siglas en inglés), molécula responsable de la energía en las células. Estos sucesos conducen a la muerte celular (Cavallaro, 2005).

Los organismos vivos reaccionan de diversas maneras a la exposición de arsénico debido a la sensibilidad biológica y la capacidad metabólica de cada individuo (IPCS, 2001). La intoxicación por arsénico puede ser aguda o crónica. Los síntomas del envenenamiento agudo aparecen dentro de 30 minutos posterior a la ingestión. Entre éstos se pueden mencionar: sabor metálico en la boca, dificultad al tragar, dolor muscular, náusea, vómitos, dolor abdominal, diarreas, adormecimiento en manos y pies, y salpullido generalizado (Saha et al, 1999). Otros síntomas incluyen: vasodilatación, pérdida de fluidos, hipotensión, inflamación y necrosis de las mucosas del estómago e intestinos, gastroenteritis hemorrágica, necrosis hepática y niveles elevados de las enzimas del hígado (ATSDR, 2007; IARC, 2004; NRC, 2000). Por último, puede surgir un colapso circulatorio, fallo renal, psicosis, coma y muerte.

Por otro lado, el envenenamiento crónico por arsénico resulta más complicado de diagnosticar. Las manifestaciones más comunes incluyen los sistemas dermal, respiratorio, hepático y circulatorio (Simeonova & Luster, 2004). Los cambios cutáneos son característicos pero no específicos. Entre los síntomas cabe mencionar: melanososis, hiperqueratosis, carcinoma, anemia, leucopenia e interferencia con la síntesis del material genético conocido como el ácido deoxiribonucleico o ADN (ATSDR, 2007).

El consumo de agua con arsénico conlleva a casos crónicos de intoxicación por arsénico, ya que se ingieren pequeñas cantidades en el agua a largo plazo. En un estudio realizado por la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) sobre la contaminación por arsénico del agua de beber en Bangladesh como respuesta de emergencia a la salud pública, el arsenismo se dividió en cuatro etapas:

- Preclínico: Se detecta el arsénico en muestras de tejido y orina del paciente.
- Clínico: Se oscurece la piel en las palmas de las manos. También pueden aparecer manchas en el pecho, la espalda, los miembros y las encías. Un síntoma más agudo es el endurecimiento de la piel en forma de nódulos sobre las palmas de las manos y las plantas de los pies. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que para llegar a esta etapa se ha estado expuesto al arsénico por cinco a 20 años.
- Complicaciones: Se presentan síntomas clínicos más pronunciados y se afectan los órganos internos. Estudios han reportado la dilatación del hígado, los riñones y el bazo. También hay información que vincula esta etapa con la conjuntivitis y la diabetes.

- Malignidad: Se desarrolla gangrena, tumores y cáncer de la piel, los riñones o la vejiga (BCAS, 1997).

Las exposiciones muy altas al arsénico inorgánico pueden causar varios efectos en la salud, como la irritación del estómago e intestinos, la disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel e irritación de los pulmones (Villaescusa & Bollinger, 2008). La ingestión del arsénico inorgánico aumenta el riesgo de que una persona desarrolle cáncer de los pulmones, la piel, el pecho, la próstata, los riñones, el hígado y los sistemas cardiovascular, gastrointestinal, neurológico, respiratorio, hematológico y dermal (Organización Mundial de la Salud, 2006). Las exposiciones a concentraciones muy altas de arsénico inorgánico provocan infertilidad y abortos en mujeres, pérdida de la resistencia a infecciones y daños al ADN (Greenwood & Earnshaw, 1997).

Tratamiento, prevención y detección

Desde el siglo XVIII se han empleado varios compuestos de arsénico como medicamentos. Entre éstos se encuentra el trióxido de arsénico, que se receta habitualmente para tratar ciertos tipos de cáncer como la leucemia promielocítica aguda (LPA). El LPA, un subtipo de la leucemia mieloide aguda, es una forma inusual de cáncer de la sangre y la médula ósea (Tatham, Geoffroy, Shen, Pleshanovova, Hattersley, Jaffray, Palvimo & Hay, 2008; Novick & Warrell, 2000; Kwong & Todd, 1997). Para el año 1584, se usaba el arsénico en la medicina occidental como agente cáustico en aplicaciones externas. Este elemento se utilizaba para tratar enfermedades infecciosas

como el sífilis antes que surgiera la penicilina, posterior a la Segunda Guerra Mundial (Hernández Ramírez, 1999; Rossman, 2007).

Una evaluación médica es necesaria para todos los pacientes que hayan estado expuestos al arsénico con el fin de determinar el nivel de toxicidad en el cuerpo. Se recomienda identificar el historial de exposición y el historial médico, al igual que completar un examen físico. Por lo general, las enfermedades asociadas al envenenamiento por arsénico poseen un periodo extenso de latencia. Como consecuencia, los pacientes expuestos al arsénico pueden permanecer asintomáticos durante varios años. Precisar un diagnóstico clínico se dificulta por la cantidad de síntomas que pueden surgir a raíz del envenenamiento de tipo agudo y crónico (Rossman, 2007). Debido a que la concentración de arsénico puede disminuir significativamente durante las 24 a 48 horas después de la exposición, se considera de gran importancia llevar a cabo un urinalisis. De acuerdo a la condición clínica del paciente, se requieren exámenes adicionales utilizando marcadores biológicos de efectos y exposición (ATSDR, 2009). Entre estas pruebas se encuentran: CBC con diferencial, niveles de creatinina y albúmina, enzimas hepáticas, conducción nerviosa, electrocardiograma, y placas abdominales y de pecho. La prueba de orina de 24 horas se usa para detectar la presencia y concentraciones de arsénico y creatinina, ya que refleja con certeza la cantidad del arsénico excretado (ATSDR, 2009).

Una vez diagnosticado el envenenamiento por arsénico, el próximo paso es el manejo y tratamiento de la exposición. El primer factor importante es identificar y remover al paciente de la fuente de exposición (IPCS, 2001). Como parte del manejo inicial de la intoxicación por arsénico se lleva a cabo un lavado gástrico, estabilización

con fluidos y reemplazo de electrolitos. Administrar agentes quelantes puede prevenir la manifestación de la mayoría de los efectos ocasionados por la toxicidad del arsénico (Mazumder, 2000). Estudios sugieren que el uso de los análogos de la vitamina A son efectivos para tratar ciertos tipos de condiciones pre-cancerosas (Elmariah, Anolik, Walters, Rosenman, Pomeranz & Sánchez, 2008).

En la actualidad, el único método disponible para detectar la presencia de arsénico en el agua es mediante el análisis de muestras en un laboratorio. La manera más efectiva de prevenir los problemas de salud relacionados a la exposición con dicho elemento químico es por medio del conocimiento. Al detectar la contaminación en un cuerpo de agua, es pertinente informar a las comunidades potencialmente afectadas sobre la toxicidad del arsénico, su efecto nocivo sobre la calidad del agua y las reacciones adversas que produce en el cuerpo humano y el ambiente. De tal forma, las agencias correspondientes proceden a resolver la contaminación del preciado líquido mientras la población toma las medidas necesarias para protegerse de las enfermedades y los posibles resultados fatales.

La presencia de arsénico en el agua potable se puede reducir a niveles seguros utilizando varias tecnologías. Durante el proceso de adsorción el agua pasa a través de un filtro donde el arsénico se pega. Dicho filtro está compuesto por un metal como el hierro, el zirconio, el aluminio o el titanio (Moreno, 2007). Otro mecanismo se conoce como el proceso de osmosis. En éste el agua pasa a través de una membrana que filtra el arsénico. Según Moreno (2007), estos sistemas pueden ser instalados en diversos lugares tales como los servicios de agua públicos o en los hogares.

Estudios de Arsénico

Se han realizado varios estudios sobre la presencia de arsénico en el suelo y los cuerpos de agua en diversos países del mundo. El contaminante surge de forma natural o a raíz de las actividades humanas. En ambos casos, se evalúan los posibles peligros de contaminación ambiental según la concentración de arsénico presente.

En México, el arsénico se encuentra en el suelo dentro del cinturón volcánico contaminando los mantos freáticos. Una segunda fuente de contaminación es el uso de plaguicidas organoarsénicos empleados desde antes de 1945 (Sancha, O`Ryan, Marchetti & Ferreccio, 1998).

En Chile el arsénico se encuentra presente en todos los ecosistemas de la zona norte del país debido a la predominancia de volcanismo cuaternario en el área. Por otro lado, entre los años 1955 y 1970 se reportó una concentración de 0.598mg/L de arsénico en el agua de Antofagasta. Los valores actuales indican una media de 0.04mg/L (Sancha et al., 1998).

En un estudio sobre el impacto ambiental en la marina de Vieques se evaluó la concentración de metales y los derivados de explosivos. Se analizaron muestras de suelo, el sedimento y el agua de diferentes áreas geológicas. Las concentraciones más elevadas se encontraron en las áreas de práctica de tiro al blanco y en zonas bajas donde se acumulan sedimentos. En las muestras de suelo analizadas, se observaron concentraciones elevadas de arsénico entre 20.2 y 16.4 µg/L (García, López, Soto, García, Rosado & Berríos, 2000).

En Argentina, la mayor presencia de arsénico en el agua es de origen natural. Las aguas subterráneas en las áreas afectadas presentan concentraciones variables de arsénico,

que fluctúan entre 0.10 y 1 mg/L. La fuente de arsénico en las napas freáticas de la región central y norte del territorio argentino es de origen volcánico. Además, la contaminación puede proceder como consecuencia de las actividades agrícolas (Benítez, Osicka, Jiménez & Garro, 2000). Por otra parte, se realizó un estudio al suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina sobre la presencia de concentraciones elevadas de arsénico en el agua subterránea en el distrito de Bahía Blanca al sur de las Pampas. Además, se estimó la magnitud del posible riesgo ambiental que representa para esta comunidad, la cual contiene la densidad poblacional más alta de la región. Los resultados indicaron que el 97% de las muestras de agua obtenidas de pozos de agua y de fuentes de agua superficial utilizadas para el consumo humano y de animales exceden el parámetro establecido por la Organización Mundial de la Salud. Estos hallazgos confirman que esta población puede estar expuesta a los efectos toxicológicos crónicos del arsenismo (Paoloni, Sequeira, Espósito, Fiorentino & Blanco, 2009).

En Puerto Rico, el Río Bayamón ha sido afectado de diversas maneras por el urbanismo, según indica Cáceres (2007). En este estudio se analizaron muestras de agua superficial del río para determinar la presencia de arsénico y sus derivados. Los análisis mostraron que la concentración del contaminante es de 5 µg/L. Lo que indica que dicho elemento químico se encuentra por debajo del nivel permitido por la U.S. EPA.

Ocasio (2008) realizó un estudio sobre posibles fuentes de contaminación en el segmento del Río Piedras aledaño al estacionamiento de la Universidad Metropolitana (UMET) por el Oeste y el Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico (UPR) por el Este. Se evaluaron las concentraciones de arsénico presentes en el agua de tres estaciones y otros factores que afectan la calidad del agua. Dicho estudio muestra que las

concentraciones del contaminante se encontraban entre 0 a 4.43 µg/L. Este hallazgo indica la presencia de fuentes de contaminación por arsénico. Según Ocasio (2008), los pesticidas y fertilizantes utilizados para la jardinería de residencias en urbanizaciones adyacentes, el Jardín Botánico y los jardines de la UMET pudieron haber contaminado las aguas del río. A pesar de que las concentraciones no representan un peligro a la comunidad y al ambiente, la intrusión del arsénico en el cuerpo de agua es preocupante.

MSMA

La fórmula química del MSMA es:



Este hierbicida se clasifica como uno de tipo orgánico arsénico ya que su componente principal es el arsénico. El MSMA es un compuesto de alta movilidad al entrar en contacto con el agua. Dicho producto se usa comúnmente en la cosecha de algodón y el mantenimiento de diversos tipos de césped. La aplicación de este compuesto químico promueve el mantenimiento de los campos de golf y el césped de los hogares. El MSMA se caracteriza por su alta movilidad al interactuar con el agua. Por tal razón, no debe aplicarse directamente a los cuerpos de agua.

Desde el comienzo de los años 1900, los hierbicidas con compuestos de arsénico se han utilizado y aplicado en los campos de golf y la agricultura (Murphy & Aucott, 1998). Los productos orgánicos de arsénico para el mantenimiento del césped se introdujeron en el mercado en los años 1950, comenzando con disodio de metilarsenato (DSMA). Para los años 1960, el MSMA se convirtió en el producto principal del mercado en la clasificación de hierbicidas orgánicos de arsénico (Edwards, 2006; Ma,

Cao, Hardinson, Chen, Harris & Sartain, 2002). Durante la época de los años 1950 en el estado de Florida, los hierbicidas de esta clasificación como el MSMA, se utilizaron comúnmente en los campos de golf y los jardines.

La forma inorgánica de arsénico se produce rápidamente cuando el MSMA entra en contacto con el suelo. Dicha forma inorgánica se moviliza con facilidad (Whitmore et al., 2008). Los lixiviados de estos productos son contaminantes para las aguas. Por lo tanto, la aplicación de dicho hierbicida en un área específica contamina las aguas superficiales y subterráneas adyacentes.

El 10% de los campos de golf de Estados Unidos se encuentran en Florida. La mayoría de los parques están situados en las cercanías de lagos y pantanos (Ma et al., 2002). Por consiguiente, los cuerpos de agua reciben las escorrentías que fluyen desde los parques. En su trayectoria, las escorrentías llevan toda clase de contaminantes como por ejemplo el arsénico. De tal manera, las escorrentías llegan a los causes alterando la calidad del agua y el hábitat.

En septiembre del año 2003, se detectaron niveles excesivos de arsénico en el suelo y las aguas superficiales de los campos de golf en el sur de la Florida. Los oficiales del Departamento de Protección Ambiental (DEP, por sus siglas en inglés) identificaron al MSMA, utilizado para controlar el crecimiento de hierbas en dichos campos, como la causa principal de este problema. En el estudio realizado por el Departamento de Manejo de Recursos Ambientales de Miami-Dade se reportó que un 76% de los pozos de muestreo analizados en los campos de golf municipales excedieron los límites establecidos por la U.S. EPA (Beyond Pesticides, 2003).

Para el año 2000, las ventas de MSMA alcanzaron unas 55 toneladas métricas (Tm) para uso comercial y residencial en Florida. En el año 2003, la venta reflejó un aumento de unas 85Tm (Solo-Gabriele H, 2003). Al comienzo del año 2006, las ventas de MSMA se suspendieron en Estados Unidos y Canadá. El motivo principal para implantar esta medida fue la posibilidad de que el producto contamine las aguas subterráneas. Como consecuencia directa, no se ha permitido la re-registración del mismo (Edwards, 2006).

El 30 de septiembre de 2009, se prohibió el uso del hierbicida MSMA para el área doméstica porque su contenido puede contaminar las aguas subterráneas. Por lo tanto, la venta y la producción de este compuesto químico para el uso en el hogar quedaron prohibidas a partir del 31 de diciembre de 2009. El uso del MSMA se permite en las cosechas del algodón, los campos de golf, las granjas de césped y en las vías de rodaje a las que el público tiene acceso. Se anticipa que se prohíba la producción de este hierbicida para el 31 de diciembre de 2010 (U.S. EPA, 2009). Como resultado directo, se pueden usar solamente los productos restantes en los almacenes. Se espera que para el 31 de diciembre de 2012, queden terminantemente prohibidos el uso y la distribución de los hierbicidas que contienen MSMA en su etiqueta, específicamente para uso en las granjas de césped, los campos de golf y las carreteras en las que la población tiene derecho al paso. Para el 31 de diciembre de 2013, se pronostica que el uso de hierbicidas que contienen MSMA etiquetado quede prohibido, con la excepción del uso en las cosechas de algodón (Beyond Pesticides, 2009).

Estudio de casos

Contaminación por arsénico en sedimentos de lagos en la Florida: evidencia de la movilidad de los hierbicidas a los suelos de cuencas hidrográficas

Desde el año 1950, los hierbicidas organoarsénicos se han utilizados en los campos de golf de la Florida. Los mismos se han construido utilizando materiales con alta capacidad de filtración como la arena y el suelo. La mayoría de los parques en este estado se encuentran cerca de lagos y pantanos. Debido a que los lagos reciben las escorrentías que provienen de los campos, el arsénico puede acumularse y exceder los límites permisibles que ocasionan riesgos al ambiente y la salud pública. Se estima que un 97% de los campos de golf de la Florida utilizaban MSMA y cada uno aplicaba 86Kg de As en el suelo por año en la forma de MSMA. Las ventas del MSMA se duplicaron entre los años 2001 y 2003 de 55 a 85Tm, debido al crecimiento del deporte de golf y su extensa temporada de juego en la Florida. Por tal motivo, la aplicación de hierbicidas ha aumentado en más del doble en comparación con los otros 49 estados. En el suelo de dichos campos se han acumulado aproximadamente 7,160Tm de arsénico, unas 113Tm del contaminante están disueltas en las aguas superficiales y unas 8,350Tm en las subterráneas. Por ende, los campos de golf son fuentes de movilización de arsénico debido al aumento en la tasa de aplicación de hierbicidas, la constante irrigación y la porosidad del suelo.

Este estudio, realizado por Thomas Whitmore, Melanie Riediger-Whitmore, Joseph Smoak, Keith Kolasa, Ethan Goddard y Richard Bindler, se llevó a cabo en Little Lake Jackson localizado en Highlands County, Florida. Dicho lago está rodeado por tres campos de golf: el Sebring Municipal Golf Course, el Harder Hall Country Club's Golf Course y el Harder Hall Executive Golf Course. Este lago se utilizó hasta el año 1960

para la irrigación del césped del Sebring Municipal Golf Course. Posteriormente, el sistema de irrigación surge a través de posos subterráneos. Los canales, antiguo sistema de irrigación, se destinaron para dirigir la escorrentía del campo en dirección al lago. Los tres campos de golf dispusieron del hierbicida MSMA para el control de malas hierbas en el césped según la recomendación del fabricante, aproximadamente tres veces al año. Este producto es un hierbicida organoarsénico y de alta movilidad al entrar en contacto con el agua. El arsénico presente en este compuesto se convierte a su forma inorgánica en el suelo. El mismo es un compuesto peligroso en el agua potable.

El Distrito para el Manejo de Agua de la Región Suroeste de la Florida (SWFWMD, por sus siglas en inglés) evaluó el flujo hidrológico de las aguas superficiales y subterráneas de las cuencas y los lagos del estado. El canal localizado al oeste de Little Lake Jackson recibe agua de lluvia y drena todas las zanjas y los canales del Sebring Municipal Golf Course. Este canal representa la fuente principal de flujo de agua superficial al lago.

La concentración total de arsénico en los sedimentos de Little Lake Jackson es alta debido a las actividades antropogénicas en la cuenca. El 210 Pb-date del centro de los sedimentos muestra que la concentración máxima de arsénico se depositó en el año 1980. Las concentraciones de arsénico más recientes son 81 veces mayor en comparación con las obtenidas en el año 1912. La concentración de este elemento disuelta en el agua intersticial fluctúa entre 14 y 43 veces mayor a la concentración que indica El Máximo Nivel de Contaminación por arsénico en el agua potable (10µg/L), según U.S. EPA. Las concentraciones de arsénico en los posos de muestreo entre el Sebring Municipal Golf Course y el lago se encontraban de 10 a 11 veces mayor que las permitidas por los

estándares de la U.S. EPA. En los posos de muestreo entre el Harder Hall Country Club's Golf Course y el Little Lake Jackson, las concentraciones de arsénico eran aproximadamente el doble del permitido por la U.S. EPA. Las concentraciones de arsénico disuelto en el agua del canal entre el lago y el Sebring Municipal Golf Course eran cuatro veces mayor a las permitidas.

La contaminación por arsénico en Little Lake Jackson aparentemente surge a causa de las aplicaciones de hierbidas organoarsénicos, en particular el MSMA. Esta conclusión se basa en la información obtenida de las pasadas fuentes del contaminante en las cuencas y los lagos, por la relación hidrológica entre el lago y las fuentes cercanas y por las medidas de arsénico en las aguas superficiales y subterráneas que entraban al lago. En adición al uso de los hierbidas que contienen este contaminante, no se ha encontrado alguna otra fuente de arsénico a gran escala.

La transportación y transformación del arsénico asociado a la aplicación de MSMA en el césped de los campos de golf

El arsénico ha recibido una creciente atención debido a su potencial tóxico y por presentar un riesgo al ambiente como resultado de las actividades naturales y antropogénicas. La exposición prolongada a bajas concentraciones de arsénico en el agua potable puede causar cáncer de la piel, la vejiga, los pulmones y la próstata. El departamento federal U.S. EPA ha disminuido el Nivel Máximo de Contaminación (MCL, por sus siglas en inglés) del arsénico en el agua potable, de 50 a 10 μL^{-1} , para lograr una mejor protección de la salud pública.

Una encuesta realizada entre los campos de golf de la Florida ha demostrado que un 96% de éstos han utilizado aproximadamente dos libras por acre de hierbidas que contienen el ingrediente activo MSMA con una frecuencia de dos a tres veces al año. El

Departamento de Manejo de los Recursos Naturales de Dade County (DERM, por sus siglas en inglés) y el Departamento de Agricultura y de Servicio al Consumidor de Florida (FDACS, por sus siglas en inglés) ejecutaron un estudio en el año 1999 monitoreando la calidad de las aguas superficiales y subterráneas de cinco campos de golf en Dade County en Miami. La presencia de arsénico en las muestras de aguas subterráneas se encontraba en $815\mu\text{L}^{-1}$, concentración de alto riesgo para la salud pública. El estudio de la movilización de arsénico en el suelo de los campos de golf seleccionados, demostró que este contaminante tiene una gran probabilidad de percolación.

El comportamiento de arsénico y sus distintos derivados al transformarse es de gran importancia para el manejo adecuado en la aplicación de hierbidas con este compuesto y ha traído preocupación a los científicos, las agencias de gobierno, las comunidades locales y los manufactureros. Los hierbidas arsénicos inorgánicos han sido reemplazados por organoarsénicos, los cuales son menos tóxicos aunque pueden causar problemas al ambiente. Las propiedades del suelo son de importancia en la retención y movilización de arsénico y a su vez, en la transformación del mismo por procesos bióticos y abióticos. La acumulación por el uso consecutivo de estos hierbidas en el suelo de los campos y su percolación a las aguas o aguas de riego por lixiviado pueden causar problemas ambientales relacionados a la salud humana.

El propósito de Min Feng, Jill Schrlau, Raymond Snyder, George Snyder, Ming Chen, John Cisar y Yong Cai al realizar este trabajo en el 2005 fue entender el comportamiento de las especies de arsénico en las aguas de lixiviado de los campos de golf con aplicación de MSMA para la Asociación de Golf de los Estados Unidos (USGA, por sus siglas en inglés). El enfoque principal fue la construcción de los putting green, la

retención de arsénico y la conservación de las especies. Periódicamente, se recolectaron muestras de aguas del lixiviado y se analizaron en un periodo de 24 horas para la especiación de arsénico y arsénico total. Se utilizó la técnica de cromatografía líquida acoplada a espectrometría de fluorescencia atómica para la generación de hidruros (HPLSC – HG – AFS). Los resultados indicaron que la retención de este compuesto y sus especies pueden lixiviar con diferente fluidez de acuerdo a la composición del sustrato en el cual se encuentren.

Se utilizaron tres tipos de sustrato para simular el césped de los campos de golf. Los mismos se definen como: arena sin recubrimiento natural (S), arena mezclada con turba sin recubrimiento natural (NS+P) y arena mezclada con turba con su capa natural. La turba es un material orgánico compactado y rico en carbono. El uso de arena y turba con su capa natural puede aumentar la humedad y la retención de los nutrientes. Esto a su vez, promueve el crecimiento del césped sin presentar un efecto negativo en el aspecto físico del campo de golf.

El nivel de arsénico en los sustratos sin tratamiento (0 - 10cm) aumentó a más del doble luego de introducir el MSMA en tres ocasiones para la fecha de 19 de septiembre de 2002. A una profundidad de 0 - 10cm, el arsénico retenido luego de tres semanas en la arena sin cubierta natural (S) fue significativamente menor en comparación con los sustratos S+P y NS+P. Dicho hallazgo sugiere una alta movilidad de arsénico y mayor rapidez de lixiviar en este sustrato.

La concentración total de arsénico en el agua percolada varía entre el sustrato y el tiempo de muestreo. Durante las dos primeras semanas se detectó la mayor concentración de arsénico en el lixiviado en los tres sustratos. Esto se asocia a las tres aplicaciones de

MSMA durante un periodo de dos semanas. Luego de este tiempo, el lixiviado de arsénico disminuyó. Una posible explicación puede ser el bajo índice de precipitación durante ese periodo. Esto a su vez ocasionó un bajo nivel de percolación. Comenzando la quinta semana, el total de arsénico lixiviado aumentó en cada muestreo mayormente por el incremento en percolación.

Grandes desviaciones del estándar de la acumulación de arsénico en los lixiviados se observaron en los cuatro puntos de muestreo de cada sustrato, especialmente para S y S+P. El arsénico acumulado lixiviado de cada sustrato se determinó por medio de varios factores. Entre éstos se mencionan la composición del sustrato, la cantidad de lluvia recibida y el sistema de riego que se utiliza. Con los objetivos de minimizar el efecto por la variación en la cantidad de agua en el muestreo y comparar los resultados de cada sustrato, el arsénico acumulado lixiviado se reguló al volumen de agua acumulada en cada muestreo por el periodo de duración del experimento equivalente a 14 semanas.

La comparación de los resultados de S con los de S+P y NS+P, indica que los últimos dos tienen mayor capacidad para prevenir el lixiviado de arsénico a las aguas subterráneas. Esto implica que la capa de arena con arcilla disminuye la reducción de arsénico. Al parecer, la presencia de la arcilla en la arena con su cubierta natural juega un papel determinante en la absorción de arsénico debido a su gran área de superficie y alta concentración de hierro y aluminio. En general, los suelos con alto contenido de arcilla retienen mayor cantidad de arsénico en comparación con otros suelos menos arcillosos. Medir la concentración total del arsénico no indica la capacidad de lixiviar de dicho elemento químico. Por tal motivo, no provee información acerca de su transformación a las diversas especies de arsénico mientras se transporta por el sustrato. Los estudios de

especiación proveen mayor información en los patrones de distribución de arsénico, identifican su toxicidad en el ecosistema y explican su transformación y movilización.

El ácido monometilarsenato (MMA) se localizó en los tres sustratos pero solo se identificó en las primeras semanas en que se aplicó el MSMA. Para el sustrato S se encontró la mayor concentración entre los tres. Una mayor cantidad del ácido dimetilarsenato (DMA) se encontró en el lixiviado de todos los sustratos en comparación al MMA. Se observó una diferencia significativa en la cantidad y el tiempo de arsénico lixiviado. Una alta concentración de DMA lixivió continuamente en las semanas siete y ocho en los sustratos S y S+P luego de haber aplicado el MSMA. En el NS+P se observaron concentraciones más bajas en las primeras dos a tres semanas.

Una pequeña cantidad de As(III) se encontró en el agua percolada solamente para S y S+P. El As(V) fue la única especie de este elemento que lixivió continuamente durante todo el experimento para todos los sustratos. Mientras más tiempo lleve el arsénico en el sustrato, mayor es la probabilidad de que se transforme a As(V).

Luego de la aplicación de MSMA, una serie de procesos químicos y biológicos alteraron las especiaciones de arsénico en el ambiente heterogéneo. Se detectó MMA luego de aplicar el MSMA y desapareció inmediatamente luego que se detuvo la aplicación. Este dato sugiere que el MSMA se transporta eficientemente vía metilación y demetilación a otras especies de arsénico, mayormente a DMA y As(V). Algunos microorganismos del suelo y el agua pueden ser los mediadores para la metilación de arsénico. Al formarse DMA puede pasar a diferentes procesos incluyendo la absorción a partículas del suelo. Además, puede convertirse en lixiviado, MMA y especies volátiles de arsénico. Las altas concentraciones de DMA observadas en el agua percolada indican

que el lixiviado es un paso importante en el ciclo biogeoquímico de arsénico. La absorción de MMA y DMA en el suelo se correlaciona con la presencia de arcilla y hierro en el suelo. En conclusión, se estudiaron tres sustratos que se utilizan en los campos de golf en la Florida para determinar la transformación y transportación de arsénico asociados a la aplicación de MSMA al césped. Los resultados indicaron que la composición del suelo tiene una gran influencia en la movilidad de arsénico y la transformación de sus especies en el sustrato y en el agua percolada.

Las arcillas se han utilizado como una herramienta para prevenir o disminuir la contaminación por percolación de plaguicidas en el suelo. Estas pueden ser utilizadas como soporte de liberación lenta de pesticidas con alta probabilidad de lixiviar. Según un estudio realizado en Sevilla, el empleo de estas arcillas orgánicas y modificadas ha disminuido la pérdida de estos productos por percolación atribuida al riego constante del césped. A su vez, puede evitar la posible contaminación de las aguas subterráneas y superficiales (Rivera, Cornejo & Cox, 2007).

Las arcillas se han utilizado como una herramienta para prevenir o disminuir la contaminación por percolación de plaguicidas en el suelo. Estas se pueden usar como soporte de liberación lenta de pesticidas con alta probabilidad de lixiviar. Según un estudio realizado en Sevilla, el empleo de estas arcillas orgánicas y modificadas ha disminuido la pérdida de estos productos por percolación como resultado del riego constante del césped. A su vez, pueden evitar la posible contaminación de las aguas subterráneas y superficiales (Rivera, Cornejo & Cox, 2007).

La investigación se realizó en columnas de lixiviados preparadas con arcilla orgánica o modificada. A estas se les añadió un pesticida de alta movilidad utilizado con

frecuencia en los olivares. Luego, las columnas se rociaron con agua destilada por un periodo de dos semanas y media. Los resultados demostraron que las columnas de lixiviados que contienen arcillas modificadas poseen mayor capacidad de retener el pesticida por un tiempo más prolongado. Las columnas preparadas con arcillas orgánicas retuvieron el hierbicida por mayor tiempo en comparación con las columnas sin las arcillas orgánicas o modificadas (Rivera et al., 2007).

Marco legal

Existe un conjunto de leyes del Gobierno de Puerto Rico que regula los asuntos relacionados a los recursos naturales y ambientales. Las agencias responsables de velar por el cumplimiento de las leyes y reglamentos de Puerto Rico son las siguientes: la Junta de Calidad Ambiental (JCA), el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) y la Junta de Planificación. A continuación hacemos referencia a las leyes aplicables al tema de este estudio investigativo. Las mismas se presentan siguiendo el orden cronológico en el cual se han implantado y que todavía mantienen vigencia.

La *Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico, 1952*, expone en el artículo seis sección uno: “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”.

La *Ley de Agua. Ley de 1903*. Define la propiedad de dominio público y dominio privado sobre álveo o cauce natural de las aguas, fondo de los lagos, lagunas o charcas. Establece las riberas o las fajas laterales de los cauces, señala qué situación es de ser dominio privado, debe existir una servidumbre de uso público en general de la

navegación, flotación la pesca y salvamento. Establece una zona de tres metros de extensión sujeta a cambios según el interés público.

La *Ley Núm. 23 de 1972, “Ley Orgánica del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales”*, establece la organización, las funciones, las facultades y los deberes del DRNA, quien pondrá en vigor los programas para la utilización y la conservación de los recursos naturales de Puerto Rico, siempre dentro del marco de las normas que provea la Junta de Calidad Ambiental.

La *Ley Núm. 133 de 1 de julio de 1975, según enmendada hasta el 1998, “Ley de Bosques de Puerto Rico”*, en el artículo dos señala que: “Los bosques son un recurso natural y único por su capacidad de conservar y restaurar el balance ecológico del medio ambiente; conservar el suelo, el agua, la flora y la fauna; proveer productos madereros; proporcionar un ambiente sano para la recreación al aire libre y para la inspiración y expansión espiritual del hombre; y el manejo forestal provee una fuente de empleo rural. Los bosques constituyen, por lo tanto, una herencia esencial, por lo que se mantendrán, conservarán, protegerán y expandirán para lograr su pleno aprovechamiento y disfrute por esta generación, así como legado para las generaciones futuras”.

La *Ley Núm. 136 de 3 de junio de 1976, según enmendada hasta el 1998, conocida como “Ley para la Conservación, el Desarrollo y el Uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico”*, en su artículo dos indica que “es política pública del Estado Libre Asociado mantener el grado de pureza de las aguas de Puerto Rico que requiera el bienestar, la seguridad y el desarrollo del país; asegurar el abasto de aguas que precisen las generaciones puertorriqueñas presentes y futuras mediante el establecimiento de áreas de reservas de agua; y aprovechar las aguas y los cuerpos de agua de Puerto Rico con

arreglo al interés público y a criterios de uso óptimo, beneficioso y razonable. A estos efectos y propósitos, además de proteger al país frente a las adversidades de la escasez, el mal uso, el desperdicio y la contaminación de tan esencial recurso, así como para lograr que su aprovechamiento sea compatible con las realidades físico-naturales en que el mismo se encuentra y con las necesidades sociales y económicas del país, se declaran las aguas y cuerpos de agua de Puerto Rico como propiedad y riqueza del Pueblo de Puerto Rico. El Gobierno del Estado Libre Asociado administrará y protegerá ese patrimonio a nombre y en beneficio de la población puertorriqueña”.

“Así mismo es política del Estado Libre Asociado lograr la distribución más equitativa y justa de sus aguas. A ese efecto, se establece que las necesidades de agua adscritas al consumo doméstico, y particularmente al consumo humano, deberán ser satisfechas con relación a cualesquiera otras y que en la adjudicación del sobrante disponible, el interés público deberá prevalecer frente a todo otro interés o reclamos”.

Ley Para Proteger la Pureza de las Aguas Potables de Puerto Rico - Ley Núm. 5 de 21 julio de 1977. Establece las normas necesarias para proteger las aguas potables y determinar qué contaminante está presente y representa un peligro inminente a la salud de los humanos.

La *Ley Núm. 81 de 30 de agosto de 1991. Ley de Municipios Autónomos*, establece como política pública otorgarle a los municipios los mecanismos, poderes y facultades para asumir un rol central en su desarrollo social, económico y urbano (JCA, 2006). El Plan de Ordenación Territorial consta de tres volúmenes que se presentan separadamente y cubren las siguientes partes: Memorial, Plan de Acción y Reglamentación Urbanística (JP, 2004). El Memorial incluye documentos básicos de: a)

inventario y diagnóstico social, económico y físico del Municipio, con los planos específicos de infraestructura, uso de terrenos urbanos y no urbanos existentes con sus características y la demarcación de las áreas urbanas y no urbanas y las potencialmente urbanizables; b) recopilación y evaluación de los documentos de reglamentación de la Junta de Planificación y otras agencias, corporaciones, e instrumentalidades públicas; c) objetivos y metas del desarrollo.

La *Ley Núm. 150 de 4 de agosto de 1988, mejor conocida como la “Ley del Programa de Patrimonio Natural de Puerto Rico”*, manifiesta la gran diversidad que existe de flora y fauna e incluye la importancia de su protección. A su vez, le brinda el poder a DRNA de adquirir áreas de gran valor natural para su protección y disfrute, tanto de ésta y futuras generaciones. La sección tres indica las metas y objetivos:

1. “Identificar los terrenos, las comunidades naturales y el hábitat que le dan albergue a la vida silvestre, así como los que son esenciales para la supervivencia y la protección de las especies de flora y fauna vulnerables o en peligro de extinción y cualesquiera otros terrenos que el programa determine que deben preservarse por su valor como recurso natural”.
2. “Diseñar áreas de valor natural que deben protegerse”.
3. “Preparar planes de adquisición y protección para dichos terrenos”.
4. “Fortalecer las organizaciones sin fines de lucro dedicadas a la conservación de los recursos naturales, compartiendo con éstas las responsabilidades de adquirir, restaurar y manejar dichos recursos”.
5. “Coordinar y viabilizar la adquisición, restauración y manejo de dichas áreas por el Departamento, agencia de Gobierno u organización sin fines de lucro”.

La Ley Núm. 241 de 15 de agosto de 1999, conocida como la “Nueva Ley de Vida Silvestre de Puerto Rico”, se creó “para establecer la Nueva Ley de Vida Silvestre de Puerto Rico, con el propósito de proteger, conservar y fomentar las especies de vida silvestre tanto nativas como migratorias; para declarar propiedad de Puerto Rico todas las especies de vida silvestre en su jurisdicción; para definir las facultades, poderes y deberes del Secretario del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales; para reglamentar la caza, el uso de armas de caza y la inscripción de las armas de caza; para expedir, renovar y revocar licencias de caza, permisos para operar, costo de caza y permisos de caza o colección con propósitos científicos, educacionales, de recuperación o control poblacional; para establecer la reglamentación para la introducción de especies exóticas a Puerto Rico; para fijar las penalidades por la violación a las disposiciones de esta Ley y de los reglamentos promulgados en virtud de la misma, y para derogar la Ley Núm. 70 de 30 de mayo de 1976, según enmendada”.

La Ley Núm. 49 de 4 de enero de 2003, “Política Pública sobre la Prevención de Inundaciones y Conservación de Ríos y Quebradas”, en el artículo uno dispone que: “Se declara política pública del Gobierno de Puerto Rico preservar los ríos y las quebradas como ecosistemas que proveen múltiples beneficios. El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales podrá llevar a cabo obras de control de inundaciones y canalización de ríos siempre y cuando las obras sean necesarias para prevenir inundaciones en áreas que tienen un historial de inundaciones con daños a la vida y la propiedad y cuya realización tenga un obvio fin e interés público, y que el costo de las mismas sea inferior a la expropiación, reubicación o remoción de estructuras, de construcciones o de rellenos en zonas inundables. El Departamento deberá incluir en su

análisis de costo los impactos ambientales directos, indirectos y acumulativos ocasionados por las obras y el costo de mitigación de tales impactos”.

La *Ley Núm. 416 de 22 de septiembre de 2004, conocida como “Ley sobre Política Pública Ambiental”* deroga y sustituye la Ley Núm. 9 de 18 de junio de 1970 según enmendada, conocida como "Ley sobre Política Pública Ambiental". El propósito de la Ley 416 es crear como “política pública ambiental la utilización de todos los medios y medidas prácticas con el propósito de alentar y promover el bienestar general, para crear y mantener las condiciones bajo las cuales los seres humanos y la naturaleza puedan existir en armonía productiva y cumplir con las necesidades sociales y económicas y cualesquiera otras que puedan surgir con las presentes y futuras generaciones de puertorriqueños". El artículo dos presenta los fines de esta ley:

1. “Establecer una política pública que estimule una deseable y conveniente armonía entre el hombre y su medio ambiente;
2. fomentar los esfuerzos que impedirían o eliminarían daños al ambiente y la biosfera y estimular la salud y el bienestar del hombre;
3. enriquecer la comprensión de los sistemas ecológicos y fuentes naturales importantes para Puerto Rico; y
4. establecer una Junta de Calidad Ambiental”.

El Gobierno de Puerto Rico establece una serie de reglamentos íntimamente asociados al manejo de los recursos naturales y ambientales. Específicamente, mencionamos aquellos que señalan: los estándares de calidad de agua, las guías para la conservación de especies, las medidas de seguridad para áreas de riesgo a inundaciones,

la administración de las aguas y la zona marítimo-terrestre, y la evaluación de los documentos ambientales, entre otros.

El *Reglamento 4282 de 28 de marzo de 2003, según enmendado, “Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de la Junta de Calidad Ambiental”*, expone como meta “preservar, conservar y restaurar la calidad de las aguas de Puerto Rico, de manera que sean compatibles con las necesidades sociales y económicas del Estado Libre Asociado de Puerto Rico”. Los propósitos de este Reglamento son:

1. “Designar los usos para los cuales la calidad de los cuerpos de agua de Puerto Rico deberá ser mantenida y protegida;
2. prescribir los estándares de la calidad de agua a fin de conservar los usos designados;
3. identificar otras reglas y reglamentos aplicables a las fuentes de contaminación que puedan afectar la calidad de las aguas sujetas a este Reglamento; y
4. prescribir medidas adicionales necesarias para alcanzar y mantener la calidad del agua”.

El *Reglamento 6765 de 11 de febrero de 2004, del Departamento de Recursos Naturales, mejor conocido como “Reglamento para Regir la Conservación y el Manejo de la Vida Silvestre, las Especies Exóticas y la Caza en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico”*, determina:

1. “Promover la protección, la conservación y el manejo de las especies de vida silvestre;
2. establecer un mecanismo para la mitigación de modificación de hábitat natural;

3. reglamentar con mayor rigor el otorgamiento de licencias de caza, la inscripción de armas de caza y la revocación y suspensión de las mismas por infracciones expuestas en la ley y en este reglamento;
4. regular la introducción de especies exóticas a Puerto Rico; y
5. regular todas las actividades relacionadas con los recursos de vida silvestre”.

El *Reglamento 6766 de 11 de febrero de 2004, del Departamento de Recursos Naturales, “Reglamento para Regir las Especies Vulnerables y en Peligro de Extinción en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico”*, propone:

1. “Identificar, conservar y preservar las especies vulnerables y en peligro de extinción;
2. propiciar la propagación y supervivencia de especies vulnerables o en peligro de extinción;
3. identificar y promover la conservación de los hábitat naturales críticos y los hábitat naturales críticos esenciales;
4. reglamentar la importación y exportación de especies vulnerables o en peligro de extinción; y
5. adoptar criterios de designación utilizados por la comunidad científica internacional para especies cuya tendencia poblacional podría llegar a estar en peligro crítico e incluso extinguirse en un periodo de tiempo muy breve”.

El *Reglamento 13, sexta revisión, de 31 de diciembre de 2005, “Reglamento sobre Áreas Especiales de Riesgo a Inundaciones”*, establece “las medidas de seguridad para reglamentar las edificaciones y el desarrollo de terrenos en las áreas declaradas como de riesgo a inundaciones y tienen los siguientes propósitos:

1. Restringir o prohibir desarrollos que sean peligrosos a la salud, la seguridad y la propiedad cuando éstos propician el aumento en los bienes de inundaciones o velocidades de las aguas que resulten en aumento en la erosión;
2. requerir que desarrollos que sean vulnerables a inundaciones, incluyendo las facilidades que los sirven, sean protegidos contra inundaciones al momento de su construcción original;
3. evitar o reglamentar la alteración de valles inundables naturales, cursos de agua y barreras protectoras naturales que acomodan o canalizan aguas de inundación o marejadas;
4. controlar el relleno, la nivelación, el dragado, los obstáculos y otro tipo de desarrollo que pueda aumentar los daños por concepto de inundaciones o marejadas;
5. evitar o controlar la construcción de barreras que alteren el flujo de las aguas o que puedan aumentar el riesgo de inundaciones en otras áreas; y
6. no promover la localización de nuevos desarrollos, obstáculos o mejoras sustanciales a menos que se haya demostrado que se han evaluado otras alternativas de localización y que las mismas no son viables”.

El *Reglamento 6026, de junio 2002, de la Junta de Calidad Ambiental, mejor conocido como “Reglamento para la Presentación, Evaluación y Trámite de Documentos Ambientales”*, dispone que:

1. “El proceso de preparación y trámite de los documentos ambientales es uno de planificación y tiene como propósito principal hacer posible que las agencias de Gobierno de Puerto Rico obtengan, evalúen y analicen toda la información

necesaria para asegurar que se tomen en cuenta los factores ambientales en todas y cada una de las decisiones que pudieran en una u otra forma, afectar el ambiente. De esta forma, se garantiza el cumplimiento con la Política Pública Ambiental establecida en el Título de la Ley Núm. 9. Esta Ley establece que será política pública del Gobierno de Puerto Rico utilizar todos los medios y medidas prácticas para alentar y promover el bienestar general y para crear y mantener las condiciones bajo las cuales el Hombre y la naturaleza puedan existir en armonía productiva.

2. Un documento ambiental es una declaración escrita y detallada sobre cualquier acción o actividad que pueda ocasionar algún impacto sobre el ambiente. Los documentos ambientales son instrumentos de planificación que preparan las agencias como parte de su proceso de la toma de decisiones sobre las distintas acciones bajo su consideración. Este proceso de planificación facilita el análisis imprescindible del ambiente que deben tener en cuenta los encargados de tomar las decisiones gubernamentales para llegar a ellas, creando así un marco de referencia que permite la toma de decisiones informadas. Una vez completado el proceso de evaluación del documento ambiental, la agencia proponente, y no la Junta, es la responsable de determinar si la acción o la actividad propuesta, con las modificaciones que pudieran resultar de dicho proceso, si algunas, se van a llevar a cabo, sujeto a la determinación de la Junta sobre si el documento presentado cumple con los requisitos reglamentarios correspondientes.
3. La Junta de Gobierno de la Junta de Calidad Ambiental participa de este proceso desde el punto de vista de fiscalización, conduciendo un trámite investigativo

que incluye la obtención de comentarios y recomendaciones de otras agencias gubernamentales y del público en general. La Junta de Calidad Ambiental realizará su propia evaluación y, a la luz de toda la información obtenida, determinará la adecuación de los documentos ambientales que se le presenten. Este trámite o procedimiento será uno informal, no contencioso y sus conclusiones no conllevan a determinaciones adjudicativas.

4. Las decisiones finales de la Junta de Gobierno de la Junta de Calidad Ambiental podrán ser sometidas al procedimiento de revisión judicial establecido en la Ley de Procedimiento Administrativo Uniforme, Ley Núm. 170 de 12 de agosto de 1988, según enmendada”.

El Reglamento 4860, de 29 de diciembre de 1992, del Departamento de Recursos Naturales de Puerto Rico, conocido como “Reglamento para el Aprovechamiento, Vigilancia, Conservación y Administración de las Aguas Territoriales, los Terrenos Sumergidos Bajo Éstas y la Zona Marítimo-terrestre”, determina que “la actuación administrativa del Departamento sobre los bienes del dominio público marítimo-terrestre perseguirá los siguientes fines:

1. Delimitar la zona marítimo-terrestre y asegurar su integridad y adecuada conservación, adoptando, en su caso, las medidas de protección y restauración necesarias;
2. garantizar el uso público del mar, de su ribera y del resto del dominio público marítimo-terrestre, sin más excepciones que las derivadas de razones de interés público debidamente justificadas;

3. regular la utilización racional de estos bienes en términos acordes con su naturaleza, sus fines y con respeto al paisaje, al medio ambiente y al patrimonio histórico;
4. conseguir y mantener, en armonía con las normas adoptadas por la Junta de Calidad Ambiental, un adecuado nivel de calidad de las aguas y de la ribera del mar;
5. implantar procedimientos uniformes y eficientes para la delimitación de la zona marítimo-terrestre y las otorgaciones, autorizaciones y concesiones para el uso o aprovechamiento de éstas, al igual que para el uso o aprovechamiento de las aguas territoriales y los terrenos sumergidos bajo ellas;
6. evitar o significativamente reducir los riesgos a la vida, propiedad y seguridad pública, mediante la eliminación de desarrollos existentes, o la prohibición de nuevos desarrollos en áreas de alto riesgo y el control adecuado de desarrollo en otros sectores de riesgo; y
7. evitar o significativamente reducir el daño a los sistemas naturales, particularmente, en las áreas de Reserva Natural, al igual que fomentar su conservación y preservación”.

El *Reglamento de Planificación Núm. 4 de la Junta de Planificación de Puerto Rico*, conocido como el “*Reglamento de Zonificación de Puerto Rico*”, propone “guiar y controlar el uso y el desarrollo de los terrenos en Puerto Rico con el fin de contribuir a la seguridad, el orden, la convivencia, la solidez económica y el bienestar general de los actuales y futuros habitantes. Bajo este reglamento existen tres distritos de zonificación para proteger los recursos naturales: la conservación de recursos (CR), la preservación de

recursos (PR) y el bosque de mangle (B-2). El objetivo de dichos distritos es proteger y conservar los recursos naturales mediante restricciones en los usos.”

Algunas de las leyes del Gobierno de Estados Unidos, cuyas disposiciones van dirigidas a la administración y la conservación de los recursos naturales y ambientales, están vigentes en Puerto Rico. Procedemos a citar aquellas leyes que son cónsonas a la información que se desarrolla por medio de este escrito.

La “*Ley de la Política Ambiental Nacional*” de 1969 (*The National Environmental Policy Act, NEPA*) 42 U.S.C. § 4321 et seq., dispone:

1. “Declarar una política nacional que fomente la armonía productiva y agradable entre el hombre y su medio ambiente;
2. promover los esfuerzos que disminuyan o eliminen el daño al medio ambiente y la biosfera de tal forma que no perjudiquen la salud y el bienestar del hombre;
3. enriquecer el conocimiento de los sistemas ecológicos y los recursos naturales que sean importantes para la Nación; y
4. establecer un Consejo de Calidad Ambiental”.

La “*Ley de Administración de Zona Costeras*” de 1972 (*Coastal Zone Management Act, CZMA*) 16 U.S.C.A. §§ 1451 – 1465, declara “que es política nacional preservar, proteger, desarrollar y restaurar, hasta donde sea posible, los recursos nacionales de la zona costanera para las presentes y futuras generaciones; y establecer programas que ayuden al manejo de la zona costera y atender los problemas ambientales costeros”.

La “*Ley de las Especies en Peligro de Extinción*” de 1973, (*Endangered Species Act, ESA*) §§ 1531 – 1541, demostró la preocupación de Estados Unidos por la

disminución de muchas especies de la flora y la fauna silvestres que hay en el mundo. El objetivo de la ESA es “conservar los ecosistemas de los que dependen las especies amenazadas y en peligro de extinción y conservar y recuperar las especies catalogadas en la lista de especies en peligro de extinción. En virtud de la ley, las especies pueden considerarse en peligro de extinción o amenazadas. Por especies en peligro de extinción se entiende aquellas especies que corren peligro de extinguirse en casi su totalidad o en una gran parte de su área de distribución. Por especies amenazadas se entiende aquellas especies que tienen probabilidades de correr peligro en un futuro cercano. Todas las especies de plantas y animales, salvo por los insectos que son plagas, reúnen las condiciones para pertenecer al catálogo de especies en peligro de extinción o amenazadas”.

La ley señala “la designación de hábitat crítico para aquellas especies de la lista según se considere prudente y determinable. El hábitat crítico incluye áreas geográficas en las que se considera prudente y determinable. El hábitat crítico incluye áreas geográficas en las que se encuentren aquellas características físicas o biológicas esenciales para la conservación de las especies y que puedan requerir un especial manejo o protección. El hábitat crítico puede incluir áreas no ocupadas por las especies en el momento de su inclusión en la lista, pero que sean esenciales para la conservación de las especies”.

La “*Ley de Agua Limpia*” de 1977, (*Clean Water Act (CWA)*) 33 U.S.C.S. §§1251-1387, en la sección 1251, indica “las metas y las políticas del Gobierno Federal Estadounidense para restaurar y mantener la integridad química, física y biológica de las aguas de la nación. Para alcanzar dichos objetivos, dispone de ciertas metas como:

eliminar para el 1985, las descargas de contaminantes en las aguas navegables; mantener una calidad de agua que propicie la protección y la propagación de los peces, los crustáceos, la vida silvestre y la recreación; eliminar las descargas de contaminantes tóxicos en las cantidades que son prohibidas; brindar ayuda financiera Federal para construir plantas de tratamiento de desperdicios de uso público; supervisar las plantas de tratamiento de desperdicios para asegurar el control adecuado de las fuentes de contaminantes en cada estado; desarrollar la tecnología necesaria para eliminar la descarga de contaminantes en las aguas navegables, las aguas de la zona contigua y de los océanos; y desarrollar un programa para identificar las fuentes de contaminación”.

En la Sección 307(a)(1) se identifican los contaminantes peligrosos como: “contaminantes persistentes, compuestos con resistencia a la degradación biológica, la presencia usual o potencial de contaminar a los organismos afectados en cualquier agua, la naturaleza y el grado de efecto de los contaminantes tóxicos en los organismos”.

La CWA en la Sección 502(6) define los contaminantes como: “escombros de dragado; desperdicios sólidos; residuos de incineradores; aguas residuales; basura; lodo de aguas residuales; municiones; desperdicios químicos; materiales biológicos, materiales radioactivos; rocas; arena; y desperdicios industriales, municipales y de agricultura”. La CWA en la Sección 502(7) hace referencia a las aguas de la nación y las define como aguas navegables.

La EPA es la agencia encargada de velar por la aplicación del CWA. Esta Agencia obliga a: todos los municipios a utilizar tratamientos secundarios de agua residuales antes que el efluente llegue a las aguas; y a las industrias a que utilicen la

mejor tecnología aplicable para el control de contaminantes convencionales y no convencionales.

La *Ley Federal Abarcadora de Emergencias Ambientales, Compensación y Responsabilidad Pública. (Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA, Superfund))*, aprobada en 1980, autoriza al gobierno federal a limpiar lugares contaminados con sustancias tóxicas o peligrosas. La misma se conoce como “Superfund”, debido a que creó un gran fondo proveniente de arbitrios impuestos a materiales tóxicos o peligrosos para la limpieza de terreno y aguas contaminadas. La ley provee para que el gobierno pueda demandar a las partes responsables y recobrar los costos de limpieza o daños ocasionados.

Ley de Conservación y Recuperación de Recursos, (Resource Conservation and Recovery Act, (RCRA, por sus siglas en inglés)). La ley reglamenta y controla los desperdicios peligrosos desde su origen hasta su eliminación. Esto implica, la generación, el almacenaje, la transportación, el tratamiento y la eliminación de desechos sólidos. Exige reglamentación para tanques soterrados, con el objetivo de prohibir desperdicios de sustancias peligrosas en terrenos. La reglamentación incluye una lista de generadores de desperdicios y establece los tipos de desperdicios que pueden ser depositados en vertederos, exigiendo pre-tratamiento a los desperdicios peligrosos.

La “*Ley sobre Control de Sustancias Tóxicas*” (*Toxic Substances Control Act, TSCA*), 15 U.S.C.A. §§ 2601-2692, propone “desarrollar una base de datos y establecer regulaciones de las sustancias químicas que presentan un riesgo o daño desrazonable a la salud de los seres humanos y al ambiente. Esta base de datos es responsabilidad de los fabricantes de dichas sustancias”.

La “*Ley de Ríos y Puertos*” (*River and Harbors Act*) 33 USC 401 et seq., requiere “permiso del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos para desechar basura en las aguas navegables de la Nación y regular toda actividad que afecte la ubicación y el caudal de un cuerpo de agua navegable, o que suceda en esa agua navegable, sobre o bajo la misma”.

La “*Ley de Prevención de Contaminación Federal*” de 1990 (*Federal Pollution Prevention Act, PPA*) 42 U.S.C.A. 13101, establece “la reducción del volumen y la toxicidad de los desechos en el origen, como un objetivo nacional. La Ley requiere que la EPA desarrolle e implante estrategias para promover la reducción en la fuente, reciclar y/o utilizar métodos para minimizar los contaminantes como: sustancias peligrosas, emisiones fugitivas y/o contaminantes que puedan impactar adversamente al medio ambiente. La EPA indica que la contaminación que no pueda ser prevenida, debe ser entonces reciclada. La contaminación que no pueda ser prevenida o reciclada, debe ser tratada y expone que el ambiente debe ser la última opción para la disposición del contaminante”.

La “*Ley Federal de Insecticidas, Fungicidas y Químicos para el Control de Pestes*” (*Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act, FIFRA*) 7 U.S.C. §136 et seq. (1996), provee “la regulación federal para la distribución, la venta y el uso de plaguicidas. Todos los plaguicidas distribuidos y/o vendidos en Estados Unidos deben estar registrados por la EPA. Antes que la EPA registre un pesticida bajo FIFRA, el solicitante debe evidenciar, entre otros requisitos, que el uso del pesticida, según sus especificaciones, por lo general no produce efectos adversos significativos al ambiente”. La FIFRA define el término “efectos adversos significativos al ambiente como (1) todo

riesgo significativo para el hombre y el ambiente, tomando en consideración los aspectos económicos, sociales y ambientales asociados a los costos y beneficios de la utilización del pesticida; y/o (2) riesgos relacionados a la dieta del ser humano como consecuencia directa de la presencia de residuos que provienen del uso de algún pesticida en cualquier alimento, que difiere con el estándar señalado en la sección 408 de Federal Food, Drug, and Cosmetic Act”.

El *Sistema Nacional de Eliminación de Descarga de Contaminantes*, (*National Pollutant Discharge Elimination Program, NPDES*, por sus siglas en inglés). Programa dirigido a reglamentar la fuentes precisas que descargan directamente en aguas navegables. El permiso restringe la cantidad de contaminante que puede ser descargado a base de unas guías de efluentes existentes y exige determinada tecnología para el tratamiento de las aguas, de acuerdo con la categoría de la industria. Se debe preparar un Reporte de Descargas Mensuales (DMR, por sus siglas en inglés) que contiene un resumen de la pruebas de muestreo y análisis de laboratorio.

Programas de Control de Fuentes Dispersas. La ley provee para que los estados diseñen y dirijan programas para controlar la contaminación de fuentes dispersas. Las fuentes dispersas son las aguas que no salen por un tubo o sitio específico, son aguas que están dispersas por el terreno. También se les conoce como aguas de escorrentías, que se recogen por los alcantarillados de aguas pluviales. Las aguas de escorrentía se contaminan con todo lo que esté en el suelo, por ejemplo, el aceite de motor que botan los automóviles, las sustancias de limpieza industrial y las aguas de riego con contaminantes como plaguicidas. En la construcción, las aguas se contaminan con la sedimentación y también son consideradas fuentes dispersas.

La Regla de Arsénico en el agua potable, (Arsenic Rule). Debido a los efectos a la salud asociados al arsénico, en 1975, la EPA estableció un MCL de 50 µg/L. En el año 2001, la EPA propuso un nuevo estándar de 10 µg/L. Establece que para enero 2006 se debe hacer un muestreo de la caracterización del agua para evaluar la cantidad de arsénico en el agua cruda procesada para consumo.

El objetivo principal de estas leyes es restaurar y mantener química, física y biológicamente las aguas del país para el uso de consumo humano (potable) y disfrute de la sociedad (pesca y nadar). En la actualidad, ciertos reglamentos del Gobierno de Estados Unidos que rigen los recursos naturales, tienen aplicación en Puerto Rico. La Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) se encarga de monitorear el cumplimiento de las leyes y los reglamentos del Gobierno de Estados Unidos que están vigentes en Puerto Rico. Dichos estatutos proveen las guías para manejar los asuntos inherentes a los recursos naturales y ambientales.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En este estudio investigativo se evaluó la concentración de arsénico en un segmento del Río Bayamón. El mismo discurre adyacente al Río Bayamón Golf Course (Figura 1). El objetivo del estudio fue identificar si los niveles de este elemento químico se encuentran sobre los parámetros establecidos por el U.S. EPA. Los valores permitidos para arsénico equivalen a 10 partes por billón (ppb) o 10µg/L (U.S. EPA, 2001). De igual forma, se señalaron los posibles peligros que la presencia de este contaminante implica para la comunidad. En este capítulo, se presenta la metodología por la cual se rige la recopilación y el análisis de los datos.

Área de estudio

El Río Bayamón nace al norte del Barrio Beatriz en el municipio de Cidra a una elevación de 450m sobre el nivel del mar. Este río consta de una longitud aproximada de 40km desde su nacimiento hasta su desembocadura en la Bahía de San Juan. El mismo cruza por los municipios de Cidra, Guaynabo, Toa Baja, Bayamón y Cataño. La cuenca hidrográfica del Río Bayamón drena un área de 105 mi², atravesando los municipios de Cidra, Aguas Buenas, Guaynabo, Bayamón y Cataño (ACT, 2007) (Figura 2). Este río funciona como delimitación territorial para Bayamón y Guaynabo. El área de estudio seleccionada es la parte del río que tiene contacto con el Río Bayamón Golf Course (Figura 1). Este campo de golf se encuentra en la intersección de la carretera PR 177 y la PR 891 y es el único en el área metropolitana.

Objetivo 1. Determinar la concentración de arsénico en el agua del Río Bayamón.

Periodo de estudio

El estudio se llevó a cabo durante los meses de agosto y septiembre del año 2010. Cada muestreo se realizó en las horas de la mañana para mantener una uniformidad en la recopilación de las muestras.

Diseño metodológico

Se seleccionó un segmento del Río Bayamón que colinda con el campo de golf para eliminar cualquier variante que pueda interrumpir en los datos deseados (Figura 1). Para determinar la presencia de residuos del herbicida MSMA, se evaluó la concentración de arsénico en el agua. Se comparó la concentración presente en el agua del Río Bayamón con la permitida por la U.S. EPA de 10µg/L. Estos datos permiten determinar el impacto que ejercen las escorrentías y los lixiviados de los campos de golf sobre la calidad de agua.

El diseño de este estudio incluyó tomar 10 muestras de agua en cinco localizaciones distintas a lo largo del campo de golf. Se tomaron las muestras en dos fechas distintas con un intervalo de un mes entre cada grupo. El propósito fue observar alguna variación en los resultados obtenidos debido a los cambios en las condiciones atmosféricas. Se recolectaron todas las muestras de agua de la siguiente forma:

1. El día antes del muestreo, se preparó una lista en una libreta para identificar e indicar de cada muestra lo siguiente:
 - a. Número de muestra
 - b. Tipo de agua o nombre del cuerpo de agua

- c. Fecha
 - d. Hora
 - e. Punto del muestreo o localización.
2. Se rotularon las botellas con los números del uno al cinco para distinguir los distintos puntos de muestreo (Apéndice 1).
 3. El día del muestreo se utilizó un machete para abrir el paso y llegar al río.
 4. Se establecieron los puntos de muestreo utilizando un Garmin GPS 72H (Tabla 1) (Apéndices 2 -6).
 5. Las muestras se tomaron en botellas de plástico de 250mL preparadas por EQ Lab, laboratorio certificado localizado en Bayamón, Puerto Rico (Apéndice 1). Dichas botellas contienen el preservativo ácido nítrico con un $\text{pH} < 2$.
 6. Se usaron guantes de látex desechables para tomar las muestras.
 7. En el punto de muestreo correspondiente, se abrió cada botella de forma horizontal justo sobre la superficie del agua, en contra de la corriente sin agitar el agua.
 8. Se sumergieron las botellas hasta la mitad para evitar que se llenen en su totalidad. Luego de remover las botellas del punto de muestreo previamente establecido, las mismas se cerraron.
 9. Se llenaron unas etiquetas para colocarlas en cada botella y de tal forma identificarlas con la información obtenida en el primer paso. El laboratorio proveyó dichas etiquetas.
 10. Se llevaron las muestras al laboratorio para realizar el Método 200.9: Determination of Trace Elements by Stabilized Temperature Graphite Furnace

Atomic Absorption, según indica la U.S. EPA. De tal forma, determinamos las concentraciones totales de arsénico.

Para procesar la muestra utilizando el Método 200.9, se mide y pesa una alícuota de una muestra homogénea acuosa o sólida. Con el propósito de efectuar el análisis total de una solución sólida o acuosa que contiene material no disuelto, se solubilizan los analitos por medio del reflujo con los ácidos nítrico e hidroclicórico. Después que se enfría la muestra, se ajusta el volumen, se mezcla y se centrifuga o se permite que se sedimente la noche previa al análisis. Luego, se prepara la muestra para el análisis al añadir ácido nítrico seguido de la dilución a un volumen determinado y la mezcla homogénea de la misma. Este mecanismo se lleva a cabo con el objetivo de identificar los analitos disueltos en la muestra acuosa filtrada o para el análisis directo de la recuperación total de analitos en una muestra con turbidez <1 NTU.

Los analitos incluidos en este método se determinan por medio de la absorción atómica en un horno de plataforma de grafito con temperatura estabilizada (STPGFAA, por sus siglas en inglés). En este mecanismo, primero se pipetea la muestra y el modificador de la matriz a la plataforma o el dispositivo que retrasa la atomización. La cámara del horno se mantiene estéril con el flujo constante de una mezcla gaseosa de 95% argón y 5% hidrógeno. La muestra se seca a una temperatura aproximada de 120°C. Posteriormente, la misma se trata o se incinera para minimizar los efectos de interferencia causados por la matriz de la muestra correspondiente. Al culminar este paso, el horno se deja enfriar antes de comenzar la atomización. El ciclo de atomización se caracteriza por el calentamiento acelerado del horno a una temperatura en la cual el metal o analito se

atomiza de la superficie pirolítica del grafito hacia una atmósfera de gas con argón y 5% hidrógeno.

La nube atómica resultante absorbe la emisión atómica del elemento específico producida por una lámpara de cátodo hueco (HCL, por sus siglas en inglés) o una lámpara de descarga sin electrodos (EDL). Luego de culminar el análisis, el horno se limpia a una temperatura alta y con un flujo continuo de argón. Se utiliza un instrumento de corrección de fondo debido a que la absorbancia resultante tiene un componente no-específico asociado a la absorbancia del analito real. De tal forma, se elimina la señal emitida por el componente no-específico. Al excluir las interferencias, la absorbancia corregida está directamente relacionada a la concentración del analito (Creed, Martin & O'Del, 1994).

Objetivo 2. Determinar si hay un aumento en la concentración de arsénico por el uso del MSMA y si representa un peligro ambiental.

Se evaluaron los resultados para comprobar si el uso de MSMA en el campo de golf representa una fuente del contaminante arsénico en el agua. Posteriormente, se compararon los valores obtenidos con el límite asignado por la U.S. EPA, equivalente a 10µg/L.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo primordial de analizar las muestras de agua recolectadas en el segmento del Río Bayamón adyacente al Río Bayamón Golf Course fue determinar la presencia de arsénico total en el agua superficial. Se utilizaron pruebas cuantitativas para establecer la concentración total de arsénico en dicho líquido. Al mismo tiempo, se determinó si el uso de plaguicidas con arsénico, como el MSMA, contribuye a la presencia del contaminante en el cuerpo de agua. Durante el transcurso de esta investigación, evaluamos la concentración de arsénico total en el agua utilizando 10 muestras totales tomadas en cinco puntos distintos. Las muestras se tomaron en dos ocasiones, con un intervalo de un mes. Los análisis demostraron que las concentraciones de dicho contaminante se encontraban bajo el nivel de detección. Por tal motivo, cumple con el parámetro establecido por la U.S. EPA (Apéndices 7-19).

Los resultados obtenidos del análisis de las muestras de agua se compararon entre sí para identificar las diferencias y las posibles anomalías en la concentración total de arsénico. Se observó una gran similitud entre los resultados de todas las muestras. Los mismos indicaron que la concentración de arsénico total se encontraba bajo el límite de detección (BDL, por sus siglas en inglés), equivalente a 0.5 µg/L (Tabla 2 y Tabla 3). Este hecho no significa que el cuerpo de agua esté libre de arsénico. Por el contrario, no se encuentra en concentraciones alarmantes o que presenten peligros para el ambiente, que incluye la salud humana. La presencia de otros contaminantes nocivos tampoco se descartó. Con el fin de determinar la calidad del agua, ciertos parámetros biológicos,

químicos y físicos se deben tomar en consideración. Entre éstos se mencionan los coliformes fecales, el pH y el oxígeno disuelto (Clean Water Act, 1977).

Se analizaron los resultados obtenidos en las dos secciones de estudio y se compararon con la base de datos del United States Geological Survey (USGS) sobre el flujo de agua del Río Bayamón para las fechas de 17 de julio de 2010 hasta el 17 de septiembre de 2010. Para las fechas correspondientes al primer grupo de estudio, 17 de julio al 17 de agosto de 2010, los niveles del flujo de agua fluctuaban entre los 800 pies cúbicos por segundo como la máxima y la mínima de unos 30 pies cúbicos por segundo (Figura 3). Comparamos estos datos con los del año anterior para la misma fecha y demuestran un aumento en el flujo de agua. Para el 17 de julio al 17 de agosto de 2009, el mismo fluctuaba entre los 400 pies cúbicos por segundo como la máxima y la mínima alrededor de 18 pies cúbicos por segundo (Figura 4).

Los resultados obtenidos para la segunda sección de análisis se contrastaron con la base de datos de USGS para las fechas entre el 17 de agosto hasta el 17 de septiembre de 2010. Los datos mostraban la medida máxima del flujo de agua en 1,900 pies cúbicos por segundo y la mínima alrededor de los 5 pies cúbicos por segundo (Figura 5). Al comparar estos datos con los obtenidos para la misma fecha en el año 2009, se observa un aumento en el flujo máximo mientras que el mínimo disminuye. Del 17 de agosto al 17 de septiembre de 2009, los valores respectivos aproximados de las medidas máximas y mínimas eran de 200 y 15 pies cúbicos por segundo (Figura 6).

Evaluar el patrón del flujo de agua un mes previo a cada muestreo permitió observar un aumento significativo en el flujo de éste para cada uno. Se confirmó que el segundo muestreo contó con una mayor cantidad de agua pluvial. Al comparar los

valores obtenidos de ambos grupos de muestras analizadas por EQ Lab, se determinó que los resultados fueron iguales aun con la marcada diferencia en el flujo de agua. Por consiguiente, concluimos que en este caso particular los disturbios atmosféricos no tuvieron un impacto significativo sobre el resultado final (Tabla 2 y 3).

Al comparar este estudio con los expuestos como estudios de caso, surgieron diferencias sustanciales en los resultados. Podemos comparar este estudio con el realizado en Little Lake Jackson ubicado en Highlands County, Florida. Este cuerpo de agua está rodeado por tres campos de golf con un total de 45 hoyos. El primer campo de golf de 18 hoyos se inauguró en el año 1926. Las aguas de Little Lake Jackson han sido afectadas por las escorrentías y las actividades antropogénicas adyacentes. Este lago se utilizó en el sistema de irrigación de Sebring Municipal Golf Course hasta el año 1960. Luego de esta fecha las zanjas de este sistema se utilizaron para dirigir las escorrentías al lago. Por otra parte, en los tres campos aplicaron el hierbicida MSMA tres veces al año, según la recomendación del fabricante.

Los plaguicidas emergen de los campos de golf por la combinación de la aplicación constante de los mismos, la irrigación frecuente y la efectividad del sistema de drenaje del campo (Sperling, 2005). De acuerdo a la información expuesta, podemos deducir que el lago es un punto de referencia para el encuentro de las escorrentías de los tres campos de golf. Según se acumula el arsénico en el suelo debido a los años de aplicación, se crea una fuente de contaminación para las aguas subterráneas (Ma et al., 2002). Como consecuencia directa, los residuos del hierbicida llegan continuamente a su cauce. Por tal motivo, las concentraciones de arsénico en el agua fluctúan entre dos a once veces mayor a la permitida por la U.S. EPA (Tabla 4).

Según los resultados obtenidos del análisis de las muestras de agua del Río Bayamón es evidente que las fuentes de contaminación en Little Lake Jackson sobrepasan a razón de tres a uno las del Río Bayamón (Figura 7). Dicho río está adyacente a un campo de golf de nueve hoyos. El mismo se inauguró en el año 2005. En los seis años que lleva operando el Río Bayamón Golf Course, el suelo no ha estado expuesto al pesticida con la misma intensidad que los campos de golf que rodean a Little Lake Jackson.

El análisis realizado en el Río Bayamón también se puede comparar al segundo estudio de caso. Este se enfoca en la composición del suelo y como éste afecta la percolación de arsénico. Según se indica, el tipo de sustrato es de suma importancia para la transportación de arsénico. De acuerdo a la investigación sobre la transportación y transformación de arsénico aplicado en forma de MSMA a los campos de golf, se concluye que los sustratos cuyos componentes sean una mezcla de arcilla, arena y materia orgánica son más propensos a detener o retener el arsénico en el suelo en comparación con los que se componen de arena. La capacidad de absorción de las arcillas se debe a su superficie hidrofílica y de carga negativa. Por tal razón, absorbe plaguicidas catiónicos y altamente polares (Cornejo, Celis, Pavlovic & Ulibarri, 2007b).

El suelo de Bayamón se compone de un 63.5 a un 72.2% de arcilla, según la información provista por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos (NRCS, por sus siglas en inglés) (2010). El mismo consta de un 10.8 a 31.8% de arena y de un 3.3 a 17.0% de limo. La alta concentración de arcilla presente en el suelo de Bayamón fomenta la retención de arsénico.

Por otro lado, al evaluar los campos de golf se deben considerar varios factores de suma importancia. De acuerdo al estudio realizado y a los diversos casos analizados para esta investigación, podemos concluir que reconocer los siguientes criterios permite comprobar si los mismos presentan una amenaza como fuente de contaminación inmediata o futura. El primer factor es el tiempo de exposición del suelo, es decir, cuánto tiempo lleva el campo de golf operando y utilizando hierbicidas que contienen compuestos de arsénico. La concentración de arsénico que se encuentra e identifica en el sustrato depende de este tiempo. Esto se debe a la cualidad acumulativa de dicho elemento por el uso prolongado. De acuerdo a la concentración hallada se estima el daño potencial en el cuerpo de agua.

Un segundo aspecto que permite una identificación más certera del peligro al ambiente es la cantidad aplicada de estos químicos en libras o toneladas y la repetición de la aplicación en un periodo de un año. Estos datos permiten hacer un cálculo aproximado de la cantidad de arsénico presente en el suelo. Por último, el tercer criterio analizado es la composición del sustrato en el cual se establece el campo de golf. Éste es crucial debido a que la composición del suelo determina la rapidez con la cual el cuerpo de agua se puede afectar. Los tres factores mencionados facilitan precisar con mayor exactitud el peligro que presenta la contaminación por arsénico a los golfistas, los empleados del campo de golf, la comunidad, el suelo, los cuerpos de agua adyacentes y el ambiente en general.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Realizamos un análisis químico sobre la presencia de arsénico total en un segmento del Río Bayamón, adyacente al Río Bayamón Golf Course. El objetivo principal de este estudio fue determinar si las concentraciones de dicho elemento presentes en el cuerpo de agua exceden los límites permisibles según la U.S. EPA. Para cumplir tal propósito, analizamos 10 muestras de agua. Las primeras cinco muestras se tomaron y analizaron con un mes de diferencia al segundo grupo compuesto por las cinco muestras restantes. Cada muestra corresponde a un punto de muestreo específico en el río. Con el propósito de determinar la exactitud de estos puntos, se identificaron con el Garmin GPS 72H. El segundo conjunto de muestras se tomó en los mismos puntos del primer muestreo. Las muestras de agua se examinaron en EQ Lab. El método analítico utilizado para determinar este parámetro fue el 200.9 de la U.S. EPA. Este procedimiento se conoce como Determination of Trace Elements by Stabilized Temperature Graphite Furnace Atomic Absorption (STPGFAA). Se evaluaron los resultados mediante la comparación con el límite establecido por la U.S. EPA.

Al observar los resultados obtenidos podemos concluir que los efectos tóxicos de los compuestos de arsénico no se han manifestado fuera del suelo. El poco tiempo de operación del campo es evidencia de la limitada exposición del suelo al pesticida. A su vez, las concentraciones elevadas de arcilla presente en el sustrato de Bayamón contribuyen a que el contaminante no afecte el cuerpo de agua. Por consiguiente, la concentración total de arsénico no representa un peligro para los organismos acuáticos y

terrestres ya que las concentraciones del contaminante se encuentran por debajo al límite de detección.

La prevención debe ser la primera herramienta para evitar la contaminación por arsénico de las aguas y los suelos. Como consecuencia, podemos recomendar no aplicar el MSMA en épocas de lluvia o antes de irrigar el césped. Limitar o reducir la frecuencia y cantidad de plaguicida aplicado disminuye el peligro de contaminación. Realizar análisis de suelo del campo de golf y los sedimentos del río permiten obtener datos más certeros que pueden prevenir efectos adversos en el ambiente general. En el caso de que hayan concentraciones elevadas de arsénico, el paso correspondiente es la remoción. Los avances en la ingeniería ambiental proponen varias alternativas viables para la remoción de arsénico en el agua potable. La efectividad del método empleado depende de la concentración inicial de arsénico, su estado de oxidación y el pH (Castro de Esparza, 2006).

Una de las técnicas de remoción de arsénico que se utiliza a gran escala se conoce como el ablandamiento con cal. La misma sirve para remover el contaminante en aguas duras y de pH alcalino. La cal se hidroliza y reacciona con el ácido carbónico para formar carbonato de calcio. Este compuesto actúa como un agente absorbente en la remoción de As (U.S. EPA, 2007). El segundo método empleado en sistemas grandes es el de coagulación acompañado por filtración o absorción. Las plantas de tratamiento de agua que usan la coagulación-filtración remueve el arsénico con sulfato de amonio o de hierro. Los mismos se hidrolizan para formar hidróxidos con los que interacciona el arsénico y se precipita con otros iones. El proceso de coagulación-absorción remueve el arsénico y varios compuestos disueltos en el agua. Es necesario oxidar el As(III) a As(V)

para removerlo con mayor efectividad. De la hidrólisis de las sales de hierro y aluminio en el agua contaminada surge un producto gelatinoso en el cual se absorben las partículas de arsénico. Por tal motivo, se facilita la remoción de dicha sustancia tóxica del agua potable (Universidad Rey Juan Carlos, 2008).

En sistemas menos complejos se utilizan diversas técnicas de remoción de arsénico. Entre éstas se mencionan el intercambio iónico, la osmosis inversa y la nanofiltración. Las resinas de intercambio iónico se regeneran con facilidad, cubren un intervalo amplio de pH y mejoran la calidad del agua (Siemens Water Technologies, 2010). Por otra parte, ciertas membranas sintéticas actúan como un filtro que remueve los compuestos de arsénico. Los mecanismos de separación física se conocen como osmosis inversa y nanofiltración. Ambas membranas son ideales para aguas subterráneas, en las cuales la presencia de As(III) es mayor a la de As(V). Esto se debe a que la efectividad de las membranas no requiere del proceso de oxidación (U.S. EPA, 2007). Otras técnicas valiosas para la remoción de arsénico incluyen la alúmina activada y la electrodiálisis inversa.

La contaminación del agua debilita o destruye los ecosistemas naturales que mantienen la salud humana, la producción de alimentos y la biodiversidad. El agua limpia y segura es vital para el desarrollo y la supervivencia de todos los organismos. Al mismo tiempo, asegura el funcionamiento efectivo de los ecosistemas, las comunidades y las economías. Por tales motivos, se han diseñado varios métodos de biorremediación para remover ciertos contaminantes como por ejemplo, el arsénico, del suelo y fuentes de agua potable.

La fitorremediación consiste en plantar especies de vegetales que absorben y almacenan las sustancias tóxicas en los terrenos contaminados. Dichas plantas hiperacumuladoras remueven los contaminantes del suelo y las aguas subterráneas según sus raíces absorben el agua afectada. Estas sustancias se almacenan en las raíces, los tallos y las hojas, donde pierden en cierto grado su cualidad tóxica o se convierten en gases liberados por transpiración. La U.S. EPA promueve el uso de esta técnica ya que el área contaminada se limpia sin remover el terreno o bombear el agua subterránea. Esta ventaja evita el contacto de los trabajadores con los contaminantes (U.S. EPA, 2000b).

Otro método que emplea organismos vivos para la remoción de arsénico surgió cuando un grupo de científicos de la Universidad de Florida descubrió un helecho que absorbe las sustancias químicas del suelo contaminado. El *Pteris vittata* utiliza el arsénico para su alimentación. Su capacidad de extracción se maximiza en terrenos alcalinos. Estudios con esta planta revelaron que la misma se desarrolla mejor en suelos contaminados con arsénico. El helecho acumula el 90% del arsénico en sus hojas y tallos. Éstos se cosechan y se transfieren a la instalación autorizada para el manejo de residuos peligrosos (Ma et al., 2001).

Los avances en la tecnología que permiten detectar, tratar y prevenir la contaminación ambiental son cruciales para la supervivencia de los humanos y el ambiente general. De igual manera, educar a la población e informar de manera objetiva los resultados de las investigaciones permiten disminuir los efectos nocivos a la salud de los humanos. La labor de conservar limpios los cuerpos de agua le corresponde tanto a las agencias públicas y privadas como a la población en general. Por tal motivo, el

conocimiento, el continuo rastreo de nuestro ambiente en general y la publicación de los datos promueven asegurar una mejor calidad de vida para todos los seres vivos.

Por otro lado, al evaluar los hallazgos de esta investigación y compararlos con otros estudios de caso se identificaron diversas limitaciones. Entre éstas podemos mencionar: las condiciones climáticas deterioradas por la alta incidencia de lluvia, el tiempo operacional del campo de golf, la exposición poco prolongada del arsénico en el césped del mismo y la falta de información sobre la repetición en el uso del plaguicida. El arsénico es un contaminante acumulativo a largo plazo. Por tal razón, sus efectos tóxicos en el suelo y el agua aun no se han manifestado. Estos factores se asocian de forma directa a los resultados obtenidos. En contraparte, la falta de recursos económicos imposibilitó efectuar un análisis de suelo del campo de golf y los sedimentos del río.

LITERATURA CITADA

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR] (2007). *Toxicology profile for Arsenic*. Recuperado de <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.html>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR] (2009). *Case studies in environmental medicine*. Recuperado de <http://www.atsdr.cdc.gov/csem/arsenic/docs/arsenic.pdf>
- Armbrust, K.L. & Peeler, H.B. (2002). Effects of formulation on the run-off of imidacloprid from turf. *Pest Management Science*. 58: 702-706
- Autoridad de Carreteras y Transportación [ACT]. (2007). *Plan de desarrollo orientado al transporte colectivo para las estaciones del Tren Urbano*. San Juan, Puerto Rico.
- Bangladesh Centre for Advanced Studies [BCAS]. (1997). *Arsenic Special Issue, BCAS Newsletter* (Vol. 8 No. 1). Bangladesh.
- Benitez, M., Osicka, R., Gimenez, M. & Garro, O. (2000). *Arsénico total en aguas subterráneas en el centro oeste de la provincia de Chaco*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.
- Beyond Pesticides. (2003). *Herbicide causes problems on golf courses*. Recuperado de http://www.beyondpesticides.org/news/daily_news_archive/2003/9_04_03.htm
- Cáceres, N. (2007). *Efectos del urbanismo en la calidad del agua del Río Bayamón*. Disertación de tesis de maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan, Puerto Rico.
- Calvert, J. (2004). *Arsenic*. Recuperado de: <http://mysite.du.edu/~jcalvert/phys/arsenic.htm>
- Castro de Esparza, M.L. (2006a). *Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Recuperado de <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/cd51/arsenico-agua.pdf>
- Castro de Esparza, M.L. (2006b). *Remoción del arsénico en el agua para bebida y biorremediación de suelos*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Recuperado de <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/cd51/remocion-agua.pdf>
- Cavallaro, S. (2005). *Arsénico*. Recuperado de <http://www.ecogenesis.com.ar/index.php?sec=articulo.php&Codigo=119>

- Chiras, D. (2001a). Principles of ecology. *Environmental Science*. 5ta Edición. Jones and Bartlett Publishers, Inc.
- Chiras, D. (2001b). Undoing the damage to Florida, Kissimmee River. *Environmental Science*. 5ta Edición. Jones and Bartlett Publishers, Inc.
- Cornejo, L., Celis, R., Domínguez, C., Hermosín, M.C. & Cornejo, J. (2007a). *Use of modified montmorillonites to reduce herbicide leaching in sports turf surface: Laboratory and field experiments*. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, España.
- Cornejo, J., Celis, R., Pavlovic, I. & Ulibarri, M. (2007b). *Interaction of pesticides with clays and layered double hydroxides: A Review*. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, España.
- Creed, J., Martin, T. & O'Del, J. (1994). Method 200.9: Determination of trace elements by stabilized temperature graphic furnace atomic absorption. *Environmental Monitoring System Laboratory Office of Research and Development U.S. EPA*. Cincinnati, Ohio.
- Departamento de Recursos Naturales. [DRNA] (2008a). *Estimación y proyección de la demanda de agua y los requerimientos de producción en Puerto Rico*. Plan Integral de Recursos de Agua. Recuperado de <http://www.drna.gobierno.pr/oficinas/arn/agua/negociadoagua/planagua/plan-integral-de-recursos-de-agua-de-puerto-rico/plan-integral-de-recursos-de-agua-de-puerto-rico-2008/CAPITULO II ABRIL2008.pdf>
- Departamento de Recursos Naturales [DRNA] (2008b). *Conceptualización del plan*. Plan Integral de Recursos de Agua. Recuperado de <http://www.drna.gobierno.pr/oficinas/arn/agua/negociadoagua/planagua/plan-integral-de-recursos-de-agua-de-puerto-rico/plan-integral-de-recursos-de-agua-de-puerto-rico-2008/CAPITULO I ABRIL2008.pdf>
- Departamento de Recursos Naturales [DRNA] (2008c). *El recurso de agua en Puerto Rico*. Plan Integral De Recursos de Agua. Recuperado de <http://www.drna.gobierno.pr/oficinas/arn/agua/negociadoagua/planagua/plan-integral-de-recursos-de-agua-de-puerto-rico/plan-integral-de-recursos-de-agua-de-puerto-rico-2008/CAPITULO III ABRIL2008.pdf>
- Elmariah, S., Anolik, R., Walters, R., Rosenman, K., Pomeranz, M. & Sánchez, M. (2008). Invasive squamous-cell carcinoma and arsenical keratoses. *Dermatology Online Journal*. 14(10): 24
- Enciclopedia de Puerto Rico. (2010). *Municipio de Bayamón*
Recuperado de:
<http://www.encyclopediapr.org/esp/article.cfm?ref=07121001&page=1>

- Feldman, J. (2005). Golf course pesticides and organic practices. *Beyond Pesticides*. Recuperado de <http://www.beyondpesticides.org/golf/background.htm>
- Frederick, J., Kenneth, B. & Chien-Jen, C. (1994). Health implications of arsenic in drinking water. *Journal of the American Waterworks Association*. 54: 53-63.
- García, N., López, A., Soto, M., García, T., Rosado, S. & Berríos, B. (2000). Environmental impact of Navy activities in Vieques. *Servicios Científicos y Técnicos, Inc.*
- Greenwood, N.; & Earnshaw, A. (1997). Arsenic, Antimony and Bismuth. *Chemistry of the Element*. Elsevier Science Ltd
- Helena Chemical Company. (2005). *Specimen Label*. Recuperado de <http://www.cdms.net/LDat/ld932000.pdf>
- Hernández Ramírez, P. (1999). Renacimiento de un viejo medicamento. *El empleo del arsénico en el tratamiento de la leucemia promielocítica*. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.ph?pid=S0864-892000000100009&script=sci_arttext&tlng=
- Hoffman, R.S., Capel, P.D. & Larson, S.J. (2000). Comparison of pesticides in eight U.S. urban streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 19(9): 2249-2258.
- International Agency for Research on Cancer [IARC]. (2004). IARC monograph on the evaluation of carcinogenic risk to humans. *Some drinking water disinfectant and contaminants, including arsenic*. Lyon, FR: International Agency for Research on Cancer.
- International Programme on Chemical Safety [IPCS] (2001). *Environmental health criteria for arsenic and arsenic compounds*. Recuperado de <http://www.greenfacts.org/en/arsenic/>
- Jiménez, E. (2009). Fundación de Bayamón. *Bayamón y su gente*. Barcelona, España. Editorial Rumbos.
- Kwong, M.L. & Todd, D. (1997). Delicious poison: Arsenic trioxide for the treatment of leucemia. *PubMed*. 89(9): 3487-3488
- Lugo, A.E., García, A., Nunci, H. & Ruiz, B.I. (1996). Ríos y Quebradas. *Cartilla del agua para Puerto Rico*. Río Piedras, Puerto Rico. Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.
- Ma, L., Komar, K., Tu, C., Zhang, W., Cai, Y. & Kennelly, E. (2001). *A fern that hyperaccumulates arsenic*. *Nature* 409:579. Recuperado de <http://www.ifas.ufl.edu/~qma/PUBLICATION/Nature.pdf>

- Ma, L., Cao, R., Hardinson, D., Chen, M., Harris, W. & Sartain, J. (2002). *Environmental impact of lead pellets at shooting range and arsenical herbicides on golf courses in Florida*. Soil and Water Department, University of Florida, Gainesville, Florida.
- Matschullat, J. (2000). Arsenic in the geosphere – a review. *Science Total Environment*.
- Mazumder, D. (2000). *Diagnosis and treatment of chronic arsenic poisoning*. Recuperado de: www.who.int/water_sanitation_health/dwq/arsenicun4.pdf
- Moreno, D. (2007). *¿Qué es el arsénico?* University of Arizona. Recuperado de http://superfund.pharmacy.arizona.edu/outreach/InformationSheets/Arsenic/web_Que es el arsenico.pdf
- Moore, J.W. & De Santos, R.S. (1991). *Inorganic compounds of surface water: Research and monitoring priorities*. Berlín, Alemania. Springer-Verlag.
- Municipio de Bayamón. (2007, junio). Municipio de Bayamón: Perfil socio-económico del centro urbano. *Taller de Planificación Social*. Bayamón, Puerto Rico.
- Municipio de Bayamón. (2009). *Río Bayamón Golf Course*. Recuperado de <http://www.municipiodebayamon.com/rio-bayamon-golf-course/>
- Murphy, E.A. & Aucott, M. (1998). An assessment of the amounts of arsenical pesticides used historically in a geographical area. *Science Total Environment*. 218(2-3): 89-101
- National Research Council [NRC]. (2000). *Arsenic in drinking water*. Washington, DC: National Academy Press
- Natural Resources Conservation Service [NRCS] (2010). *Bayamón – the representative soil of Puerto Rico*. Recuperado de: http://www.pr.nrcs.usda.gov/technical/soil_survey/prstsoil.html
- Negrón, J. (2008). *Evaluación de la presencia de bifenoles policlorados en el suelo de la Ciénaga las Cucharillas en Cataño y los riesgos potenciales a las comunidades adyacentes*. Disertación de tesis de maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan, Puerto Rico.
- Novick, S.C. & Warrell, R.P. (2000). Arsenicals in hematologic cancers. *PubMed*. 5: 495-501.
- Ocasio Santiago, F. (2008). *Evaluación de la calidad del agua y posibles fuentes de contaminación en un segmento del Río Piedras*. Disertación de tesis de maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan, Puerto Rico.

- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2006). *Mitigación de los efectos del arsénico presente en las aguas subterráneas*. (Publicación No. EB118/14)
- Palaniappan, M., Gleick, P., Allen, L., Cohen, M., Christian-Smith, J. & Smith, C. (2010). *Clearing the waters: A focus on water quality solutions (ISMN: 978-92-807-3074-6)*. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme. Recuperado de http://www.unep.org/PDF/Clearing_the_Waters.pdf
- Paoloni, J., Sequeira, M., Espósito, M., Fiorentino, C. & Blanco, M. (2009). Arsenic in water resources of the Southern Pampa Plains, Argentina. (Article ID 216470). *Journal of Environmental and Public Health*
- Rivera, C., Cornejo, J. & Cox, L. (2007). *El uso de arcillas orgánicas y modificadas en la prevención de contaminación por pesticidas*. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiológicos de Sevilla
- Rose, M., Lewis, J., Langford, N., Baxter, M., Origgi, S. & Barber, M. (2007). Arsenic in seaweed—forms, concentration and dietary exposure. *Food and Chemical Toxicology* 45(7): 1263–1267.
- Rossmann, T. (2007). Arsenic. *Environmental and occupational medicine*. 4ta edición. Hagerstown, MD: Lippincott Williams & Wilkins
- Ruiz Marrero, C. (2004). *Las Inundaciones y la Mala Planificación*. Isabela, Puerto Rico
Recuperado de: <http://www.moralespr.tripod.com/inuncaciones.htm>
- Saha, J., Dikshit, A., Bandyopadhyay, M. & Saha, K. (1999). A review of arsenic poisoning and its effects on human health. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 29(3): 281-313
- Sambu, S. & Wilson, R. (2008). *Arsenic in food and water – A brief history*. Department of Physics, Harvard University
- Sancha, A., O’Ryan, R., Marchetti & Ferreccio, C. (1998). *Análisis de Riesgo en la Regulación Ambiental de Tóxicos: Caso del Arsénico en Chile*. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Lima, Perú.
- Scarlatos, P.D. & Scarlatos, D. (1997). *Ecological impact of arsenic and other trace metals from application of recovered screened materials of Florida soils*. Civil Engineering Graduate Program. Florida Atlantic University, Boca Raton, Florida.
- Siemens Water Technologies (2010). *Arsenic removal from groundwater*. Recuperado de http://www.water.siemens.com/en/applications/groundwater_remediation/arsenic-removal/Pages/default.aspx
- Simeonova, P. & Luster, M. (2004). Arsenic and atherosclerosis. *Toxicology Applied in Pharmacology*. 198: 444 - 449

- Smedley, P.L. & Kinniburgh, D. C. (2002). *A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters*. Elsevier Science Ltd.
- Sperling. (2005). *Use of Organoarsenicals as pesticides may lead to contamination of soils and groundwater with toxic arsenic species*. Recuperado de <http://www.speciation.net/Public/News/2005/05/15/1472.html>
- Solo-Gabrielle, H., Sakura-Lemessy, D., Townsend, T., Dubey, B. & Jambeck, J. (2003). *Quantities of arsenic within the State of Florida* (Report # 03-06). Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, Gainesville, Florida.
- Suzuki, T., Kondo, H., Yaguchi, K., Maki, T. & Suga, T. (1998). Estimation of leachability and persistence of pesticides at golf courses from point-source monitoring and model to predict pesticide leaching to groundwater. *Environmental Science Technology*. 32: 920-929.
- Tatham, M., Geoffroy, M., Shen, L., Pleshanovova, A., Hattersley, N., Jaffray, E., Palvimo, J. & Hay, R. (2008) RNF4 is a poly-SUMO-specific E3 ubiquitin ligase required for arsenic-induced PML degradation. *Nature Cell Biology* 10 (5): 538-546.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1977). *Clean Water Act* (CWA 33 U.S.C.S §§1251-1387).
- U.S. Environmental Protection Agency. (2000a). *Arsenic occurrence in public water supplies* (EPA-815-R-00-023). Washington, D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2000b). *Introduction to phytoremediation* (National Risk Management Research Laboratories. Office of Research and Development. EPA 600-R-99-107). Recuperado de <http://www.clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2001). *Arsenic and clarifications to compliance and new source monitoring rule: A quick reference guide*. Recuperado de <http://www.epa.gov/ogwdw/arsenic/pdfs/quickguide.pdf>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2005). *Material safety data sheet*. Recuperado de <http://www.pbigordon.com/pdfs/MSMAHerbicide-MSDS.pdf>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2006). *Organic Arsenical Herbicide (MSMA, DSMA, CAMA, and Cacodylic acid), Reregistration Eligibility Decision; Notice of Availability*. Recuperado de <http://www.epa.gov/EPA-PEST/2006/August/Day09/p12905.htm>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2007). *Water & health series: Filtration facts*. Recuperado de http://www.epa.gov/safewater/faq/pdfs/fs_healthseries_filtration.pdf

- U.S. Environmental Protection Agency. (2009). *Organic arsenical; product cancelation ordered and amendments to terminate uses*. Recuperado de <http://www.epa.gov/EPA-PEST/2009September/Day-30/p23319.htm>
- Universidad Rey Juan Carlos. (2008). *Tratamientos de coagulación-floculación*. Departamento de Tecnología Química y Ambiental. Recuperado el 20 de octubre, 2010 de: http://www.madrimasd.org/experimentawiki/feria/Tratamientos_de_coagulaci%C3%Ben/floculac%C3%Ben
- Villaescusa, I. & Bollinger, J.C. (2008). Arsenic in drinking water: sources, occurrence and health effects (a review). *Review Environmental Scientific Biotechnology* 7: 307-323.
- Wang, Z., Dey, S., Rosen, B.P. & Rossman, T.G. (1996). Efflux mediated resistance to arsenicals in arsenic-resistant and hypersensitive Chinese hamster cells. *Toxicology Applied in Pharmacology*. 137:112–119.
- Welch, A. H. & Stollenwerk, K. G. (2002). *Arsenic in ground water – geochemistry and occurrence*. Kluwer, Dordrecht.
- Whitmore, T., Riedinger-Whitmore, M., Smoak, J., Kolasa, K., Goddard, E. & Bindler, R. (2008). Arsenic contamination of lake sediments in Florida: Evidence of herbicide mobility from watershed soils. *J Paleolimnol*. 40: 869-884.
- World Health Organization [WHO]. (2001). Arsenic and arsenic compounds. Environmental Health Criteria. 2da edición. Recuperado de: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc224.htm>
- Wu, L., Liu, G., Yates, M.V., Green, R.L., Pacheco, P., Gan, J. & Yates, S.R. (2002). Environmental fate of metalaxyl and chlorothalonil applied to bentgrass putting green under Southern California climatic conditions. *Pest Management Science*. 58: 335–342.
- Yip, L. & Dart, R. (2001). Arsenic. *Clinical environmental health and toxic exposure*. 2da edición. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins.

TABLAS

Tabla 1. *Ubicación geográfica de los puntos de muestreo. Información del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) del lugar de las muestras*

Puntos	Coordenadas	
	LAT	LONG
1	22.415	08.246
2	22.509	08.128
3	22.649	08.255
4	22.794	08.251
5	23.010	08.166

Tabla 2. *Datos obtenidos del primer grupo de muestreo*

Puntos	Fecha	Resultados	Límite Mínimo de Detección	U.S. EPA Standard
1	17/08/2010	BDL	0.5 µg/L	10µg/L
2	17/08/2010	BDL	0.5 µg/L	10µg/L
3	17/08/2010	BDL	0.5 µg/L	10µg/L
4	17/08/2010	BDL	0.5 µg/L	10µg/L
5	17/08/2010	BDL	0.5 µg/L	10µg/L

Tabla 3. *Datos obtenidos del segundo grupo de muestreo*

Puntos	Fecha	Resultados	Límite Mínimo de Detección	U.S. EPA Standard
1	17/09/2010	BDL	0.5 µg/L	10µg/L
2	17/09/2010	BDL	0.5 µg/L	10µg/L
3	17/09/2010	BDL	0.5 µg/L	10µg/L
4	17/09/2010	BDL	0.5 µg/L	10µg/L
5	17/09/2010	BDL	0.5 µg/L	10µg/L

Tabla 4. *Concentración total de arsénico en muestras de agua de riachuelo y pozos poco profundos*

Sampling location	Total As content ($\mu\text{g l}^{-1}$)	1 SE ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Depth for well samples (m)
Stream site 1	44.3	1.8	
Stream site 2	42.6	1.3	
Stream site 3	44.8	0.7	
Well 1	107.5	0.5	11.0
Well 1 replicate	115.4	1.4	11.0
Well 2A	26.5	0.5	11.0
Well 2B	17.0	1.4	5.5
Well 3A	Below MDL	–	5.5
Well 3B	Below MDL	–	9.5

The Minimum Detection Limit (MDL) for well samples 3A and 3B was 1.58 lg l^{-1}

FIGURAS

Figura 1. Foto aérea del segmento de estudio: Río Bayamón y Río Bayamón Golf Course

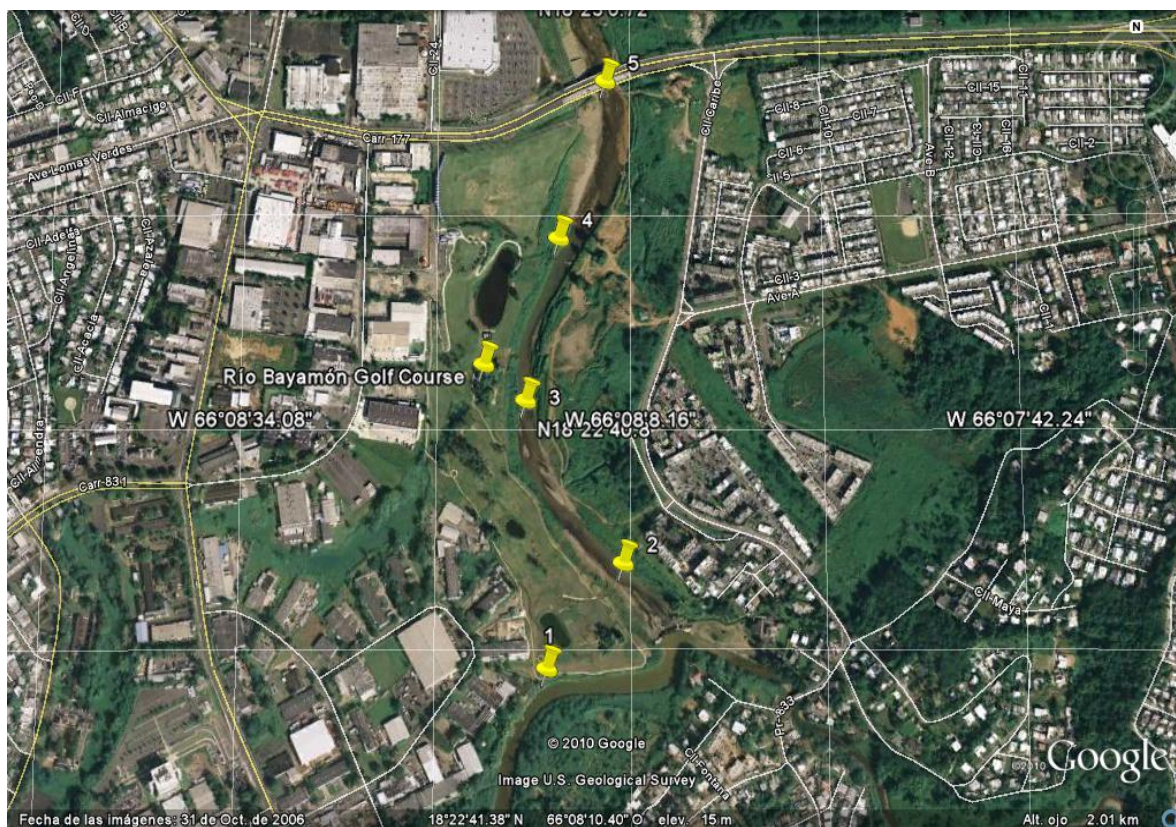


Figura 2. Cuenca hidrográfica del Río Bayamón

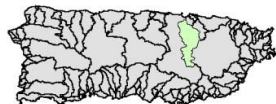


Figura 3. Descarga, pies cúbicos por segundo del Río Bayamón para las fechas de 17 de julio de 2010 hasta el 21 de agosto de 2010

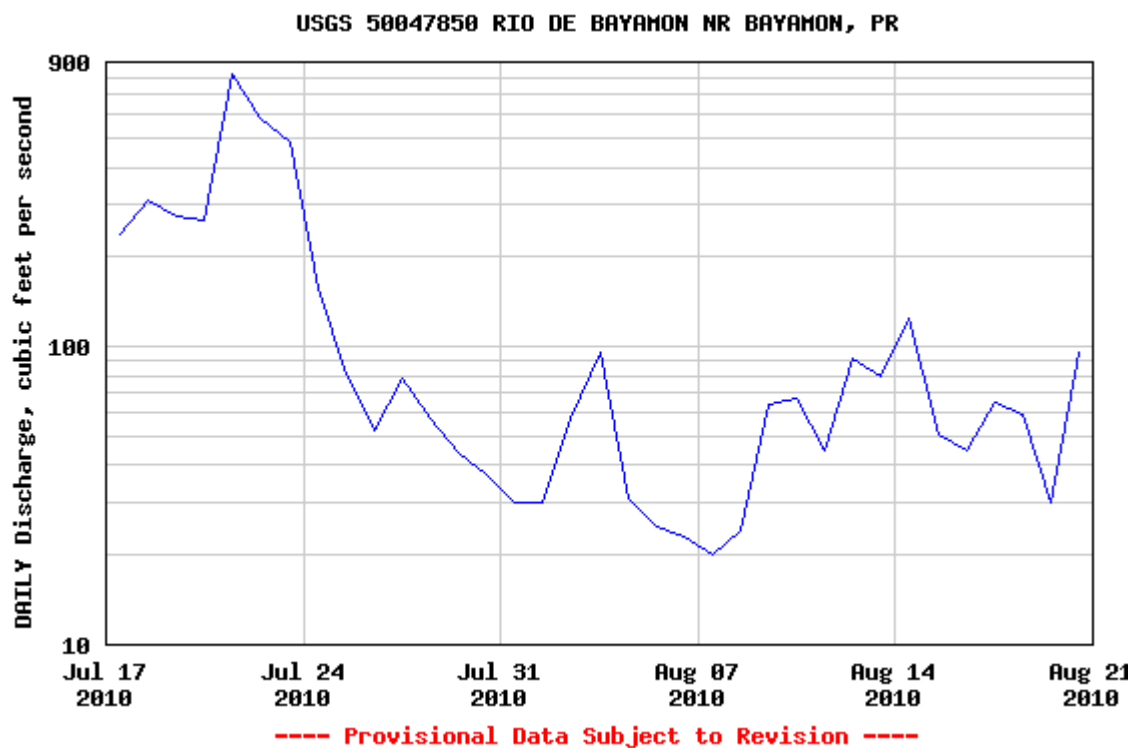


Figura 4. Descarga, pies cúbicos por segundo del Río Bayamón para las fechas de 17 de julio de 2009 hasta el 21 de agosto de 2009

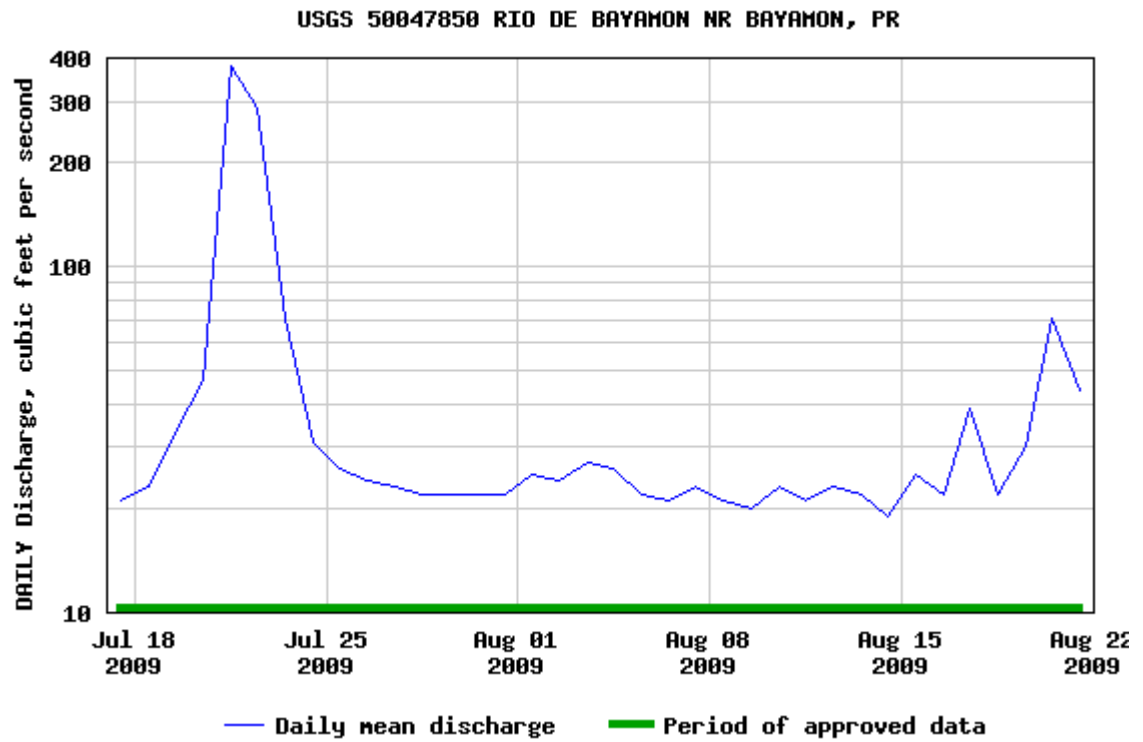


Figura 5. Descarga, pies cúbicos por segundo del Río Bayamón para las fechas de 17 de agosto de 2010 hasta el 17 de septiembre de 2010

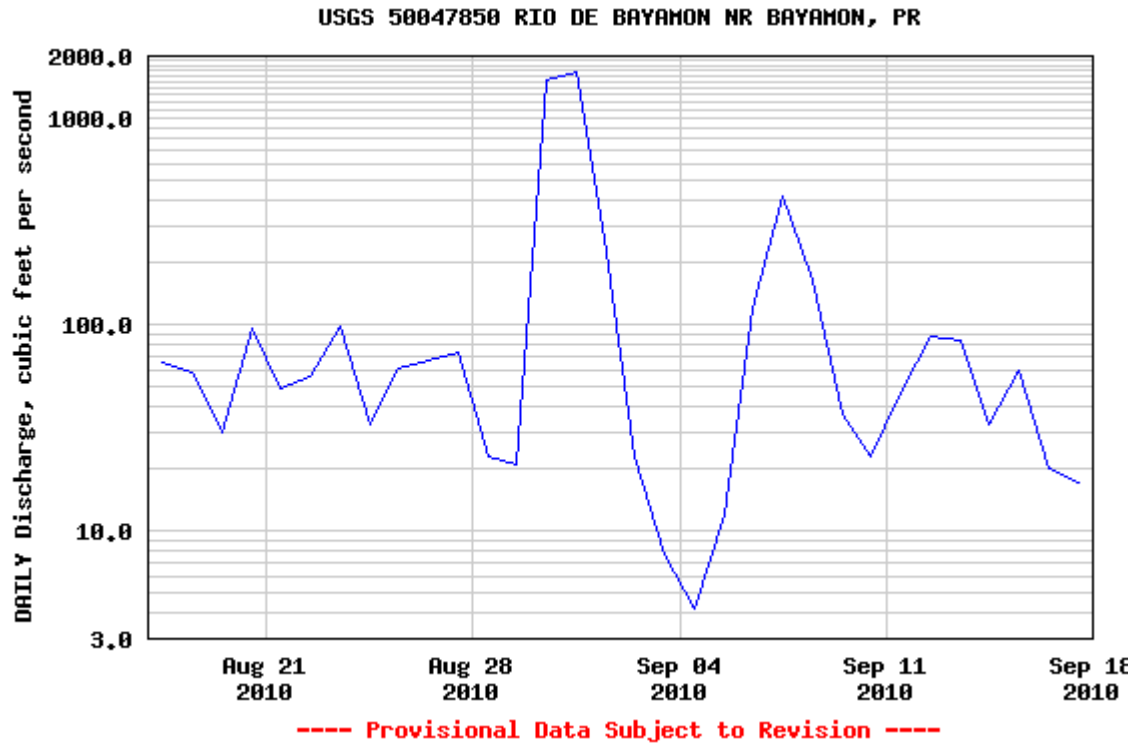


Figura 6. Descarga, pies cúbicos por segundo del Río Bayamón para las fechas de 17 de agosto de 2009 hasta el 17 de septiembre de 2009

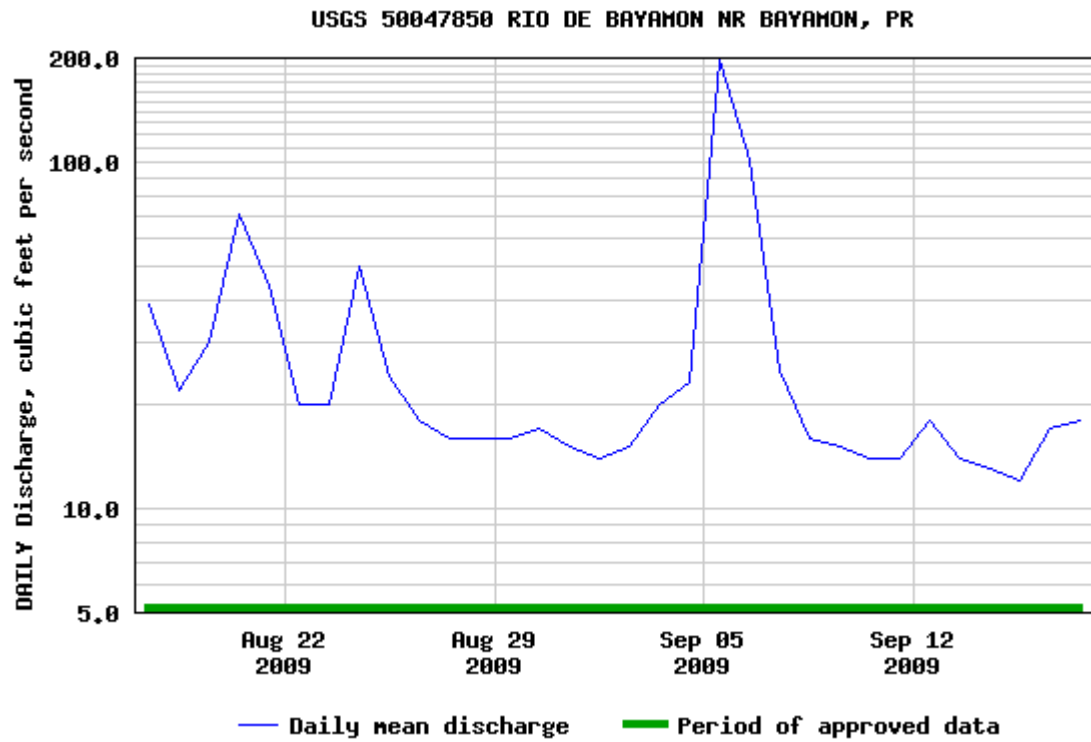
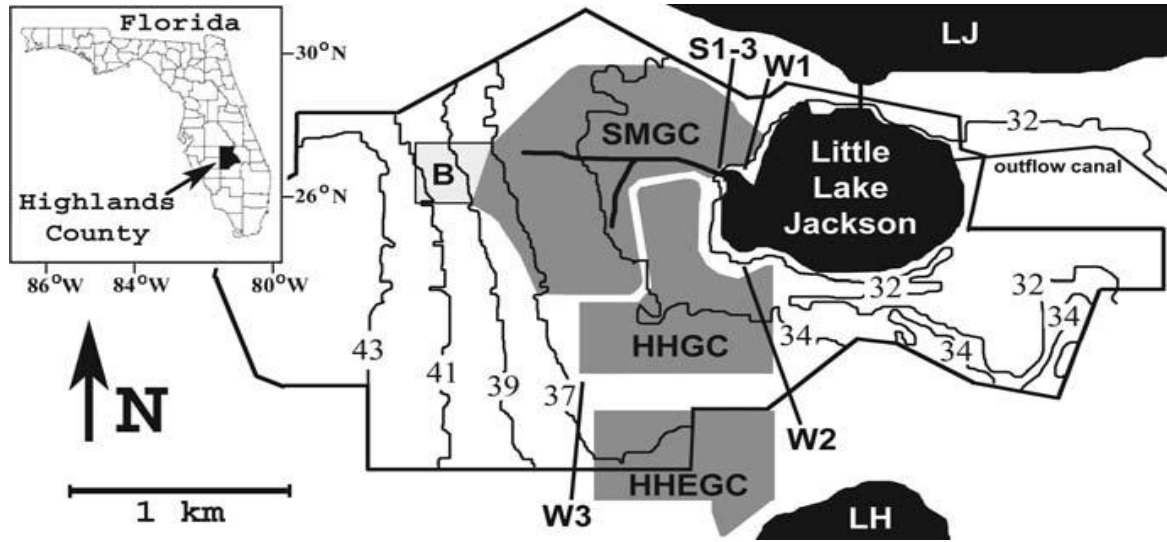
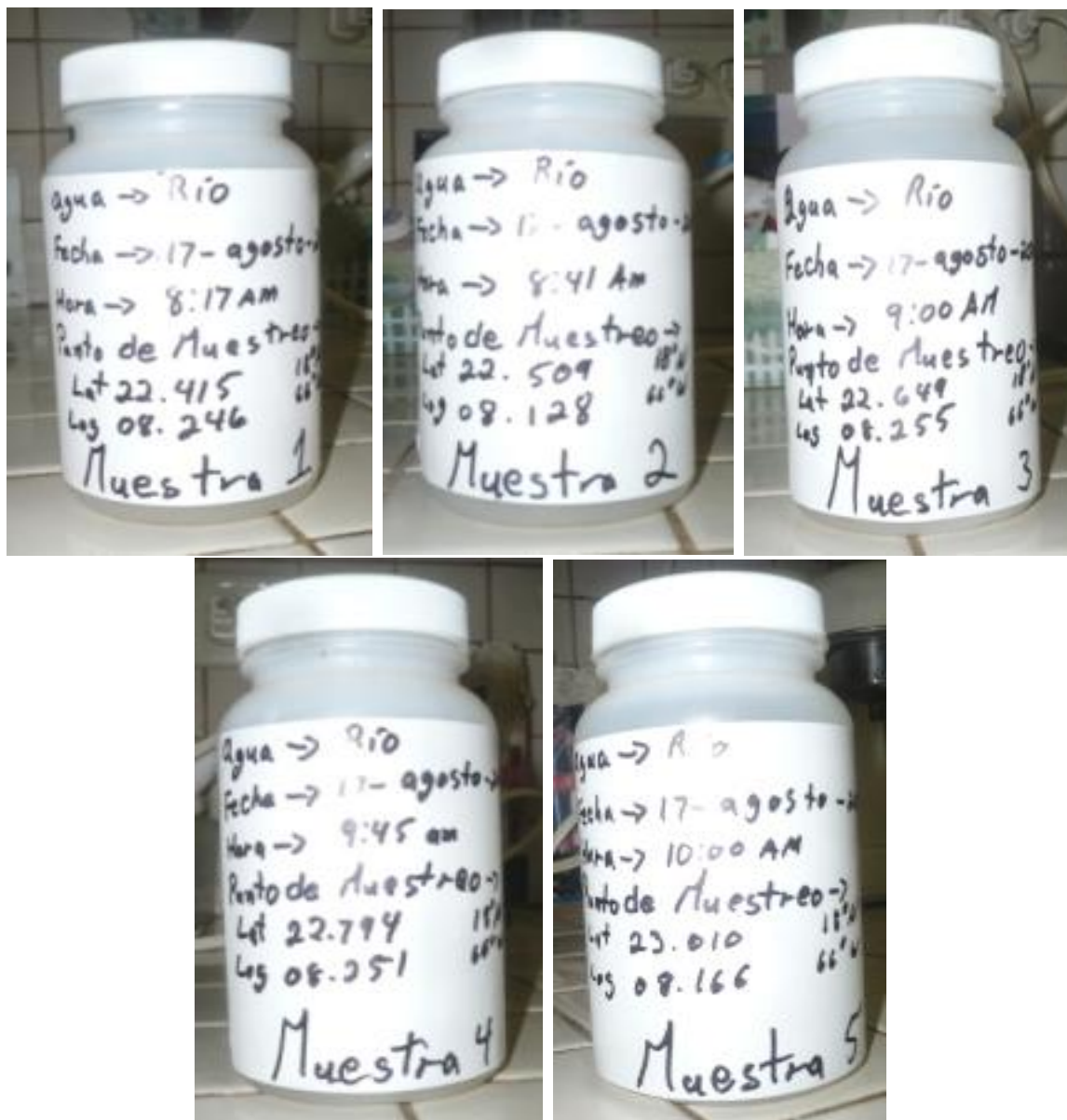


Figura 7. Localización de los riachuelos y los posos de muestreo de Little Lake Jackson



APÉNDICES

Apéndice 1. Botellas de muestreo rotuladas de acuerdo a las especificaciones de EQ Lab



Apéndice 2. *Localización del punto 1: LAT. 22.415 / LOG 08.246, cercano al hoyo 4*



Apéndice 3. *Localización del punto 2: LAT 22.509 / LOG 08.128,*



Apéndice 4. *Localización del punto 3: LAT 22.649 / LOG 08.255*



Apéndice 5. *Localización del punto 4: LAT 22.794 / LOG 08.251*



Apéndice 6. *Localización del punto 5: por debajo del puente de los filtros en dirección al campo de golf LAT 23.010 / LOG 08.166*



Apéndice 7. Cadena de custodia provista por EQ Lab

ENVIRONMENTAL QUALITY LABORATORIES, INC.
SAMPLE DELIVERY SLIP & CHAIN OF CUSTODY

PO BOX 11456, SAN JUAN, PR 00910-1458 • TEL. (787) 288-6420, FAX (787) 288-6465, e-mail: info@eqlab.com

M- 21385

LIMS# 2010-07178

CLIENT NAME: Carlos S. Rivera Nunez
 P.O. #:

CLIENT ID: 1828-70 W.O. #: 01
 PWSID #: FOLDER #: 147102

SITE NAME:
 PROJECT:

CLIENT REP:
 EQLAB REP:

SAMPLE INFORMATION		CONTAINER INFORMATION		FIELD TESTING	ANALYSIS REQUESTED
SAMPLE # <u>1</u> MATRIX <u>Lat 22.415/Los</u> SOURCE: <u>Rio</u>	DATE: <u>17/08/10</u> TIME: <u>4:17 AM</u> TYPE: <u>08.246</u>	TYPE	COLOR	VOLUME	Arsénico (As)
SAMPLE # <u>2</u> MATRIX <u>Lat 22.504/Los</u> SOURCE: <u>Rio</u>	DATE: <u>17/08/10</u> TIME: <u>4:41 AM</u> TYPE: <u>08.128</u>	PRESERVATIVE: <u>HNO₃</u>			
SAMPLE # <u>3</u> MATRIX <u>Lat 22.649/Los</u> SOURCE: <u>Rio</u>	DATE: <u>17/08/10</u> TIME: <u>9:00 AM</u> TYPE: <u>08.255</u>	TYPE	COLOR	VOLUME	Arsénico (As)
SAMPLE # <u>4</u> MATRIX <u>Lat 22.744/Los</u> SOURCE: <u>Rio</u>	DATE: <u>17/08/10</u> TIME: <u>9:45 AM</u> TYPE: <u>08.251</u>	PRESERVATIVE: <u>HNO₃</u>			
SAMPLE # <u>5</u> MATRIX <u>Lat 23.010/Los</u> SOURCE: <u>Rio</u>	DATE: <u>17/08/10</u> TIME: <u>10:00 AM</u> TYPE: <u>08.166</u>	TYPE	COLOR	VOLUME	Arsénico (As)
SAMPLE #: MATRIX: SOURCE:	DATE: TIME: TYPE:	PRESERVATIVE: <u>HNO₃</u>			
CUSTODY RECORD		SIGNATURE	DATE	TIME	SPECIAL INSTRUCTIONS / COMMENTS:
Collected in field by:		<u>[Signature]</u>	<u>17/08/10</u>	<u>12:00 pm</u>	
Fixed in field by:		<u>Carlos S. Rivera Nunez</u>	<u>17/08/10</u>	<u>See time</u>	
Released to EQLF by:					
Received by EQLF:					
Released to EQLL by:		<u>[Signature]</u>	<u>08/17/10</u>	<u>1400</u>	
Received by EQLL:		<u>[Signature]</u>	<u>08/17/10</u>	<u>1400</u>	

*EQLF = Eqlabs' Field Personnel
 *EQLL = Eqlabs' Log-in Personnel
 P/BOM

Arrival Temperature: 4c Signature: [Signature]
 Eqlabs' general terms and conditions on reverse side of this document.

Apéndice 8. *Certificación de EQ Lab correspondiente al primer grupo de muestras analizadas*



August 19, 2010

Mr. Carlos Rivera
Est. Santa Paula M-27
Calle Juan Ramos
Guaynabo, PR 00969

I hereby certify that the results reported for Eq Lab Sample #: 1582204 to 1582208, have been reviewed by me and are correct as presented herein.


Lcda. Sonia Richardo
Laboratory Director



A 1320974

Apéndice 9. Resultado del análisis de la muestra del punto 1

To: CARLOS RIVERA
EST. SANTA PAULA M-27
CALLE JUAN RAMOS
GUAYNABO, PR 00969

Attn: MR. CARLOS RIVERA
Source: LAT. 22.415 / LOG 08.246
Project Name: INTERNAL
Facility: BAYAMON
Description: SURFACE WATER - Grab
Client Ref. #: N/A



Laboratory Test Report

Page 1 of 1

Sample Number:	1582204	Collected Date & Time:	08/17/2010	08:17	Date of Report:	8/19/2010
Work Order:	1828-70-01	Received Date & Time:	08/17/2010	14:00	Collected By:	CRIVERA
Delivery Slip:	2010-07178	Temperature at Arrival:	4 °C		Eqlab Rep.:	YRIOS
Folder Number:	147102				Proposal Number:	12370 -1
Remarks:						

Parameter	Method	Results	Units	Limits		Analysis			Prep Method		
				MDL	MCL	Date	Time	By	Date	By	Method
Arsenic - Total	EPA 200.9	BDL	mg/L	0.0005	--	08/18/2010	08:30	NRODRIGUEZ	08/17/2010	NRODRIGUEZ	Method Digestion



ND = Not Detected MCL = Maximum Contaminant Level RDL = Below Detection Limit DIN = Does Not Injure MDL = Minimum Detection Limit N/A = Not Applicable
MO = Monitoring Only. All results are calculated on a wet weight basis unless otherwise stated. All results relate only to this sample.

ENVIRONMENTAL QUALITY LABORATORIES, INC. P.O. BOX 11458, SAN JUAN, P.R. 00910-1458, TEL (787) 288-6420 Fax (787) 288-6465



Apéndice 10. Resultado del análisis de la muestra del punto 2

To: CARLOS RIVERA
EST. SANTA PAULA M-27
CALLE JUAN RAMOS
GUAYNABO, PR. 00969

Attn: MR. CARLOS RIVERA
Source: LAT. 22.509 / LOG 08.128
Project Name: INTERNAL
Facility: BAYAMON
Description: SURFACE WATER - Grab
Client Ref. #: N/A



Laboratory Test Report

Page 1 of 1

Sample Number: 1582205	Collected Date & Time: 08/17/2010 08:41	Date of Report: 8/19/2010
Work Order: 1828-70-01	Received Date & Time: 08/17/2010 14:00	Collected By: CRIVERA
Delivery Slip: 2010-07178	Temperature at Arrival: 4 °C	Eqlab-Rep.: YRIOS
Folder Number: 147102		Proposal Number: 12270 - 1
Remarks:		

Parameter	Method	Results	Units	Limits		Analysis			Prep Method		
				MDL	MCL	Date	Time	By	Date	By	Method
Arsenic - Total	EPA 200.9	BDL	mg/L	0.0005	--	08/18/2010	08:30	NRODRIGUEZ	08/17/2010	NRODRIGUEZ	Method Digestion



ND = Not Detected MCL = Maximum Contaminant Level BDL = Below Detection Limit DNI = Does Not Apply MDL = Minimum Detection Limit N/A = Not Applicable
MO = Monitoring Only. All results are calculated on a wet weight basis unless otherwise stated. All results relate only to this sample.

ENVIRONMENTAL QUALITY LABORATORIES, INC. P.O. BOX 11458, SAN JUAN, P.R. 00910-1458, TEL. (787) 288-6420 Fax (787) 288-6465

PRC001 Certified
EPA ID P950014



Apéndice 11. Resultado del análisis de la muestra del punto 3

To: CARLOS RIVERA
EST. SANTA PAULA M-27
CALLE JUAN RAMOS
GUAYNABO, PR. 00969

Attn: MR. CARLOS RIVERA
Source: LAT. 22.649 / LOG 08.255
Project Name: INTERNAL
Facility: BAYAMON
Description: SURFACE WATER - Grab
Client Ref. #: N/A



Laboratory Test Report

Page 1 of 1

Sample Number: 1582206	Collected Date & Time: 08/17/2010 09:00	Date of Report: 8/19/2010
Work Order: 1828-70-01	Received Date & Time: 08/17/2010 14:00	Collected By: CRIVERA
Delivery Slip: 2010-07178	Temperature at Arrival: 4 °C	Eqlab Rep.: YRIOS
Folder Number: 147102		Proposal Number: 12270 - 1
Remarks:		

Parameter	Method	Results	Units	Limits		Analysis			Prep Method		
				MDL	MCL	Date	Time	By	Date	By	Method
Arsenic - Total	EPA 200.9	BDL	mg/L	0.0005	--	08/18/2010	08:30	NRODRIGUEZ	08/17/2010	NRODRIGUEZ	Method Digestion



ND = Not Detected MCL = Maximum Contaminant Level BDL = Below Detection Limit DNI = Does Not Apply MDL = Minimum Detection Limit N/A = Not Applicable
MO = Monitoring Only. All results are calculated on a wet weight basis unless otherwise stated. All results relate only to this sample.

ENVIRONMENTAL QUALITY LABORATORIES, INC. P.O. BOX 11456, SAN JUAN, P.R. 00910-1456, TEL. (787) 288-6420 Fax (787) 288-6465



Certified by



Apéndice 12. Resultado del análisis de la muestra del punto 4

To: CARLOS RIVERA
EST. SANTA PAULA M-27
CALLE JUAN RAMOS
GUAYNABO, PR 00969

Attn: MR. CARLOS RIVERA
Source: LAT. 22.794 / LOG 08.251
Project Name: INTERNAL
Facility: BAYAMON
Description: SURFACE WATER - Grab
Client Ref. #: N/A



Laboratory Test Report

Page 1 of 1

Sample Number: 1582207	Collected Date & Time: 08/17/2010 09:45	Date of Report: 8/19/2010
Work Order: 1828-70-01	Received Date & Time: 08/17/2010 14:00	Collected By: CRIVERA
Delivery Slip: 2010-07178	Temperature at Arrival: 4 °C	Eqlab Rep.: YRIOS
Folder Number: 147102		Proposal Number: 12270 - 1
Remarks:		

Parameter	Method	Results	Units	Limits		Analysis			Prep Method		
				MDL	MCL	Date	Time	By	Date	By	Method
Arsenic - Total	EPA 200.9	BDL	mg/L	0.0005	--	08/18/2010	08:30	NRODRIGUEZ	08/17/2010	NRODRIGUEZ	Method Digestion



Certified by



ND = Not Detected MCL = Maximum Contaminant Level BDL = Below Detection Limit DNI = Does Not Exist MDL = Minimum Detection Limit N/A = Not Applicable
MO = Monitoring Only. All results are calculated on a wet weight basis unless otherwise stated. All results relate only to this sample.

ENVIRONMENTAL QUALITY LABORATORIES, INC. P.O. BOX 11458, SAN JUAN, P.R. 00910-1458, TEL. (787) 288-6420 Fax (787) 288-6465



Apéndice 13. Resultado del análisis de la muestra del punto 5

To: CARLOS RIVERA
EST. SANTA PAULA M-27
CALLE JUAN RAMOS
GUAYNABO, PR. 00969

Attn: MR. CARLOS RIVERA
Source: LAT. 23.010 / LOG 08.166
Project Name: INTERNAL
Facility: BAYAMON
Description: SURFACE WATER - Grab
Client Ref. #: N/A



Laboratory Test Report

Page 1 of 1

Sample Number:	1582208	Collected Date & Time:	08/17/2010 10:00	Date of Report:	8/19/2010
Work Order:	1828-70-01	Received Date & Time:	08/17/2010 14:00	Collected By:	CRIVERA
Delivery Slip:	2010-07178	Temperature at Arrival:	4 °C	Eqlab Rep.:	YRIOS
Folder Number:	147102			Proposal Number:	12270 - 1
Remarks:					

Parameter	Method	Results	Units	Limits		Analysis			Prep Method		
				MDL	MCL	Date	Time	By	Date	By	Method
Arsenic - Total	EPA 200.9	BDL	mg/L	0.0005	--	08/18/2010	08:30	NRODRIGUEZ	08/17/2010	NRODRIGUEZ	Method Digestion



Certified by



The results presented herein meet all NELAC requirements. Refer to eqlab certification number E87783 at www.eqlab.com.

ND = Not Detected MCL = Maximum Contaminant Level BDL = Below Detection Limit DNI = Does Not Ignite MDL = Minimum Detection Limit NA = Not Applicable
MO = Monitoring Only. All results are calculated on a wet weight basis unless otherwise stated. All results relate only to this sample.

ENVIRONMENTAL QUALITY LABORATORIES, INC. P.O. BOX 11456, SAN JUAN, P.R. 00910-1456, TEL. (787) 288-6420 Fax (787) 288-6465



Apéndice 14. *Certificación provista por EQ Lab correspondiente al segundo grupo de muestras analizadas*



September 23, 2010

Mr. Carlos Rivera
Est. Santa Paula M-27
Calle Juan Ramos
Guaynabo, PR 00969

I hereby certify that the results reported for Eq Lab Sample #: 1595595 to 1595599, have been reviewed by me and are correct as presented herein.

S.Pichardo
Lcda. Sonia Pichardo
Laboratory Director

Apéndice 15. Resultado del análisis de la muestra del punto 1

To: CARLOS RIVERA
EST. SANTA PAULA M-27
CALLE JUAN RAMOS
GUAYNABO, PR. 00969

Attn: MR. CARLOS RIVERA
Source: LAT. 22.415 / LOG 08.246
Project Name: INTERNAL
Facility: BAYAMON
Description: SURFACE WATER - Grab
Client Ref. #: N/A



Laboratory Test Report

Page 1 of 1

Sample Number: 1595595	Collected Date & Time: 09/17/2010 08:19	Date of Report: 9/23/2010
Work Order: 1828-70-01	Received Date & Time: 09/17/2010 13:24	Collected By: CRIVERA
Delivery Slip: 2010-08175	Temperature at Arrival: ROOM TEMP	Eqlab Rep.: YRIOS
Folder Number: 148284		Proposal Number: 12270 - 1

Remarks:

Parameter	Method	Results	Units	Limits		Analysis			Prep Method		
				MDL	MCL	Date	Time	By	Date	By	Method
Arsenic - Total	EPA 200.9	BDL	mg/L	0.0005	--	09/23/2010	08:36	NRODRIGUEZ	09/21/2010	YCAMACHO	Method Digestion



The results presented herein meet all NELAP requirements. Refer to eqlab certification number EST783 at www.eqlab.com.

ND = Not Detected MCL = Maximum Contaminant Level BDL = Below Detection Limit ENI = Does Not Ignore MDL = Minimum Detection Limit N/A = Not Applicable
MO = Monitoring Only. All results are calculated on a wet weight basis unless otherwise stated. All results relate only to this sample.

ENVIRONMENTAL QUALITY LABORATORIES, INC. P.O. BOX 11458, SAN JUAN, P.R. 00910-1458, TEL. (787) 288-6420 Fax (787) 288-6465



Apéndice 16. Resultado del análisis de la muestra del punto 2

To: CARLOS RIVERA
EST. SANTA PAULA M-27
CALLE JUAN RAMOS
GUAYNABO, PR 00969

Attn: MR. CARLOS RIVERA
Source: LAT. 22.509 / LOG 08.128
Project Name: INTERNAL
Facility: BAYAMON
Description: SURFACE WATER - Grab
Client Ref. #: N/A



Laboratory Test Report

Page 1 of 1

Sample Number: 1595596	Collected Date & Time: 09/17/2010 08:45	Date of Report: 9/23/2010
Work Order: 1828-70-01	Received Date & Time: 09/17/2010 13:24	Collected By: CRIVERA
Delivery Slip: 2010-08175	Temperature at Arrival: ROOM TEMP ^o	Eqlab Rep.: YRIOS
Folder Number: 148284		Proposal Number: 12270 - 1
Remarks:		

Parameter	Method	Results	Units	Limits		Analysis			Prep Method		
				MDL	MCL	Date	Time	By	Date	By	Method
Arsenic - Total	EPA 200.9	BDL	mg/L	0.0005	--	09/23/2010	08:36	NRODRIGUEZ	09/21/2010	YCAMACHO	Method Digestion



The results presented herein meet all NELAP requirements. Refer to eqlab certification number E87783 at www.eqlab.com.

ND = Not Detected MCL = Maximum Contaminant Level BDL = Below Detection Limit DNI = Does Not Ignite MDL = Minimum Detection Limit N/A = Not Applicable
MO = Monitoring Only. All results are calculated on a wet weight basis unless otherwise stated. All results relate only to this sample.

ENVIRONMENTAL QUALITY LABORATORIES, INC. P.O. BOX 11458, SAN JUAN, P.R. 00910-1458, TEL. (787) 288-6420 Fax (787) 288-6465



Apéndice 17. Resultado del análisis de la muestra del punto 3

To: CARLOS RIVERA
EST. SANTA PAULA M-27
CALLE JUAN RAMOS
GUAYNABO, PR. 00969

Attn: MR. CARLOS RIVERA
Source: LAT. 22.649 / LOG 08.255
Project Name: INTERNAL
Facility: BAYAMON
Description: SURFACE WATER - Grab
Client Ref. #: N/A



Laboratory Test Report

Page 1 of 1

Sample Number:	1595597	Collected Date & Time:	09/17/2010 09:08	Date of Report:	9/23/2010
Work Order:	1828-70-01	Received Date & Time:	09/17/2010 13:24	Collected By:	CRIVERA
Delivery Slip:	2010-08175	Temperature at Arrival:	ROOM TEMP*	Eqlab Rep.:	YRIOS
Folder Number:	148284			Proposal Number:	12270 - 1
Remarks:					

Parameter	Method	Results	Units	Limits		Analysis			Prep Method		
				MDL	MCL	Date	Time	By	Date	By	Method
Arsenic - Total	EPA 200.9	BDL	mg/L	0.0005	--	09/23/2010	08:36	NRODRIGUEZ	09/21/2010	YCAMACHO	Method Digestion



The results presented herein meet all NELAC requirements.
 Refer to eqlab certification number E87783 at www.eqlab.com.

ND = Not Detected MCL = Maximum Contaminant Level BDL = Below Detection Limit DNI = Does Not Apply MDL = Minimum Detection Limit N/A = Not Applicable
 MO = Monitoring Only. All results are calculated on a wet weight basis unless otherwise stated. All results relate only to this sample.

ENVIRONMENTAL QUALITY LABORATORIES, INC. P.O. BOX 11458, SAN JUAN, P.R. 00910-1458, TEL. (787) 288-6420 Fax (787) 288-6465

PRDOH Certified
 EPA ID PR00014

Apéndice 18. Resultado del análisis de la muestra del punto 4

To: CARLOS RIVERA
EST. SANTA PAULA M-27
CALLE JUAN RAMOS
GUAYNABO, PR. 00969

Attn: MR. CARLOS RIVERA
Source: LAT. 22.794 / LOG 08.251
Project Name: INTERNAL
Facility: BAYAMON
Description: SURFACE WATER - Grab
Client Ref. #: N/A



Laboratory Test Report

Page 1 of 1

Sample Number: 1595598	Collected Date & Time: 09/17/2010 09:46	Date of Report: 9/23/2010
Work Order: 1828-70-01	Received Date & Time: 09/17/2010 13:24	Collected By: CRIVERA
Delivery Slip: 2010-08175	Temperature at Arrival: ROOM TEMP [®]	Eqlab Rep.: YRIOS
Folder Number: 148284		Proposal Number: 12270 - 1
Remarks:		

Parameter	Method	Results	Units	Limits		Analysis			Prep Method		
				MDL	MCL	Date	Time	By	Date	By	Method
Arsenic - Total	EPA 200.9	BDL	mg/L	0.0005	--	09/23/2010	08:36	NRODRIGUEZ	09/21/2010	YCAMACHO	Method Digestion



The results presented herein meet all NELAP requirements. Refer to eqlab certification number E37783 at www.eqlab.com.

ND = Not Detected MCL = Maximum Contaminant Level BDL = Below Detection Limit DNI = Does Not Ignore MDL = Minimum Detection Limit N/A = Not Applicable
MO = Monitoring Only. All results are calculated on a wet weight basis unless otherwise stated. All results relate only to this sample.

ENVIRONMENTAL QUALITY LABORATORIES, INC. P.O. BOX 11458, SAN JUAN, P.R. 00910-1458, TEL. (787) 288-6420 Fax (787) 288-6465



Apéndice 19. Resultado del análisis de la muestra del punto 5

To: CARLOS RIVERA
EST. SANTA PAULA M-27
CALLE JUAN RAMOS
GUAYNABO, PR. 00969

Attn: MR. CARLOS RIVERA
Source: LAT. 23.010 / LOG 08.166
Project Name: INTERNAL
Facility: BAYAMON
Description: SURFACE WATER - Grab
Client Ref. #: N/A



Laboratory Test Report

Page 1 of 1

Sample Number: 1595599	Collected Date & Time: 09/17/2010 09:51	Date of Report: 9/23/2010
Work Order: 1828-70-01	Received Date & Time: 09/17/2010 13:24	Collected By: CRIVERA
Delivery Slip: 2010-08175	Temperature at Arrival: ROOM TEMP ^a	Eqlab Rep.: YRIOS
Folder Number: 148284		Proposal Number: 12270 - 1
Remarks:		

Parameter	Method	Results	Units	Limits		Analysis			Prep Method		
				MDL	MCL	Date	Time	By	Date	By	Method
Arsenic - Total	EPA 200.9	BDL	mg/L	0.0005	--	09/23/2010	08:36	NRODRIGUEZ	09/21/2010	YCAMACHO	Method Digestion



The results presented herein meet all NELAP requirements. Refer to eqlab certification number EST793 at www.eqlab.com.

ND = Not Detected MCL = Maximum Contaminant Level BDL = Below Detection Limit DNT = Does Not Ignite MDL = Minimum Detection Limit N/A = Not Applicable MO = Monitoring Only. All results are calculated on a wet weight basis unless otherwise stated. All results relate only to this sample.

ENVIRONMENTAL QUALITY LABORATORIES, INC. P.O. BOX 11458, SAN JUAN, P.R. 00910-1458, TEL. (787) 288-6420 Fax (787) 288-6465

