

**DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE METALES EN
AGUA POTABLE Y AGUA EMBOTELLADA DISPONIBLES
EN PUERTO RICO**

por

MIGUEL ÁNGEL FLORIÁN ALGARÍN

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

en

**CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ**

2009

Aprobado por:

Aidalú Joubert , PhD
Miembro de Comité Graduado

Date

Edna Negrón, PhD
Miembro de Comité Graduado

Date

Félix R. Román, PhD
Presidente de Comité Graduado

Date

L. Antonio Estévez, PhD
Representante de Estudios Graduados

Date

Edna Negrón, PhD
Coordinadora del Programa de Ciencia
y Tecnología de Alimentos

Date

Resumen

Mediante el uso de la técnica de Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP-MS) y siguiendo el Método 200.8. de la Environmental Protection Agency (EPA) se determinó y cuantificó la presencia de aluminio, cobre, hierro, plomo, cadmio, arsénico, sodio, calcio, potasio y magnesio en diferentes tipos de agua. Se analizaron 32 muestras de agua potable de diferentes municipios de Puerto Rico, 20 muestras de agua Embotellada (12 de compañías locales y 8 marcas importadas) y 10 muestras de agua filtrada mediante el uso de filtros domésticos. Para la recolección y almacenamiento de muestras se estableció un protocolo que garantizó que todas recibieran el mismo tratamiento.

De los resultados obtenidos se concluye que todas las muestras analizadas cumplen con los límites establecidos por las agencias reguladoras para las concentraciones de aluminio, cobre, hierro, cadmio, arsénico y plomo. Para calcio, magnesio, sodio y potasio no existen límites legales y los resultados muestran mayor variabilidad de estos minerales en el agua embotellada, obteniéndose mayores concentraciones en el agua tipo mineral. Las muestras de agua filtrada no mostraron un comportamiento constante que permita establecer su efectividad para la remoción de los metales analizados. Se realizó un análisis de varianza observando diferencias significativas al agrupar el agua potable por regiones y el agua embotellada de acuerdo al país de origen. Se estableció que las concentraciones de los metales varían de acuerdo al sitio de origen, tratamientos de purificación y tipo de agua analizada. El agua embotellada y el agua potable tienen características similares de acuerdo a la concentración de los metales analizados.

Abstract

The presence of aluminum, copper, iron, lead, cadmium, arsenic, sodium, calcium, potassium, and magnesium was determined and quantified in different water samples using Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP-MS) technique and following of the Environmental Protection Agency (EPA) method 200.8. Thirty two (32) samples of pipe water from different municipalities of Puerto Rico, 20 samples of bottled water (12 local companies and 8 imported) and 10 samples of filtered water (using domestic filter) were analyzed. A protocol was established to assure that all samples received the same treatment for collection and storage of samples.

All analyzed samples complied with the limits set by regulatory agencies for the concentration of aluminum, copper, iron, cadmium, arsenic, and lead. No legal limit exists for calcium, magnesium, sodium, and potassium. Results show greater variability of these minerals in bottled water, for higher concentrations in the mineral water type. Filtered water samples did not show a consistent behavior to establish its effectiveness for the removal of the metals analyzed. An analysis of variance show significant differences ($P < 0.05$) among pipe water samples when grouped by regions and between bottled water samples by country of origin. It was established that the concentrations of metals vary by site of origin, filtered treatment, and type of water analyzed. Bottled water and pipe water have similar concentrations of the metals analyzed.

Derechos del Autor Reservados ©
Miguel A. Florián Algarín
2009

Dedicatoria

A Dios por todo,

A mis padres Miguel Ángel y María Benita

Mis hermanos Viví, Luz, Marycilla, David y Luisito.

A Mariángel

Agradecimientos

Principalmente gracias a Dios por todo, a mi familia en especial mi padre, mi madre y mis hermanos que desde Colombia y Puerto Rico han estado apoyándome.

Especial agradecimientos al Dr Félix Román por su apoyo incondicional en el desarrollo de esta investigación; a la Dra. Edna Negrón miembro de mi comité y directora del programa de CITA por su ayuda en el momento en que la necesité y la Dra. Aidalú Joubert por su colaboración en el desarrollo de este proyecto.

Al Dr. Ernesto Riquelme por su ayuda en el análisis estadístico de los datos obtenidos en este proyecto.

A mis compañeros y amigos del laboratorio; Luis, Sonia, Che, Lizmar, Tatty y a Diana por su especial colaboración en este proyecto.

A los miembros del programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos por la oportunidad que me brindaron de poder realizar estudios graduados en la Universidad de Puerto Rico.

A todas mis amistades y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron durante el transcurso de esta investigación.

Tabla de Contenido

Resumen.....	ii
Abstract.....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos	vi
Lista de tablas	ix
Lista de figuras.....	xiii
1. Introducción.....	1
1.1. Trasfondo	1
1.2. Metales analizados:.....	3
1.3. Importancia en la inocuidad de alimentos y nutricional.....	4
1.3.1. Calcio.....	5
1.3.2. Magnesio	5
1.3.3. Potasio	6
1.3.4. Sodio.....	6
1.3.5. Hierro.....	6
1.3.6. Aluminio.....	7
1.3.7. Cobre	7
1.3.8. Arsénico.....	8
1.3.9. Cadmio.....	8
1.3.10. Plomo.....	9
1.4. Sistemas de potabilización de agua en Puerto Rico.....	9
2. Objetivos.....	12
3. Revisión de literatura.....	13
4. Materiales y métodos.....	18
4.1. Método EPA 200.8.....	18
4.2. Materiales, reactivos y equipos.....	18
4.2.1. Reactivos:	18
4.2.2. Materiales:	19
4.2.3. Equipos:.....	19
4.3. Diseño experimental	21
4.3.1. Parámetros de muestreo	21
4.3.1.1. Agua embotellada	21
4.3.1.2. Agua potable	22
4.3.1.3. Agua filtrada	22
4.4. Análisis estadístico:	23
4.5. Preparación de muestras y estándares.....	23
4.5.1. Preparación de curva de calibración.....	23
4.5.2. Preparación de muestras:	25
4.5.3. Muestras fortificadas:	25
5. Análisis y discusión de resultados	26
5.1. Curvas de calibración.....	26
5.2. Límites de detección y de cuantificación.....	29
5.3. Resultados obtenidos	30

5.3.1. Concentraciones de Al, Cu y Fe en agua potable por municipios.....	31
5.3.2. Concentraciones de As, Cd y Pb en agua potable por municipio.....	33
5.3.3. Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua potable por municipio.....	35
5.3.4. Concentraciones de Al, Cu, Fe, Cd y Pb en agua potable por región.....	38
5.3.5. Resultados agua embotellada.....	41
5.3.6. Resultados agua filtrada vs no filtrada	47
5.4. Análisis estadístico:	49
5.4.1. Agua potable:.....	49
5.4.2. Agua embotellada	50
5.4.3. Agua filtrada vs agua no filtrada	51
5.5. Regulaciones y límites establecidos.....	52
6. Conclusiones.....	53
Referencias.....	55
Apéndice A: Muestras control	57
Apéndice B: Resultado análisis de varianzas.....	60
Apéndice C: Concentraciones de muestras individuales.	62
Apéndice D: Resultados curva de calibración.....	628

Lista de tablas

Tabla	Página
Tabla 1.2.1. Propiedades principales de Cu, Pb, Fe, Cd, As y Cu.....	3
Tabla 1.2.2. Propiedades principales de Na, Mg, K y Ca	4
Tabla 4.3.1.1. Origen agua embotellada	21
Tabla 4.5.1.1. Concentraciones curva de calibración Pb, As, Cd, Al, Fe y Cu	24
Tabla 4.5.1.2. Concentraciones curva de calibración Ca, Mg, Na y K.....	24
Tabla 5.2.1. Resultados curva de calibración para Ca, Na, Mg, K	30
Tabla 5.2.2. Resultados limites de detección y cuantificación	30
Tabla 5.3.1.1. Concentraciones de Al, Cu y Fe agua potable área Centro	31
Tabla 5.3.1.2. Concentraciones de Al, Cu y Fe agua potable área Este	31
Tabla 5.3.1.3. Concentraciones de Al, Cu y Fe agua potable área Metropolitana	32
Tabla 5.3.1.4. Concentraciones de Al, Cu y Fe agua potable área Norte	32
Tabla 5.3.1.5. Concentraciones de Al, Cu y Fe agua potable área Oeste	32
Tabla 5.3.1.6. Concentraciones de Al, Cu y Fe agua potable área Sur	33
Tabla 5.3.2.1. Concentraciones de As, Cd y Pb agua potable área Centro.....	33
Tabla 5.3.2.2. Concentraciones de As, Cd y Pb agua potable área Este.....	33
Tabla 5.3.1.4. Concentraciones de Al, Cu, Fe, As, Cd y Pb en agua potable por región ..	34
Tabla 5.3.2.3. Concentraciones de As, Cd y Pb agua potable área Metropolitana	34
Tabla 5.3.2.4. Concentraciones de As, Cd y Pb agua potable área Norte.....	34
Tabla 5.3.2.5. Concentraciones de As, Cd y Pb agua potable área Oeste.....	35
Tabla 5.3.2.6. Concentraciones de As, Cd y Pb agua potable área Sur	35
Tabla 5.3.1.1. Concentraciones de Al, Cu y Fe agua potable área Centro	35
Tabla 5.3.3.2. Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua potable área Este.....	35
Tabla 5.3.3.3. Concentración de Na, Mg, K y Ca en agua potable área Metropolitana	36
Tabla 5.3.3.4. Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua potable área Oeste	36
Tabla 5.3.3.5 Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua potable área Norte.....	37
Tabla 5.3.3.6. Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua potable área Sur	37

Tabla 5.3.4.1. Concentraciones de Al, Cu y Fe en agua potable por región	38
Tabla 5.3.4.2. Concentraciones de As, Cd y Pb en agua potable por región	38
Tabla 5.3.5.1 Concentraciones de Al, Cu y Fe en agua embotellada	41
Tabla 5.3.5.2. Concentraciones de As, Cd y Pb en agua embotellada.....	42
Tabla 5.3.5.3. Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua embotellada.....	43
Tabla 5.3.5.4. Al, Cu, Fe, As, Cd, Pb en agua embotellada por país de origen.....	44
Tabla 5.3.5.5. Na, Mg, K y Ca en agua embotellada por país de origen	45
Tabla 5.3.6.1. Concentraciones Al, Cu y Fe en agua filtrada vs no filtrada	47
Tabla 5.3.6.2. Concentraciones As, Cd y Pb en agua filtrada vs no filtrada	47
Tabla 5.3.6.3. Concentraciones Na, Mg, K y Ca en agua filtrada vs no filtrada	48
Tabla A.1. Lote 1 de agua embotellada Al, Cu, Fe, As, Cd, Pb	58
Tabla A.2. Lote 1 de agua embotellada Na, Mg, K, Ca.....	59
Tabla A.3. Lote 1 de agua potable Al, Cu y Fe	59
Tabla A.4. Lote 1 de agua potable As, Cd y Pb.....	60
Tabla A.5. Lote 1 de agua potable Na, Mg, K, Ca.....	60
Tabla B.1. Análisis de varianza tomando origen como factor de variación	61
Tabla B.2. Análisis de varianza tomando región como factor de variación	61
Tabla B.3. Análisis de varianza tomando municipio como factor de variación	62
Tabla B.4. Análisis de varianza tomando región como factor de variación	62
Tabla C.1. Agua embotellada.....	63
Tabla C.2. Agua potable	65
Tabla D.1. Datos curva de calibración Pb, Al y Cu. Lote 1 agua potable	68
Tabla D.2. Datos curva de calibración Fe, Cd y As. Lote 1 agua potable	68
Tabla D.3. Datos curva de calibración Pb, Al y Cu. Lote 2 y 3 agua potable	68
Tabla D.4. Datos curva de calibración Fe, As y Cd. Lote 2 y 3 agua potable	68
Tabla D.5. Datos curva de calibración Na, Ca, Mg, K. Lote 1, 2 y 3 agua embotellada...	69
Tabla D.6. Datos curva de calibración Al, Cu y Fe. Lote 1 agua embotellada.....	69
Tabla D.7. Datos curva de calibración Pb, Cd y As. Lote 1 agua embotellada.....	69
Tabla D.8. Datos curva de calibración Na, Ca, Mg y K. Lote 1, 2, agua embotellada.....	69
Tabla D.8. Datos curva de calibración Al, Cu y Fe. Lote 1, 2 y 3 agua embotellada.....	70

Lista de figuras

Figura	Página
Figura 4.2.3. ICP-MS.....	20
Figura 5.1.1. Curva de calibración de plomo.....	26
Figura 5.1.2. Curva de calibración de aluminio.....	26
Figura 5.1.3. Curva de calibración de cobre.....	27
Figura 5.1.4. Curva de calibración de hierro.....	27
Figura 5.1.5. Curva de calibración de arsénico.....	27
Figura 5.1.6. Curva de calibración de cadmio.....	28
Figura 5.1.7. Curva de calibración de calcio.....	28
Figura 5.1.8. Curva de calibración de sodio.....	28
Figura 5.1.9. Curva de calibración de magnesio.....	30
Figura 5.1.10. Curva de calibración de potasio.....	30
Figura 5.3.4.1. Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua potable por región.....	39
Figura 5.3.4.2. Concentraciones de Al, Cu, Fe, As, Cd, Pb agua potable por región.....	40
Figura 5.3.5.1 Concentraciones de Al, Cu, Fe, As, Cd, Pb agua embotellada origen.....	45
Figura 5.3.5.2 Concentraciones Na, Ca, Mg y K en agua embotellada por origen.....	46
Figura 5.3.6.1. Concentraciones Na, Mg, K y Ca en agua filtro vs no filtro.....	48

1. Introducción

1.1.Trasfondo

El agua es el nombre común del compuesto químico formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. En su forma pura es incolora, inodora e insípida y es la única sustancia que coexiste en nuestro planeta en forma líquida, sólida y gaseosa. Es fundamental para todas las formas de vida existentes y representa hasta el 90% de la masa de los seres vivos. El agua es vital para el funcionamiento adecuado de los procesos metabólicos que se llevan a cabo en el organismo. Actúa como reguladora de la temperatura corporal, transporte y solvente de nutrientes y productos catabólicos, como reactivo y medio de reacción. Se estima que hasta el 70% de la masa del cuerpo humano es agua requiriendo ingerir de uno a tres litros diarios para su adecuado funcionamiento. (Fennema O, 2002).

El agua es un compuesto abundante y cubre aproximadamente el 75% de la superficie terrestre, de la cual un 97% es salada y un 3% se considera dulce. El 2% del agua dulce se encuentra en estado sólido (hielo) quedando sólo un 1% de agua accesible repartida en embalses, ríos, quebradas, acuíferos, manantiales y pozos subterráneos. Esta agua disponible debe ser sometida a diversos procesos de purificación con la finalidad de eliminar posible contaminación y así poder obtener agua apta para el consumo humano conocida como agua potable.

El agua puede estar contaminada química, física o biológicamente debido a procesos naturales como presencia de insectos y composición de suelos; esta

contaminación proviene principalmente de causas humanas como procesos de extracción de minerales, residuos de sistemas agrícolas y zoo-criaderos, disposición inadecuada de desechos y sistemas deficientes de aguas servidas. (De Vries, 1996).

Los procedimientos de potabilización del agua pueden variar dependiendo su origen, los sistemas disponibles de purificación, posible uso, tipo de contaminación presente y legislaciones del país o estado donde se utilice.

El agua potable no es completamente pura y puede contener una diversidad de minerales, metales y sólidos disueltos que pueden darle sabor, olor y color. La presencia de éstos puede considerarse beneficiosa, si se encuentra en la concentración adecuada y cumplen alguna función nutritiva, o perjudicial si contiene contaminantes que sobrepasan los límites permitidos por las legislaciones vigentes. En la actualidad se ha observado un aumento sustancial del consumo de agua embotellada en el mundo partiendo de la creencia que esta es de mejor calidad que el agua potable. Según la Asociación Internacional de la Industria de Agua Embotellada, en el 2005, el agua en botella era la segunda bebida más popular en los Estados Unidos después de las bebidas carbonatadas sin alcohol. En el caso de Puerto Rico se puede notar esta tendencia en la gran diversidad de marcas disponibles en el comercio, tanto local como importada, y en el número de embotelladoras presentes en la isla las cuales sobrepasan en la actualidad las 80 empresas según datos proporcionados por el Departamento de Salud de Puerto Rico. A diferencia del agua potable, las plantas embotelladoras no cuentan con un proceso de monitoreo directo por parte del Departamento de Salud de Puerto Rico (2002), de la Agencia de

Protección Ambiental (EPA), la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) o la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico.

Teniendo en cuenta la importancia del recurso agua, la disminución de su disponibilidad y el aumento en los factores que pueden contaminarla, se realizó una comparación entre la calidad de agua potable de diversos sitios de Puerto Rico, agua embotellada de diferentes orígenes (nacionales e importadas) y agua potable filtrada mediante filtros de uso doméstico. Los parámetros utilizados para determinar la calidad del agua en esta investigación fue la concentración de los siguientes metales: sodio, potasio, calcio, magnesio, plomo, cadmio, arsénico, hierro, cobre y aluminio que tienen importancia desde el punto de vista de la inocuidad de alimentos.

Cada muestra se analizó por triplicado utilizando la técnica de ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry*) y siguiendo el método 200.8 de la EPA (Environmental Protection Agency).

1.2. Metales analizados:

Las principales propiedades químicas y físicas de los metales aluminio, cadmio, plomo, arsénico, hierro, cobre, calcio, magnesio, sodio y potasio están representadas en la Tabla 1.2.1. y 1.2.1. (Zumdhal, 2005).

Tabla 1.2.1. Propiedades principales de Cu, Pb, Fe, Cd, As y Cu

Nombre	Cadmio	Plomo	Hierro	Aluminio	Cobre	Arsénico
Símbolo	Cd	Pb	Fe	Al	Cu	As
Número atómico	48	82	26	13	29	33
Radio atómico (Å)	1.54	1.75	1.26	1.43	1.28	1.39
Masa atómica (g/mol)	112.40	207.19	55.84	26.98	63.54	74.92
Densidad (g/ml)	8.65	11.4	7.86	2.70	8.96	5.72
Punto de ebullición (°C)	765	1725	3000	2450	2595	613
Punto de fusión (°C)	320.9	327.4	1536	660	1083	817

Tabla 1.2.2. Propiedades principales de Na, Mg, K y Ca

Nombre	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio
Símbolo	K	Ca	Mg	Na
Número atómico	19	20	12	11
Radio atómico	2.35	1.97	1.60	1.90
Masa atómica (g/mol)	39.098	40.08	24.305	229.898
Densidad (g/ml)	0.97	1.55	1.74	0.97
Punto de ebullición (°C)	760	1440	1107	892
Punto de fusión (°C)	97.8	838	650	97.8

1.3. Importancia en la inocuidad de alimentos y nutricional

De Vries (1996) define contaminantes como sustancias que se encuentran accidentalmente en los alimentos y pueden llegar de diversas formas a éstos. En el agua de consumo humano se pueden encontrar diversos metales en diferentes concentraciones. Algunos pueden ser considerados beneficiosos a ciertas concentraciones como es el caso del sodio, magnesio, potasio y calcio mientras que metales como el plomo, arsénico, cadmio y aluminio son considerados contaminantes y tóxicos para la salud humana en cualquier concentración. Las principales funciones de los metales analizados en el

organismo, su ingesta diaria recomendada según Whitney (2005) y los límites permisibles por la EPA se discuten en los siguientes párrafos:

1.3.1. Calcio

Es considerado un nutriente esencial debido a su importancia desde el punto de vista nutricional ya que cumple diversas funciones en el organismo tales como formar y reforzar los huesos, regular movimientos del corazón y ayudar en la absorción del hierro. Para la correcta asimilación de calcio es necesaria la presencia de la vitamina D, mientras que el fósforo y magnesio pueden obstruir la asimilación de este nutriente. La ingesta recomendada de calcio se estima entre 600 y 1500 mg diarios. El consumo de cantidades de calcio por encima de la dosis recomendada puede causar hipercalcemia mientras que su deficiencia a largo plazo causa osteoporosis.

1.3.2. Magnesio

Este mineral pertenece al grupo de los nutrientes esenciales y es importante para disminuir el índice de glucosa en la sangre, ayuda al igual que el calcio en la prevención de la osteoporosis, es fundamental en la síntesis de algunas proteínas, actúa como anticoagulante sanguíneo, favorece la elaboración de ATP y estabiliza las cadenas estructurales del ADN y ARN. La deficiencia de magnesio puede ocasionar debilidad, náuseas y vómitos y el consumo de altas dosis puede ocasionar distensiones musculares, problemas nerviosos, depresiones y cambios de personalidad. La ingesta recomendada se estima entre 300 y 500 mg diarios. Es rara su deficiencia.

1.3.3. Potasio

Es considerado un nutriente esencial y entre sus principales funciones en el cuerpo humano están la de mantener el índice ácido-base, equilibrar los líquidos corporales debido a que actúa como diurético, asociado al magnesio reduce la tensión sanguínea y los riesgos de infarto. Es utilizado en forma de cloruro de potasio para producción de fertilizantes, como hidróxido y carbonato de potasio para preparación de jabones líquidos y jabones blandos respectivamente y como nitrato de potasio se utiliza en fósforos y fuegos pirotécnicos. Es raro un déficit de potasio en personas con una dieta equilibrada y su ingesta recomendada es de 4700 mg diarios.

1.3.4. Sodio

Es un nutriente esencial y es útil junto con el potasio para regular los niveles de líquidos, controla los niveles de pH en el organismo, ayuda en las contracciones musculares y a las células en la absorción de nutrientes. La principal fuente es el cloruro de sodio y su ingesta recomendada es de 1500 mg diarios. El consumo por niveles mayores puede ocasionar daños en los riñones, arteriosclerosis y aumento en la presión arterial mientras que un déficit de sodio puede ocasionar deshidratación, disminución del crecimiento y parálisis muscular. La concentración de sodio en agua potable se estima en 50 mg/L variando según la fuente de origen y los tratamientos a los que es sometida el agua. La concentración de sodio puede ser mayor en aguas minerales.

1.3.5. Hierro

Es un nutriente esencial y entre sus principales funciones están las de transportar oxígeno en la sangre, forma parte de la hemoglobina y de la mioglobina. Se recomienda

una ingesta de 15 mg diarios, el principal síntoma de deficiencia es la fatiga y es la deficiencia de nutriente más común que existe. Consumir hierro por encima de los niveles recomendados puede aumentar el riesgo de afecciones cardíacas y puede causar artritis reumatoidea. La EPA establece un máximo de 0.3 mg/L y lo considera un contaminante secundario que puede causar sabor metálico y color rojizo o naranja en el agua.

1.3.6. Aluminio

Es altamente reactivo por lo que rara vez se encuentra puro en la naturaleza, generalmente se utiliza en aleaciones. Tiene múltiples aplicaciones y sus principales usos están dados en la fabricación de estructuras de transportes, construcción, industria de alimentos en forma de empaques, utensilios de cocina y recipientes criogénicos. Se ha demostrado que el aluminio puede tener efectos perjudiciales a la salud tales como daños al sistema nervioso central, pérdida de memoria y temblores si se ingiere a altas concentraciones. La EPA lo considera un contaminante secundario que causa cambio de color en el agua y establece un límite máximo de 0.2 mg/L.

1.3.7. Cobre

Pertenece al grupo de los microminerales. Es uno de los pocos metales que se puede encontrar en forma pura en la naturaleza. El cobre pertenece al grupo de los nutrientes esenciales y forma parte activa de las reacciones enzimáticas, participa en la elaboración del ATP, producción y transporte de hemoglobina y forma parte importante de la producción del aminoácido tirosina. Se recomienda una ingesta de 2 mg diarios y el consumo por encima de estos niveles puede producir diarrea, vómitos, náuseas, daños en hígado y riñones. La deficiencia de cobre disminuye la efectividad de las reacciones

enzimáticas, aumentan las lipoproteínas de baja densidad (conocidas como colesterol malo), disminuye las lipoproteínas de alta densidad (colesterol bueno) y puede producir aumento en la presión sanguínea. La EPA regula las concentraciones de cobre en agua potable estableciendo un máximo de 1.3 mg/L. El cobre puede llegar al agua debido a la corrosión de tuberías caseras y erosión depósitos naturales.

1.3.8. Arsénico

Es uno de los elementos más tóxicos que se encuentran en la naturaleza, ha sido utilizado como ingrediente principal de los conservantes de madera y se usó como parte de insecticidas y plaguicidas. El consumo de productos contaminados con arsénico puede ocasionar daños a la salud entre estos daños al sistema circulatorio, e intensifica las posibilidades de desarrollar cáncer de piel, hígado y pulmón principalmente. La EPA regula la concentración de arsénico en agua potable en un límite máximo de 0.010 mg/L. Según la EPA las principales fuentes de contaminación del agua por arsénico son la erosión de depósitos naturales, escorrentías de cultivos y producción de desechos de la industria de aparatos electrónicos.

1.3.9. Cadmio

Su principal uso es en la producción de baterías, pero está presente además en tuberías galvanizadas, aleaciones y en algunos semiconductores. La ingesta de cadmio puede darse por alimentos y agua contaminada y puede causar diversas condiciones de salud entre ellas vómitos, diarreas, dolor de estómago, daños en el sistema reproductor, sistema inmune y daños psicológicos y aumenta las posibilidades de desarrollar diversos tipos de cáncer. La EPA establece un límite de 0.005 mg/L en agua potable y según ésta

las principales fuentes de contaminación del agua son la erosión de depósitos naturales, corrosión de tuberías galvanizadas, descargas de refinerías y desechos de industrias de pintura y de baterías.

1.3.10. Plomo

No es común encontrarlo en su estado elemental y es usado principalmente en la fabricación de baterías, soldaduras, municiones, cables, tuberías, plomadas de pesca y en las maquinas de rayos X debido a que protege excelentemente de la radiación. Fue usado como ingrediente de pinturas y de gasolina. El plomo se considera un metal pesado el cual se encuentra de forma natural en el ambiente y su ingesta puede causar daños severos a la salud tales como daños cerebrales, alteración del sistema nervioso, daños al aparato reproductor masculino y puede causar disminución del aprendizaje y cambios de comportamiento en niños. Además puede tener efectos teratogénicos. La EPA establece un límite máximo de 0.015 mg/L en agua potable y se estima que las principales fuentes de contaminación por plomo provienen de tuberías y erosión de depósitos naturales.

1.4. Sistemas de potabilización de agua en Puerto Rico

En Puerto Rico existen actualmente 116 plantas de filtración de agua. Este número y su localización varía debido a que continuamente se abren y cierran plantas según las necesidades de la comunidad. Se espera en el futuro poder regionalizar las plantas, una por cada región. Las plantas están distribuidas de la siguiente forma:

- Norte: Arecibo, Barceloneta, Camuy, Ciales, Corozal, Dorado, Florida, Hatillo, Jayuya, Lares, Manatí, Morovis, Naranjito, Quebradillas, Toa Alta, Utuado, Vega Alta y Vega Baja.
- Oeste: Aguada, Aguadilla, Añasco, Cabo Rojo, Hormigueros, Isabela, Lajas, Las Marías, Maricao, Mayagüez, Moca, Rincón, Sabana Grande, San Germán y San Sebastián.
- Sur: Adjuntas, Arroyo, Coamo, Guánica, Caguas, Guayama, Guayanilla, Juana Díaz, Maunabo, Orocovis, Patillas, Peñuelas, Ponce, Salinas, Santa Isabel, Villalba y Yauco.
- Este: Aguas Buenas, Aibonito, Barranquitas, Caguas, Cayey, Ceiba, Cidra, Comerío, Culebra, Fajardo, Río Grande, Gurabo, Humacao, Juncos, Las Piedras, Luquillo, Naguabo, San Lorenzo, Vieques y Yabucoa.
- Área metropolitana: Bayamón, Canovanas, Carolina, Cataño, Guaynabo, Loiza, San Juan, Toa Baja, Toa Alta y Trujillo.

Según la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (2009) de Puerto Rico la mayoría de las plantas del país usan el método convencional de potabilización del agua que consiste de los siguientes pasos:

- **Toma de agua en el abasto de agua natural:** El agua cruda es conducida a la planta de filtración y se usa un cedazo o parrilla para eliminar sólidos.
- **Aeración:** El agua se expone a aire en forma de rocío para que el oxígeno entre y elimine minerales de hierro y manganeso que le producen al agua color, olor y sabor.

- **Aplicación de productos químicos:** Uso de un polímero que coagula los sólidos del agua. Adición de cal para controlar la acidez y cloro para desinfectar.
- **Sedimentación:** Separación física por gravedad de los sólidos o flóculos formados en el proceso anterior.
- **Filtración:** El agua obtenida en el proceso anterior es pasada por un filtro de piedras, grava, arena y carbón para remover la totalidad de sólidos presentes.
- **Desinfección:** El agua filtrada es desinfectada con cloro diluido.
- **Distribución:** El agua se distribuye mediante un sistema de bombeo, reguladores de presión y tanques de almacenaje.

Las principales variaciones de este método en Puerto Rico son:

- Uso de membranas percoladoras: pueden retener partículas de 6-8 micrones (μm) y su principal ventaja es que retiene microorganismos tales como el *Cryptosporidium Parvum* y *Guardia Lamblia*. En la actualidad sólo se usa este tipo de membranas en las plantas ubicadas en Guajataca, Jayuya y Toro Negro.
- Ozono: En Puerto Rico sólo se trata el agua con ozono en la planta de agua potable localizada en Río Grande.

La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico está regulada por la Ley de Agua Potable Segura de la EPA y el Programa de Agua Potable del Departamento de Salud.

2. Objetivos

El propósito de esta investigación fue determinar y cuantificar el contenido de sodio, magnesio, calcio, potasio, hierro, cobre, plomo, cadmio, arsénico y aluminio en agua potable de diversos sitios de Puerto Rico, agua embotellada local e importada y agua filtrada mediante mecanismos domésticos.

Los objetivos específicos que se consideraron para este estudio son:

1. Comparar los resultados obtenidos en los diferentes tipos de agua con los parámetros establecidos por el Departamento de Salud de Puerto Rico y la EPA.
2. Comparar la calidad del agua potable versus agua embotellada teniendo en cuenta las concentraciones determinadas de los nutrientes esenciales como sodio, magnesio, calcio, potasio y metales tóxicos como hierro, cobre, plomo, cadmio, arsénico y aluminio.
3. Determinar si los filtros de uso doméstico ejercen efecto en términos de remoción de los metales anteriormente mencionados del agua potable.

3. Revisión de literatura

El agua como recurso natural esencial para el desarrollo de todas las funciones corporales necesita cumplir con estándares y legislaciones vigentes dependiendo el sitio de origen y consumo. Estas regulaciones pretenden garantizar la calidad del agua para consumo humano; sin embargo debido a la creciente industrialización, explotación intensiva de recursos y explosión demográfica se han ido expandiendo los problemas de contaminación incluyendo el agua.

Los contaminantes se clasifican como físicos, biológicos y químicos. Los contaminantes químicos del agua se pueden dividir en orgánicos como residuos de petróleos y sus derivados y en inorgánicos como sales, ácidos y trazas de metales. La presencia de metales no indica contaminación ya que el agua en su estado natural contiene diversas cantidades de sales y minerales algunos de los cuales pueden ser beneficiosos para los seres vivos en concentraciones adecuadas.

Según el reglamento general de Salud Ambiental del Departamento de Salud de Puerto Rico el agua potable se define como agua que es segura y satisfactoria para ingerir y cocinar. El agua embotellada se define como toda agua sellada en botellas o cualquier otro envase, ofrecida para la venta y consumo del ser humano incluyendo el agua mineral. Para obtener agua potable es necesario tomarla de su abasto natural y someterla a procedimientos de purificación establecidos y que pueden variar según el origen del agua. El agua embotellada mayormente es agua potable que es sometida a tratamientos adicionales para luego ser envasada. Ninguno de los tratamientos a los cuales se somete

el agua para consumo humano -sea potable o embotellada- garantiza la remoción completa de trazas de contaminantes como se ha demostrado mediante investigaciones previas.

Estudios realizados por Richardson *et al.* (2005) muestran el incremento en los contaminantes que pueden estar presentes en el agua y hacen un análisis de los métodos y legislaciones existentes para regulación y determinación de éstos. Entre las técnicas para la detección de trazas de metales en agua se puede notar el uso de “Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry” (ICP-MS). Entre los estudios que han utilizado la técnica de ICP-MS Beauchemin *et al.* (2002) determinaron y cuantificaron la presencia de metales como sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu) y plomo (Pb) entre otros en muestras del Río San Lorenzo de Quebec, Canadá. Macintosh *et al* (2000) analizaron arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr) por medio de ICP-MS en diferentes tipos de bebidas. Estos análisis permitieron determinar la exposición a estos metales.

Estudios similares se han realizado en agua embotellada; Shotyk y Krachler (2007) analizaron plomo (Pb) en agua embotellada de 125 marcas de 28 países, teniendo en cuenta el tipo de empaque para determinar si existía casos de contaminación cruzada. Se concluyó que el agua potable y el agua embotellada pueden no tener ninguna diferencia en las concentraciones de plomo, pero de existir podría deberse a migración de contaminantes del empaque hacia el agua.

Azoulay *et al.* (2001) compararon el contenido mineral del agua potable y del agua embotellada a partir de datos obtenidos de las autoridades municipales de 25 ciudades de Norte América y de información del “*The Good Water Guide*” de 37 marcas

de agua respectivamente. Los resultados de este estudio demostraron que en el agua potable existen importantes variaciones en el contenido mineral y que en general las concentraciones de los iones de Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^{+1} son mayores en el agua subterránea que en el agua superficial. En el agua embotellada se encontraron importantes variaciones siendo la principal que el agua proveniente de ciudades de Norte América contiene niveles mas bajos de minerales que las provenientes de Europa. En general se concluyó que el agua potable y embotellada contienen concentraciones de los iones de sodio, magnesio y calcio que pueden proporcionar importantes porciones de la ingesta diaria recomendada de estos minerales, sugiriendo consultar con especialistas de la salud sobre las ventajas y desventajas del consumo de determinado tipo de agua.

Prevía consulta con las entidades encargadas de velar por la calidad del agua en Puerto Rico se encontró que no existen estudios comparativos de la calidad en términos de la concentración de metales del agua potable versus el agua embotellada.

Molinna *et al.* (2001) en la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez realizó un estudio comparativo de la calidad en término de la concentración de iones de F^{-1} , Cl^{-1} , NO_3^{-1} , y SO_4^{-2} del agua potable versus agua embotellada mediante el uso de la técnica de cromatografía de intercambio iónico. Se analizaron muestras por triplicado de 8 municipios de Puerto Rico y 16 muestras de agua embotellada obteniendo como resultado que las concentraciones de estos iones en agua embotellada son más altos que los de agua potable pero todos estaban dentro de los límites establecidos por la EPA.

Las agencias reguladoras de la calidad del agua en Puerto Rico son la EPA, la FDA, el Departamento de Salud y la Junta de Salud Ambiental.

La EPA establece estándares o regulaciones que permiten controlar el nivel de contaminantes en el agua potable y los clasifica en los dos siguientes grupos:

- **Reglamento nacional primario de agua potable:** Son los estándares aplicables legalmente a los sistemas públicos de agua potable y limitan los niveles de contaminantes específicos que puedan afectar negativamente a la salud pública y que se sabe que existen o puedan existir en el agua. Estos estándares están relacionadas con los Niveles Máximos de Contaminantes permitidos en el agua.
- **Reglamento nacional secundario de agua potable:** Informa sobre los posibles contaminantes que pueden producir efectos estéticos y que causan cambios en las propiedades organolépticas del agua. Estos estándares son recomendados y los suplidores de agua no están obligados a cumplir con estos parámetros.

Los anteriores reglamentos aplican a todos los sistemas de agua potable que incluyan 15 o más conexiones y/o sirvan a más de 25 individuos. Los sistemas públicos de agua incluyen: las empresas municipales, las asociaciones de propietarios de viviendas, escuelas, negocios, campamentos y centros comerciales.

Adicionalmente la EPA establece los métodos analíticos para determinar la concentración de los contaminantes en agua, en el caso de esta investigación el método aplicado es el 200.8 llamado “*Determination of Trace Elements In Waters and Wastes By Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry*”.

La FDA es la agencia encargada del agua embotellada que incluye al agua mineral, con gas, manantial y purificada estableciendo Buenas Prácticas de Fabricación

(GMP, por sus siglas en inglés) las cuales incluyen que los productores protejan las fuentes de abasto de agua, cumplan los procesos de control de calidad y tomen muestras para realizar pruebas que permitan detectar la presencia de contaminantes.

El laboratorio de química del agua del Departamento de Salud de Puerto Rico no se encuentra en funcionamiento en la actualidad y el protocolo para determinar si las empresas embotelladoras de agua cumplen con los estándares relacionados en cuanto a la concentración de metales consiste en exigir una vez al año a los productores el análisis de muestras de agua realizados en laboratorios certificados.

4. Materiales y métodos

4.1.Método EPA 200.8

Para el análisis de los metales seleccionados en esta investigación se utilizó como referencia el método 200.8 (Revisión 5.4 versión EMMC) de la EPA. Este método provee procedimientos para la determinación de elementos disueltos en diferentes tipos de agua, aguas residuales, lodos y muestras de suelos mediante el uso de la técnica de ICP-MS y puede ser aplicado para determinar la concentración de elementos tales como: aluminio, antimonio, arsénico, bario, cadmio, cobre, plomo, manganeso, selenio, níquel, plata y cinc entre otros.

4.2.Materiales, reactivos y equipos

4.2.1. Reactivos:

- Gas Argón de 99.998% de pureza. Proveedor: Linde Gas
- Agua desionizada 18 microhmios, Sistema Barnstead Nanopure Diamond
- Acido nítrico (HNO_3) grado “trace metal” Lote # NX0407-2.
- Solución estándar multi elementos III. Fluka Analytical
- Solución estándar multi elementos IV. Fluka Analytical
- Solución “Standard Reference Material 1640” del National Institute of Standards Technology (NIST)
- Internal standard mix Agilent. Lote 34-127AS

4.2.2. Materiales:

- Pipeta ajustable Fisher Brand 2.00-10.00 mL.
- Pipeta ajustable Eppendorf 10.00-100.00 μ L.
- Puntas de pipeta 1 mL Molecular Bio-Products y Micro puntas de pipeta 0.50-10.00 μ L Fisher Scientific.
- Desionizador Barnstead Nanopure Diamond.
- Balanza analítica Adventure® Ohaus.
- Matraces volumétricos de 10.00, 25.00, 100.00 y 1000.00 mL de capacidad.

4.2.3. Equipos:

ICP-MS: Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry 7500ce Agilent Technologies. Es considerada una variante de las técnicas de espectrometría de masas. Entre sus principales características tenemos bajos límites de detección (ppb hasta ppt), alta precisión y análisis de la mayoría de los elementos e isótopos de la tabla periódica de manera simultánea. Es considerada una técnica ideal para el análisis de metales en agua. Sus componentes principales son:

- **Sistema de introducción de la muestra:** Este sistema está compuesto por un nebulizador, una cámara de nebulización y una bomba peristáltica. Existen diversos tipos de nebulizadores y su función es la de convertir la muestra líquida en aerosol para que pueda ser introducida en la corriente del gas que la transporta que generalmente es argón; en la cámara de nebulización se separan las gotas grandes (superiores a 10 μ m de diámetro) que se hayan formado en el proceso

anterior desechándolas mediante un sistema de drenaje y la bomba peristáltica que es usada para transportar la muestra líquida hasta el nebulizador.

- **Lentes iónicas:** Su función es transportar los iones procedentes de la interface al espectrómetro de masas
- **Cuádruplo:** Consiste de un sistema de cuatro barras de metal equidistantes que se encargan de separar los iones en función de su relación masa carga mediante variaciones del potencial eléctrico.
- **Detector:** El más usado es el “Channeltron Electron Multiplier” el cual consta de un tubo de vidrio abierto con un cono en una terminación el cual es sometido a un potencial negativo así cuando los iones salen del analizador de masas son atraídos por el cono, al chocar en la superficie del cono producen electrones secundarios los cuales son amplificados generando una señal.
- **Sistema de vacío:** El espectrómetro de masas requiere operar a vacío, por lo tanto el ICP-MS reduce la presión por medio de una técnica llamada bombeo diferencial la cual permite crear vacío en el espectrómetro de masas y no en el ICP.



Figura 4.2.3. ICP-MS tomado de www.agilent.com

4.3. Diseño experimental

4.3.1. Parámetros de muestreo

4.3.1.1. Agua embotellada

Se compraron veinte marcas diferentes de agua embotellada en un supermercado de Mayagüez, Puerto Rico. De cada marca se analizaron tres muestras de lotes diferentes verificados de acuerdo a la fecha de expiración y número de lote que viene en el envase. De las 20 marcas analizadas, 12 son de Puerto Rico y 8 importadas dividiéndose en 3 de Estados Unidos, 2 de España, 1 de Canadá, 1 de Italia y 1 de Francia.

Tabla 4.3.1.1. Origen agua embotellada

Numeración	Origen	Tipo de Agua	Sistema de Filtración
1	Canadá	Purificada	MF, UV
2	España	Manantial	NI
3	España	Manantial	NI
4	Estados Unidos	Manantial	MF, UV, OI, FC, SA, O
5	Estados Unidos	Mineral	NI
6	Estados Unidos	Manantial	NI
7	Francia	Manantial	NI
8	Italia	Manantial	NI
9	Puerto Rico	Mineral	Hydro-7
10	Puerto Rico	Purificada	NI
11	Puerto Rico	Purificada	NI
12	Puerto Rico	Purificada	O, UV
13	Puerto Rico	Destilada	O, UV
14	Puerto Rico	Mineral	O, MF
15	Puerto Rico	Purificada	MF, O, OI
16	Puerto Rico	Purificada	UV, O
17	Puerto Rico	Purificada	O,UV, OI
18	Puerto Rico	Purificada	UV, O
19	Puerto Rico	Purificada	UV, MF, OI, O, FC, SA
20	Puerto Rico	Purificada	SA, FC, VD

Cada compañía utiliza sistemas de purificación diferentes y se indican en la tabla 4.3.1.1. por las siguientes iniciales MF (Micro filtración), UV (Ultra Violeta), O (Ozono), OI (Osmosis Inversa), SA (Suavizadores de Agua), VP (Vapor destilado), FC (Filtro de Carbón) y NI (No Indicado en el Envase).

4.3.1.2. Agua potable

Se analizaron 32 muestras de agua potable de diferentes municipios de Puerto Rico. De estas cinco pertenecen al área centro de la Isla (Aibonito, Cayey, Cidra, Naranjito, Villalba), cinco muestras del área Este (Canovanas, Fajardo, Juncos, Rio Grande, San Lorenzo), seis del área Metropolitana (2 de San Juan, 2 de Carolina, 1 de Cataño y 1 de Guaynabo), tres del área Norte (Camuy, Vega baja, Toa baja), nueve muestras del área Oeste (Aguadilla, Aguada, Cabo Rojo, Hormigueros, Lajas, Mayagüez, Moca, San Germán, San Sebastián) y 5 muestras del área Sur (Coamo, Guayama, Ponce, Salinas y Yauco).

4.3.1.3. Agua filtrada

Se analizaron cinco muestras de agua filtrada con filtros de uso doméstico, por cada muestra filtrada se analizó una muestra potable del mismo sitio de origen con el fin de poder determinar si existe una capacidad de remoción en cuanto a los metales analizados. Los filtros utilizados fueron: 1 filtro de carbón activado y cuatro filtros de cartuchos de diferentes marcas disponibles en el mercado local.

Todas las muestras fueron analizadas por triplicado y cada uno de éstos se recolectó en fechas diferentes. Para almacenar las muestras de agua potable y agua filtrada se utilizaron viales de plástico de 50 mL previamente lavados con HNO₃ al 10%.

El protocolo para tomar las muestras consistió en abrir la llave de la pluma y dejar correr el agua por un minuto, tiempo seguido se enjuagó el vial tres veces con la misma agua y a la cuarta vez se tomó la muestra.

4.4. Análisis estadístico:

Se realizó un análisis de varianza o ANOVA por sus siglas en inglés a los datos obtenidos mediante el uso de el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.1 (2005) para determinar si existen diferencias significativas entre las diferentes muestras tomando como fuente de variación el origen (municipios y regiones) en el agua potable, muestra y origen en agua embotellada y tipo (filtrada, no filtrada) y origen en el agua filtrada vs no filtrada.

Adicional se realizó un “Tukey’s test” con las medias de las concentraciones en las cuales existía según ANOVA diferencia significativa para establecer entre cuales muestras estaba esa diferencia.

4.5. Preparación de muestras y estándares

4.5.1. Preparación de curva de calibración

Solución multiestándar III (Fluka Analytical): Este multiestándar contiene Plomo, Arsénico, Cadmio, Aluminio, Hierro y Cobre a concentraciones de 40, 40, 10, 40, 100 y 20 mg/L respectivamente. Del multiestandar se tomó una alícuota de 1.00 mL para preparar 10.00 mL de una solución stock al 2% de HNO_3 . De la solución stock se tomaron alícuotas de 50.0, 125.0, 250.0, 375.0 y 500.0 μL y se prepararon en matraces volumétricos de 10.00 mL soluciones al 2% de HNO_3 . Todas las soluciones fueron

llevadas a volumen con agua deionizada. A continuación las concentraciones de la curva de calibración:

Tabla 4.5.1.1. Concentraciones curva de calibración

Curva de Calibración	Concentraciones en ppb					
	Plomo	Arsénico	Cadmio	Aluminio	Hierro	Cobre
Blanco	0	0	0	0	0	0
Solución 1	20	20	5	20	50	10
Solución 2	50	50	12.5	50	125	25
Solución 3	100	100	25	100	250	50
Solución 4	150	150	37.5	150	375	75
Solución 5	200	200	50	200	500	100

Solución multiestandar IV (Fluka Analytical): Este multiestándar contiene calcio, magnesio, potasio y sodio a 2000, 400, 200 y 1000 mg/L respectivamente. Del multiestandar se tomó una alícuota de 1 mL para preparar 10 mL de una solución stock al 2% de HNO₃. De la solución stock se tomaron alícuotas de 50, 100, 300, 500 y 1000 µL y se prepararon en matraces volumétricos de 10 mL soluciones al 2% de HNO₃.

Todas las soluciones fueron llevadas a volumen con agua deionizada. A continuación las concentraciones de la curva de calibración:

Tabla 4.5.1.2. Concentraciones curva de calibración

Curva de Calibración	Concentraciones en ppb			
	Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio
Blanco	0	0	0	0
Solución 1	100	20	50	10
Solución 2	1000	200	500	100
Solución 3	3000	600	1500	300
Solución 4	5000	1000	2500	500
Solución 5	10000	2000	5000	1000

4.5.2. Preparación de muestras

Las muestras de agua potable, agua embotellada y agua filtrada se prepararon de igual forma. Para análisis de plomo, arsénico, cadmio, aluminio, hierro y cobre se tomaron 2.5 mL de cada muestra y se diluyeron con HNO_3 y agua deionizada hasta completar un volumen de 5 mL y una concentración final de 2% de HNO_3 .

Para análisis de calcio, sodio, magnesio y potasio se tomaron alícuotas de 1 mL de cada muestra y se diluyeron con HNO_3 y agua deionizada hasta completar un volumen de 5 mL y una concentración final de 2% de HNO_3 .

4.5.3. Muestras fortificadas

Se prepararon muestras fortificadas las cuales se utilizaron como método de control. Estas muestras tienen concentraciones conocidas y se analizaron cada diez muestras con el fin de garantizar que las lecturas obtenidas sean confiables. Los valores obtenidos de las muestras fortificadas se encuentran tabulados en el apéndice A.

5. Análisis y discusión de resultados

5.1. Curvas de calibración

Luego de analizar las muestras en el ICP-MS se graficaron los resultados obteniendo curvas de calibración con valores de rango lineal (R^2) entre 0.994 y 1.0. A continuación las curvas de calibración utilizadas para determinar la concentración de aluminio, hierro, cobre, plomo, cadmio, arsénico, calcio, magnesio, potasio y sodio en el lote numero uno de agua potable. Para el elemento plomo y calcio se determinó la concentración de los isótopos 206, 207, 208 y 43, 44 respectivamente utilizando como dato final el promedio de las concentraciones de los isótopos.

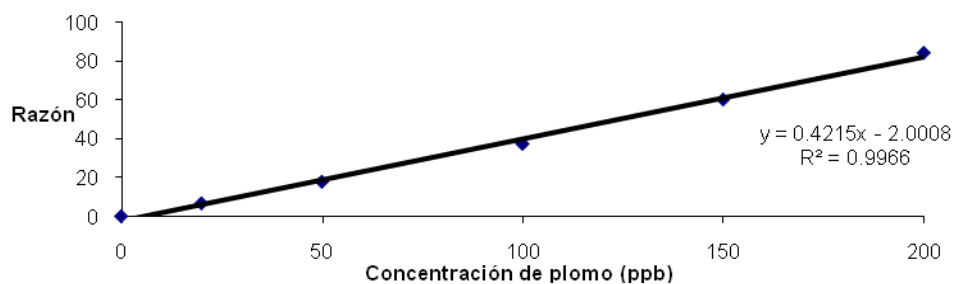


Figura 5.1.1. Curva de calibración de plomo

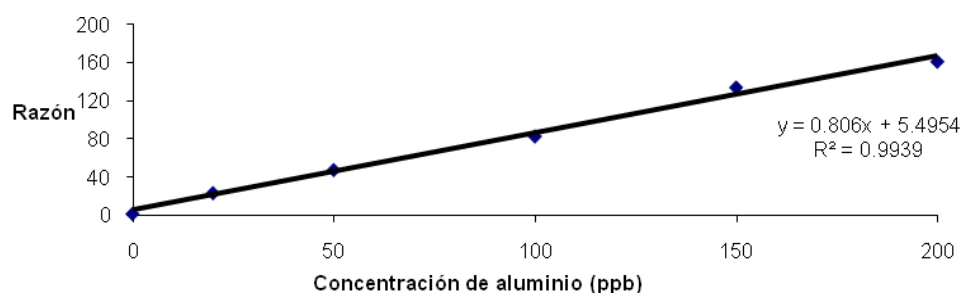


Figura 5.1.2. Curva de calibración de aluminio

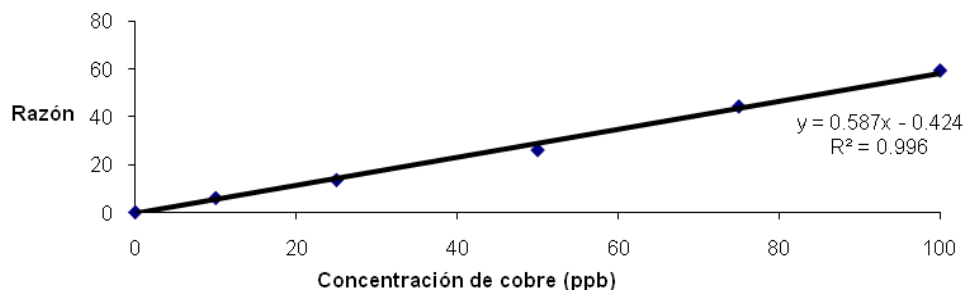


Figura 5.1.3. Curva de calibración de cobre

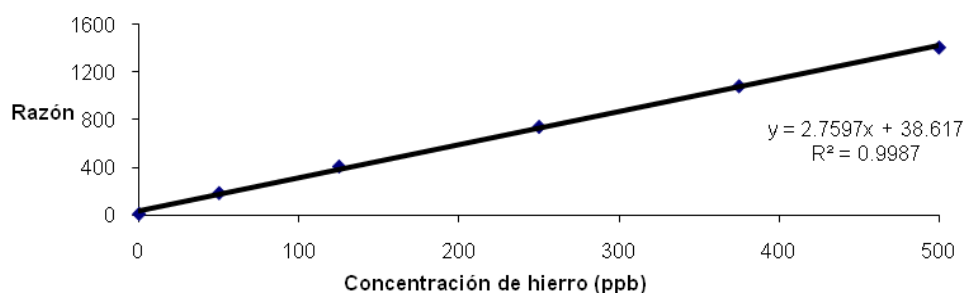


Figura 5.1.4. Curva de calibración de hierro

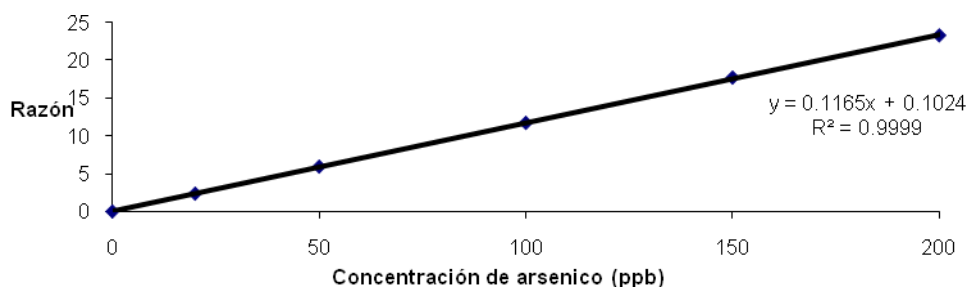


Figura 5.1.5. Curva de calibración de arsénico

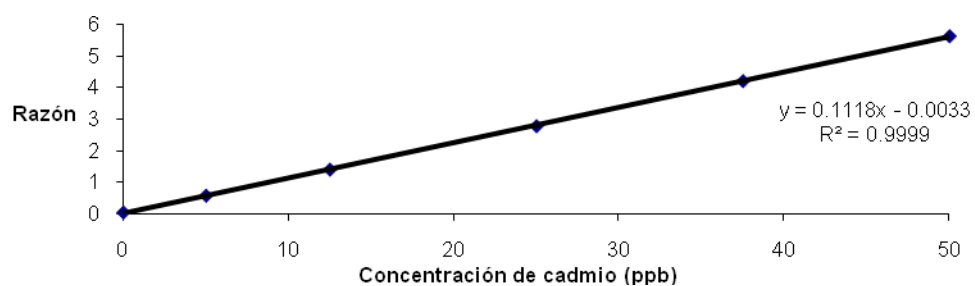


Figura 5.1.6. Curva de calibración de cadmio

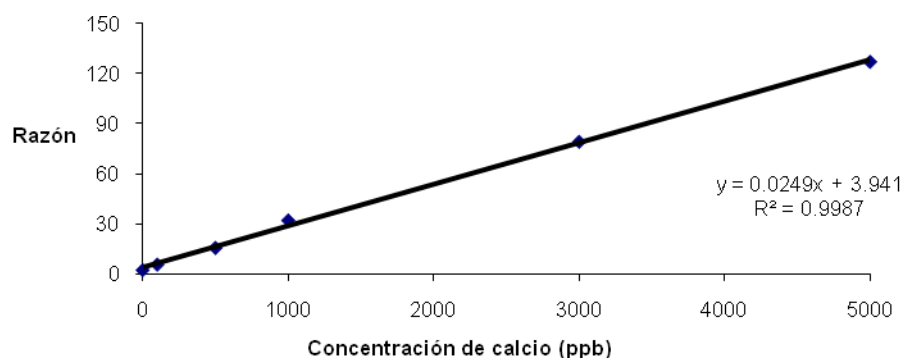


Figura 5.1.7. Curva de calibración de calcio

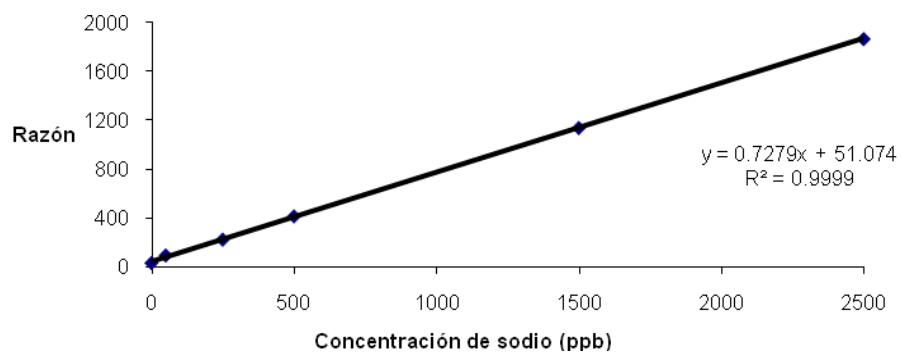


Figura 5.1.8. Curva de calibración de sodio

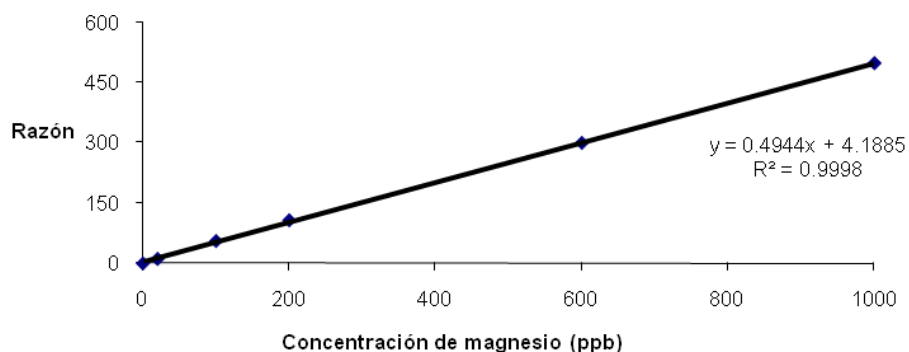


Figura 5.1.9. Curva de calibración de magnesio

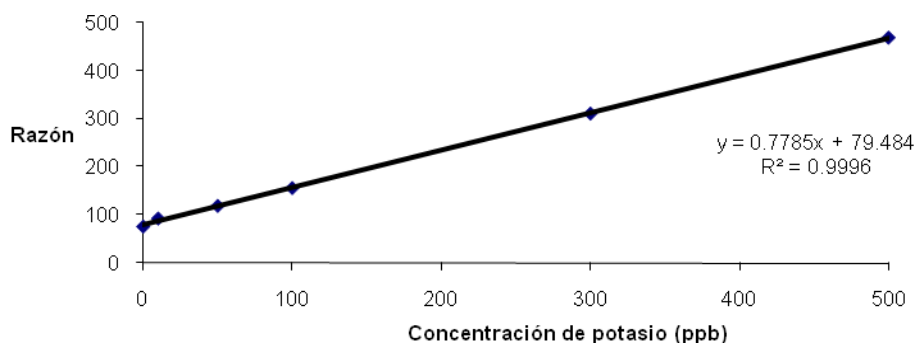


Figura 5.1.10. Curva de calibración de potasio

5.2. Límites de detección y de cuantificación

Se determinaron los límites de detección y cuantificación los cuales se definen como la cantidad o concentración mínima de sustancia que puede ser detectada y cuantificada respectivamente por un método analítico. El límite de detección y cuantificación se pueden calcular con las ecuaciones 1 y 2, donde S representa la desviación estándar del blanco y m el valor de la pendiente.

$$\text{Límite de cuantificación} = 10 \times \left(\frac{S_{\text{blanco}}}{m} \right) \quad (1)$$

$$\text{Límite de detección} = 3 \times \left(\frac{S_{\text{blanco}}}{m} \right) \quad (2)$$

Tabla 5.2.1. Resultados curva de calibración para Ca, Na, Mg, K

Curva de calibración	Calcio		Sodio		Magnesio		Potasio	
	Razón	%RSD	Razón	%RSD	Razón	%RSD	Razón	%RSD
Blanco	2.33	1.02	38.11	0.36	0.47	1.62	75.66	0.53
1	5.67	0.75	99.74	0.97	11.95	0.54	92.47	0.49
2	15.70	3.43	229.60	3.24	56.29	3.74	118.81	3.63
3	32.22	0.72	420.10	0.62	107.77	0.75	156.10	0.79
4	79.46	0.95	1143.00	0.54	299.99	1.08	311.40	1.31
5	127.50	0.70	1870.00	0.51	497.99	0.45	469.80	0.73

Tabla 5.2.2. Resultados límites de detección y cuantificación

Elemento	Límite		Elemento	Límite	
	Detección	Cuantificación		Detección	Cuantificación
Plomo	0.07	0.22	Cadmio	0.01	0.03
Aluminio	0.08	0.26	Calcio	2.88	9.58
Cobre	0.06	0.21	Sodio	0.57	1.88
Hierro	0.06	0.19	Magnesio	4.62	15.40
Arsénico	0.14	0.46	Potasio	1.58	5.26

5.3. Resultados obtenidos

Todos los resultados tabulados representan el promedio de las lecturas de muestras por triplicado exceptuando los valores marcados con un asterisco (*) que es promedio de dos muestras. Las concentraciones de cada muestra pueden verse en el apéndice C.

5.3.1. Concentraciones de Al, Cu y Fe en agua potable por municipios.

Tabla 5.3.1.1. Concentraciones Al, Cu y Fe agua potable área Centro.

Área Centro	Muestra	Concentración en ppb					
		Aluminio		Cobre		Hierro	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Aibonito	1	118.72	41.45	190.24	148.69	4.67	6.98
Cayey	2	9.98	8.88	29.16	17.81	27.37	14.24
Cidra	3	6.75	6.29	18.12	13.52	89.58	147.65
Naranjito	4	106.71	13.27	3.99	2.76	12.48	11.30
Villalba	5	6.92	5.26	5.84	5.05	20.67	21.99

Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.1.2. Concentraciones Al, Cu y Fe agua potable área Este.

Área Este	Muestra	Concentración en ppb					
		Aluminio		Cobre		Hierro	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Canovanas	6	10.68	13.42	308.57	272.27	1.85	3.20
Fajardo	7	76.7	28.41	6.79	8.96	5.47	4.50
Juncos	8	8.65	7.56	23.61	1.00	4.59	3.98
Rio Grande	9	3.61	3.27	26.71	22.51	1.19	1.16
San Lorenzo	10	10.72	9.39	106.82	75.00	6.29	9.03

Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.1.3. Concentraciones Al, Cu y Fe agua potable área Metropolitana

Área Metropolitana	Muestra	Concentración en ppb					
		Aluminio		Cobre		Hierro	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Carolina	11	7.27	6.34	88.82	14.4	7.82	10.6
Carolina	12	20.79	16.69	19.4	14.57	6.22	5.4
Cataño	13	16.54	11.9	48.06	32.44	2.3	2.11
Guaynabo	14	8.39	7.32	16.84	8.41	0.79	1.19
San Juan	15	23.11	11.77	9.66	13.11	2.95	3.09

Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.1.4. Concentraciones Al, Cu y Fe agua potable área Norte

Área Norte	Muestra	Concentración en ppb					
		Aluminio		Cobre		Hierro	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Camuy	16	67.26	41.99	16.33	4.71	2.09	1.89
Toa Baja	17	10.44	9.13	5.19	4.51	4.98	4.77
Vega Baja	18	3.45	3.45	7.95	6.90	1.96	1.73

Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.1.5. Concentraciones Al, Cu y Fe agua potable área Oeste.

Área Oeste	Muestra	Concentración en ppb					
		Aluminio		Cobre		Hierro	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Aguadilla	19	23.09	20.26	41.45	9.95	6.28	4.15
Aguada	20	13.04	11.33	72.73	53.04	1.90	3.29
Cabo Rojo	21	1.81	2.84	371.53	48.30	1.20	2.08
Hormigueros	22	4.08	5.12	53.08	61.75	2.80	2.73
Lajas	23	69.50	15.85	5.30	1.60	2.73	4.73
Mayagüez	24	9.31	3.60	198.90	55.47	13.40	12.84
Moca	25	14.30	3.27	6.18	5.40	2.22	2.53
San Germán	26	10.07	12.51	11.44	12.03	6.78	7.18
San Sebastián	27	8.19	7.15	4.54	3.96	2.26	1.97

Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.1.6. Concentraciones Al, Cu y Fe agua potable área Sur

Área Sur	Muestra	Concentración en ppb					
		Aluminio		Cobre		Hierro	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Coamo	28	1.37	1.48	28.26	13.13	3.36	3.12
Guayama	29	19.88	18.16	49.26	24.63	1.98	2.9
Ponce	30	92.79	18.38	50.03	12.13	2.6	1.18
Salinas	31	1.29	1.45	14.83	3.76	1.52	2.18
Yauco	32	5.88	5.11	10.56	7.32	1.33	1.24

ND: No Detectado; NQ: No Cuantificable; Dev St: Desviación estándar

5.3.2. Concentraciones de As, Cd y Pb en agua potable por municipio.

Tabla 5.3.2.1. Concentraciones As, Cd y Pb agua potable área Centro

Área Centro	Muestra	Concentración en ppb					
		Arsénico		Cadmio		Plomo	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Aibonito	1	0.61	0.53	ND	NA	0.22	0.38
Cayey	2	NQ	NA	ND	NA	NQ	NA
Cidra	3	NQ	NA	ND	NA	NQ	NA
Naranjito	4	NQ	NA	ND	NA	0.73	0.89
Villalba	5	NQ	NA	ND	NA	NQ	NA

NA: No aplica; ND: No Detectado; NQ: No Cuantificable; Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.2.2. Concentraciones As, Cd y Pb agua potable área Este

Origen	Muestra	Concentración en ppb					
		Arsénico		Cadmio		Plomo	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Canovanas	6	NQ	NA	ND	NA	0.43	0.13
Fajardo	7	NQ	NA	ND	NA	0.23	0.39
Juncos	8	NQ	NA	ND	NA	0.28	0.48
Rio Grande	9	NQ	NA	ND	NA	0.91	0.17
San Lorenzo	10	NQ	NA	ND	NA	0.83	1.43

NA: No aplica; ND: No Detectado; NQ: No Cuantificable; Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.2.3. Concentraciones As, Cd y Pb agua potable área Metropolitana

Origen	Muestra	Concentración en ppb					
		Arsénico		Cadmio		Plomo	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Carolina	11	NQ	NA	ND	NA	0.31	0.54
Carolina	12	0.62	0.79	0.12	0.21	0.46	0.58
Cataño	13	NQ	NA	ND	NA	0.26	0.45
Guaynabo	14	NQ	NA	ND	NA	NQ	NA
San Juan	15	NQ	NA	ND	NA	0.18	0.27

NA: No aplica; ND: No Detectado; NQ: No Cuantificable; Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.2.4. Concentraciones As, Cd y Pb agua potable área Norte

Origen	Muestra	Concentración en ppb					
		Arsénico		Cadmio		Plomo	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Camuy	16	NQ	NA	ND	NA	0.34	0.59
Toa Baja	17	NQ	NA	ND	NA	0.25	0.43
Vega Baja	18	NQ	NA	ND	NA	0.3	0.52

NA: No aplica; ND: No Detectado; NQ: No Cuantificable; Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.2.5. Concentraciones As, Cd y Pb agua potable área Oeste

Origen	Muestra	Concentración en ppb					
		Arsénico		Cadmio		Plomo	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Aguadilla	19	0.58	0.47	ND	NA	0.42	0.73
Aguada	20	0.59	0.51	ND	NA	1.01	0.91
Cabo Rojo	21	2.35	2.03	ND	NA	1.2	1.6
Hormigueros	22	1.64	1.42	ND	NA	1.52	2.33
Lajas	23	NQ	NA	ND	NA	NQ	NA
Mayagüez	24	NQ	NA	ND	NA	1.78	1.61
Moca	25	NQ	NA	ND	NA	0.97	0.17
San Germán	26	NQ	NA	0.3	0.26	1.45	1.91
San Sebastián	27	0.95	0.83	ND	NA	NQ	NA

NA: No aplica; ND: No Detectado; NQ: No Cuantificable; Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.2.6. Concentraciones As, Cd y Pb agua potable área Sur

Origen	Muestra	Concentración en ppb					
		Arsénico		Cadmio		Plomo	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Coamo	28	0.47	0.41	0.09	0.16	0.28	0.46
Guayama	29	NQ	NA	ND	NA	0.78	0.55
Ponce	30	NQ	NA	ND	NA	0.41	0.7
Salinas	31	NQ	NA	ND	NA	0.38	0.65
Yauco	32	NQ	NA	ND	NA	0.26	0.44

NA: No aplica; ND: No Detectado; NQ: No Cuantificable; Dev St: Desviación estándar

5.3.3. Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua potable por municipio.

Tabla 5.3.3.1. Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua potable área Centro

Área Centro	Muestra	Concentración de metales en ppm							
		Sodio		Magnesio		Potasio		Calcio	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Aibonito	1	23.96	6.16	10.25	1.29	1.96	0.69	20.82	4.09
Cayey	2	5.97	0.73	2.47	0.30	0.63	0.08	3.96	0.62
Cidra	3	6.16	0.55	2.54	0.17	0.66	0.07	4.66	0.51
Naranjito	4	4.71	3.45	15.49	2.14	1.40	0.20	24.44	4.29
Villalba	5	8.92	1.16	4.02	0.43	0.29	0.02	36.45	5.11

Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.3.2. Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua potable área Este

Área Este	Muestra	Concentración de metales en ppm							
		Sodio		Magnesio		Potasio		Calcio	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Canovanas	6	8.84	1.25	4.07	0.78	1.12	0.27	17.25	0.95
Fajardo	7	7.37	0.82	1.62	1.23	0.85	0.11	39.42	48.07
Juncos	8	10.26	1.73	6.10	0.77	1.88	0.25	22.58	3.63
Rio Grande	9	6.94	1.16	3.32	0.61	0.36	0.01	6.82	1.14
San Lorenzo	10	8.88	6.81	3.10	0.39	1.40	0.20	10.18	1.43

Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.3.3. Concentración de Na, Mg, K y Ca en agua potable área Metropolitana

Área Metropolitana	Muestra	Concentración de metales en ppm							
		Sodio		Magnesio		Potasio		Calcio	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Carolina	11	5.88	0.64	4.88	0.52	1.50	0.17	19.62	2.09
Carolina	12	5.46	7.51	6.02	1.28	1.56	0.22	21.84	3.33
Cataño	13	6.85	1.06	3.99	0.52	1.60	0.23	20.30	2.54
Guaynabo	14	9.96	2.13	6.11	1.07	1.83	0.26	22.35	4.63
San Juan	15	1.07	2.30	4.92	0.82	1.83	0.24	20.45	2.69

Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.3.4. Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua potable área Norte

Área Norte	Muestra	Concentración de metales en ppm							
		Sodio		Magnesio		Potasio		Calcio	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Camuy	16	5.34	1.01	3.19	0.65	1.41	0.31	43.39	3.63
Toa Baja	17	6.42	0.93	3.82	0.49	1.57	0.19	21.75	1.08
Vega Baja	18	32.94	3.96	7.27	0.87	2.54	0.31	83.3	9.56

Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.3.5 Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua potable área Oeste

Área Oeste	Muestra	Concentración de metales en ppm							
		Sodio		Magnesio		Potasio		Calcio	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Aguadilla	19	4.88	0.24	3.17	0.24	1.67	0.18	43.39	4.98
Aguada	20	0.60	1.37	3.57	0.75	1.80	0.29	42.11	6.62
Cabo Rojo	21	23.29	2.80	34.93	4.04	0.80	0.11	61.59	7.25
Hormigueros	22	11.26	2.65	14.33	3.86	1.19	0.05	28.26	6.02
Lajas	23	6.84	1.09	11.39	9.00	1.92	0.14	24.66	5.00
Mayagüez	24	5.45	0.70	13.88	1.89	1.00	0.13	25.03	4.27
Moca	25	6.47	0.81	5.34	0.65	5.29	0.20	21.91	3.08
San Germán	26	5.35	0.99	4.46	0.66	1.49	0.22	17.97	3.30
San Sebastián	27	9.28	2.89	5.61	1.47	2.49	0.62	24.56	17.38

Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.3.6. Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua potable área Sur

Área Sur	Muestra	Concentración de metales en ppm							
		Sodio		Magnesio		Potasio		Calcio	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Coamo	28	32.32	3.42	19.27	2.00	1.15	0.13	56.81	13.04
Guayama	29	12.92	2.08	4.05	25.00	0.76	0.14	10.83	1.93
Ponce	30	9.80	1.77	3.63	0.67	0.91	0.20	24.56	4.69
Salinas	31	30.54	22.42	20.83	2.87	0.86	0.10	78.63	9.82
Yauco	32	12.56	1.41	14.66	1.68	1.05	0.14	40.70	6.00

Dev St: Desviación estándar

Al realizar una comparación de las concentraciones halladas en todas las muestras analizadas se observa que las mayores concentraciones de cobre se encuentran en los municipios 6, 21 y 24 (Canóvanas, Cabo Rojo y Mayagüez). Los municipios Aibonito, Naranjito y Ponce presentaron las concentraciones más altas de aluminio con 118.72, 106.71 y 92.79 ppb respectivamente. Los municipios con mayor concentración de hierro son los de Cayey, Cidra y Villalba todos pertenecientes al área central de la isla con 27.37, 89.58 y 20.67 ppb respectivamente. De las 32 muestras analizadas sólo se pudo cuantificar la presencia de arsénico en ocho municipios y las mayores concentraciones son las de Cabo Rojo, Hormigueros y San Sebastián con 2.35, 1.64 y 0.95 ppb respectivamente. Cadmio solo se pudo cuantificar en Carolina (0.12), San Germán (0.30) y Coamo (0.09); mientras que en Hormigueros, Mayagüez y San Germán se presentaron las mayores concentraciones de plomo con 1.52, 1.78 y 1.45 ppb respectivamente.

Las mayores concentraciones de calcio se encontraron en los municipios de Vega Baja y Salinas (83.2 y 78.6 ppm); los mayores niveles de sodio se encontraron en Vega Baja, Salinas y Coamo 32.9, 30.5 y 32.3 ppm respectivamente; las mayores concentraciones de magnesio están presentes en los municipios de Cabo Rojo, Coamo y Salinas con 34.4, 19.2 y 20.8 ppm respectivamente y las mayores concentraciones de potasio se encuentran en los municipios de Vega baja, San Sebastián y Moca con 2.5, 5.2 y 2.4 ppm respectivamente. El agua potable del municipio de Vega Baja tiene las mayores concentraciones de calcio y sodio hecho que puede ser atribuido a que éste se encuentra en la zona del carso de Puerto Rico, región que se caracteriza por tener gran cantidad de rocas solubles que aportan estos minerales al agua de la región.

5.3.4. Concentraciones de Al, Cu, Fe, As, Cd y Pb en agua potable por región.

Tabla 5.3.4.1. Concentraciones de Al, Cu y Fe en agua potable por región.

Área	Concentración en ppb					
	Aluminio		Cobre		Hierro	
	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Centro	49.82	55.98	49.47	92.90	80.95	64.97
Este	22.07	31.14	94.50	158.29	3.88	4.78
Metropolitana	16.54	12.11	32.07	33.05	132.03	546.07
Norte	27.05	37.19	9.82	6.91	3.01	3.08
Oeste	16.44	21.59	82.39	121.30	4.24	5.96
Sur	25.98	38.31	31.76	21.21	2.31	2.06

Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.4.2. Concentraciones de As, Cd y Pb en agua potable por región.

Área	Arsénico		Cadmio		Plomo	
	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Centro	NQ	NA	ND	NA	0.28	0.47
Este	NQ	NA	ND	NA	0.29	0.66
Metropolitana	NQ	NA	NQ	NA	0.25	0.37
Norte	NQ	NA	0.04	0.13	0.29	0.45
Oeste	0.75	1.04	0.03	0.12	0.87	1.25
Sur	NQ	NA	NQ	NA	0.39	0.53

NA: No aplica; ND: No Detectado; NQ: No Cuantificable; Dev St: Desviación estándar

Tabla 5.3.4.3. Concentraciones de Ca, Na, Mg y K en agua potable por región.

Área	Concentraciones en ppm							
	Sodio		Magnesio		Potasio		Calcio	
	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Centro	9.94	7.88	6.95	5.41	0.99	0.69	18.07	14.15
Este	8.46	3.01	3.64	1.66	1.12	0.55	19.25	21.77
Metropolitana	8.24	3.77	5.14	1.08	1.69	0.25	20.84	2.86
Norte	14.9	13.7	4.76	1.99	1.84	0.58	49.48	27.52
Oeste	9.47	5.8	10.97	10.15	1.93	0.54	33.17	14.91
Sur	18.97	13.26	12.15	11.51	0.94	0.19	41.02	25.59

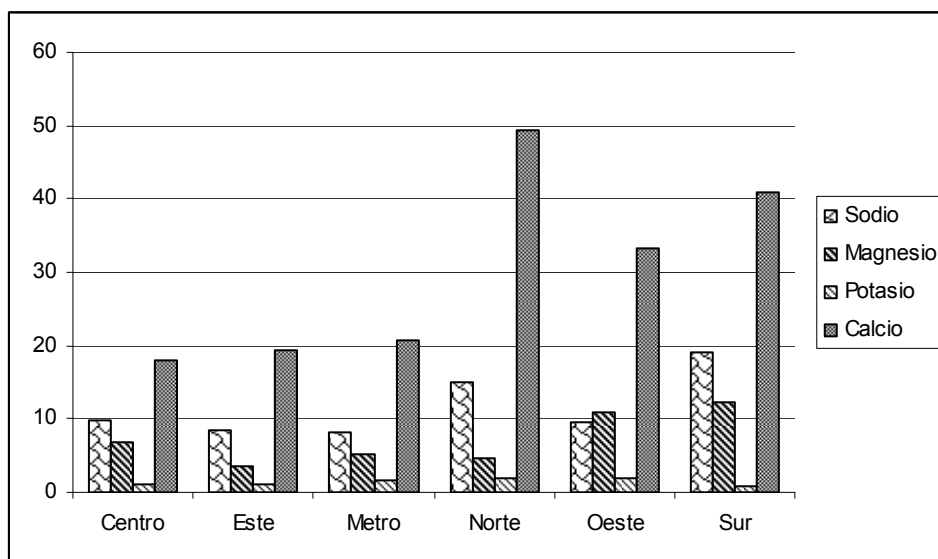


Figura 5.3.4.1. Concentraciones de Na, Mg, K y Ca en agua potable por región.

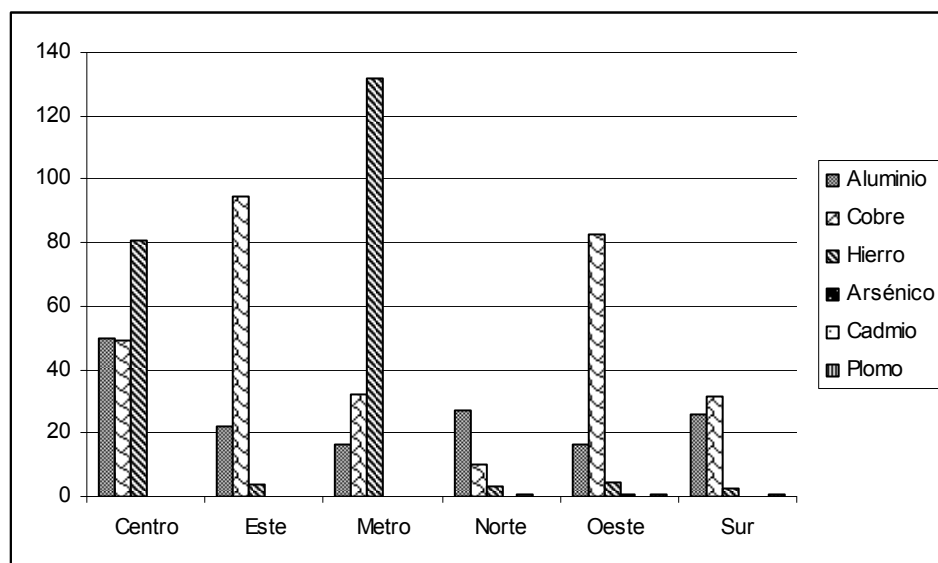


Figura 5.3.4.2. Concentraciones de Al, Cu, Fe, As, Cd y Pb agua potable por región.

Al realizar el promedio por región se puede observar que las mayores concentraciones se encuentran de la siguiente forma:

- Aluminio: Se encuentra en el área Centro y Sur (49.8 y 25.9 ppb)
- Hierro: Se encuentra en el área Metropolitana (132.03 ppb) y area Centro (80.95 ppb)
- Cobre: Se encuentra en mayor cantidad en el área Este y Oeste (94.5 y 82.3 ppb)
- Plomo se encuentra en el área Oeste con 0.89 ppb
- Cadmio solo pudo ser cuantificado en el área Norte y Oeste (0.03 y 0.04 ppb)
- Arsenico solo se cuantifico en el área Oeste a una concentracion de 0.75 ppb.
- Calcio: Se encontro en mayor concentracion en el área Norte y Sur con 49.4 y 41.0 ppm.
- Sodio: Las mayores concentraciones son 14.8 y 18.9 ppm en el área Norte y Sur respectivamente.
- Magnesio: Se encontró la mayor concentración en el área Oeste y Sur con 10.9 y 12. 1 ppm respectivamente.
- Potasio: Con 1.8 y 1.9 ppm el área metropolitana y norte tienen las mayores concentraciones respectivamente.

5.3.5. Resultados agua embotellada

Tabla 5.3.5.1 Concentraciones Al, Cu y Fe en agua embotellada

Origen	Muestra	Concentración en ppb					
		Aluminio		Cobre		Hierro	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Canadá	1	0.42	0.16	0.13	0.23	5.65	5.48
España	2	0.48	0.67	2.63	2.68	0.49	0.49
España	3	16.64	0.80	ND	NA	1.57	1.52
USA	4	2.14	2.07	2.03	3.52	1.43	2.15
USA	5	4.76	6.97	0.75	0.80	5.46	5.13
USA	6	1.87	0.20	15.29	24.15	0.93	1.31
Francia	7	0.35	0.49	ND	NA	3.65	5.16
Italia	8	0.81	0.88	ND	NA	0.42	0.40
Puerto Rico	9	6.77	11.59	3.08	5.33	5.67	8.99
Puerto Rico	10	4.42	7.65	7.32	6.36	4.00	4.08
Puerto Rico	11	0.40	0.69	2.82	4.88	0.90	0.81
Puerto Rico	12	5.89	5.51	ND	NA	5.94	1.81
Puerto Rico	13	20.98	5.70	8.68	5.30	18.57	18.57
Puerto Rico	14	66.35	30.14	4.80	0.14	40.51	35.09
Puerto Rico	15	18.39	21.86	6.13	5.58	5.72	4.68
Puerto Rico	16	0.44	0.76	1.62	2.80	7.40	5.99
Puerto Rico	17	1.32	1.37	0.31	0.53	0.62	0.87
Puerto Rico	18	0.79	0.62	2.53	2.07	3.47	5.22
Puerto Rico	19	6.51	7.76	0.68	0.59	4.08	5.05
Puerto Rico	20	ND	NA	0.33	0.58	1.80	1.99

ND: No Detectado; NQ: No Cuantificable; NA: No aplica; Dev St: Desviación Estándar

Tabla 5.3.5.2. Concentraciones As, Cd y Pb en agua embotellada

Origen	Muestra	Concentración en ppb					
		Arsénico		Cadmio		Plomo	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Canadá	1	0.79	0.42	NQ	NA	0.96	1.35
España	2	NQ	NA	NQ	NA	0.51	0.74
España	3	3.08	1.38	0.13	0.07	NQ	NA
USA	4	ND	NA	0.05	0.03	0.73	0.65
USA	5	NQ	NA	0.03	0.01	0.34	0.50
USA	6	NQ	NA	0.39	0.65	2.38	4.12
Francia	7	4.01	0.61	0.11	0.11	0.91	0.90
Italia	8	NQ	NA	NQ	NA	3.01	4.99
Puerto Rico	9	ND	NA	0.03	0.04	1.10	1.29
Puerto Rico	10	ND	NA	0.03	0.03	0.61	0.54
Puerto Rico	11	NQ	NA	NQ	NA	0.38	0.66
Puerto Rico	12	ND	NA	NQ	NA	NQ	NA
Puerto Rico	13	7.79	2.06	NQ	NA	0.61	0.89
Puerto Rico	14	NQ	NA	0.03	0.03	0.82	0.38
Puerto Rico	15	ND	NA	NQ	NA	0.65	1.13
Puerto Rico	16	NQ	NA	NQ	NA	0.82	0.66
Puerto Rico	17	0.49	0.50	0.07	0.09	0.51	0.88
Puerto Rico	18	NQ	NA	0.14	0.22	1.26	1.30
Puerto Rico	19	NQ	NA	NQ	NA	0.34	0.50
Puerto Rico	20	NQ	NA	NQ	NA	0.06	0.10

NA: No aplica; ND: No Detectado; NQ: No Cuantificable; Dev St: Desviación Estándar.

Tabla 5.3.5.3. Concentraciones Na, Mg, K y Ca en agua embotellada

Origen	Concentraciones en ppm							
	Sodio		Magnesio		Potasio		Calcio	
	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Canadá	7.55*	3.06	24.41*	4.23	1.97*	0.55	42.04	5.95
España	71.62*	9.26	9.53*	12.68	1.58*	0.59	65.32	15.24
España	10.93	6.24	8.41	2.23	1.90	1.47	56.53*	8.96
USA	6.21	1.41	0.006*	0.01	0.02*	0.02	0.05*	0.04
USA	6.52	1.51	3.72	0.46	0.42	0.10	56.57	9.39
USA	4.62	3.61	4.49	0.60	0.39	0.27	49.62	7.13
Francia	11.13*	2.22	7.94	1.87	4.48*	0.48	10.30	1.27
Italia	6.99	1.35	6.74	1.72	0.82	0.11	30.02	4.33
Puerto Rico	2.96*	2.08	0.07	0.07	0.25*	0.20	0.58	0.36
Puerto Rico	8.08	6.35	5.04	4.08	4.86	3.93	3.93	1.15
Puerto Rico	25.92	3.21	14.57	2.47	1.28	0.32	51.60	7.62
Puerto Rico	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.05*	0.03
Puerto Rico	77.33	11.31	0.40	0.04	0.86	0.34	2.09	0.14
Puerto Rico	83.09*	1.08	8.13	7.60	90.88*	42.16	82.76	20.44
Puerto Rico	2.26*	2.28	0.01	0.01	0.10	0.17	0.04	0.04
Puerto Rico	8.16	1.99	7.80	4.51	0.72	0.57	29.23	19.31
Puerto Rico	23.81	9.76	20.77	5.10	1.16*	1.38	67.10	8.94
Puerto Rico	30.91	19.95	0.83	0.22	0.50*	0.37	7.20*	4.78
Puerto Rico	26.47	10.18	20.32	5.51	0.38	0.28	67.71	10.42
Puerto Rico	3.20	2.80	0.024*	0.02	0.10*	0.17	0.04	0.05

ND: No Detectado; NQ: No Cuantificable; Dev St: Desviación Estándar; *: Duplicado

De todas las muestras analizadas se nota una diferencia significativa en la número 14 que es originaria de Naranjito, ésta contiene las mayores concentraciones de aluminio, hierro (66.35 y 40.51 ppb), sodio, calcio y potasio con concentraciones de 83.09, 90.8 y 82.75 ppm.

Tabla 5.3.5.4. Al, Cu, Fe, As, Cd, Pb en agua embotellada por país de origen

Origen	Concentración en ppb					
	Aluminio		Cobre		Hierro	
	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Canadá	0.42	0.16	0.13	0.23	5.65	5.48
España	8.56	9.35	1.31	2.22	1.14	1.27
USA	3.06	4.14	6.02	14.06	2.81	3.73
Francia	0.35	0.49	ND	NA	3.65	5.16
Italia	0.81	0.88	ND	NA	0.42	0.40
Puerto Rico	9.44	17.95	3.03	4.04	8.44	14.38

Origen	Arsénico		Cadmio		Plomo	
	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Canadá	0.79	0.42	NQ	NA	0.96	1.35
España	1.71	1.75	0.07	0.08	0.31	0.53
USA	NQ	NA	0.16	0.37	1.15	2.30
Francia	4.01	0.61	0.11	0.11	0.91	0.90
Italia	ND	NA	NQ	NA	3.01	4.99
Puerto Rico	0.83	2.21	0.03	0.07	0.61	0.75

ND: No Detectado; NQ: No Cuantificable; NA: No aplica; Dev St: Desviación Estándar

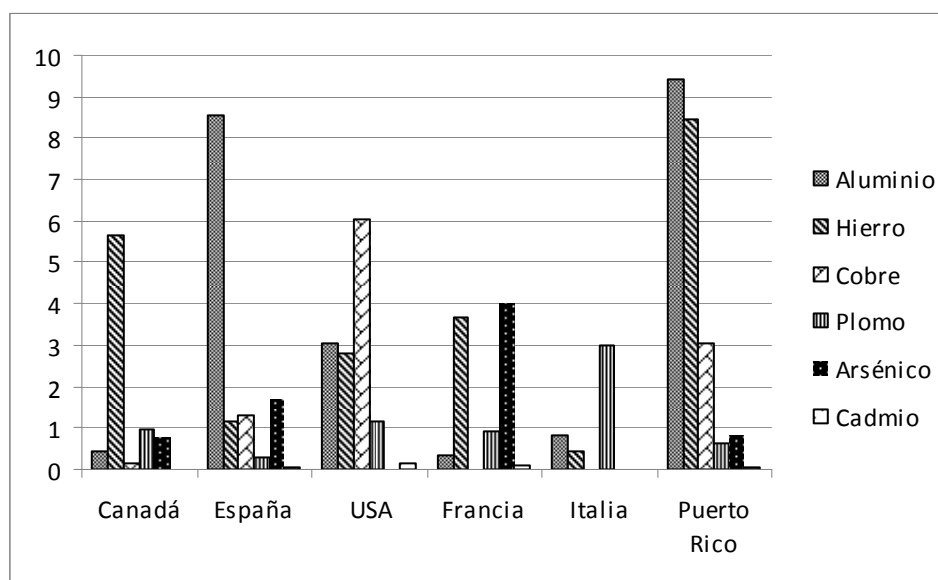


Figura 5.3.5.1. Concentraciones de Al, Cu, Fe, As, Cd y Pb agua embotellada por país.

Al agrupar las muestras de agua embotellada de acuerdo a su país de origen se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Aluminio:** El agua embotellada de España y Puerto Rico presentan las mayores concentraciones de aluminio con 3.06 y 9.44 ppb respectivamente.
- **Hierro:** Los mayores niveles de hierro se encuentran en el agua embotellada de Puerto Rico y Canadá con 8.44 y 5.65 ppb respectivamente.
- **Cobre:** El agua de Estados Unidos y Puerto Rico presentan las mayores concentraciones con 6.02 y 3.03 ppb.
- **Plomo:** Con 1.15 ppb el agua de Estados Unidos tiene la mayor concentración.
- **Cadmio:** El agua proveniente de Italia y Canadá no tiene cadmio a niveles cuantificables y la de mayor concentración es la de Estados Unidos con 0.16 ppb.
- **Arsénico:** El agua de Francia presentó el mayor valor de concentración de arsénico con 4.01 ppb.

Tabla 5.3.5.5. Na, Mg, K y Ca en agua embotellada por país de origen

Origen	Muestra	Concentraciones en ppm							
		Sodio		Magnesio		Potasio		Calcio	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Canadá	1	7.56	3.05	24.41	4.23	1.98	0.55	42.04	5.95
España	2	35.21	33.85	8.86	6.56	1.77	1.22	60.05	11.01
USA	3	5.93	1.94	3.08	1.97	0.30	0.21	39.83	25.55
Francia	4	11.13	2.24	7.94	1.87	4.48	0.48	10.30	1.27
Italia	5	6.99	1.36	6.74	1.72	0.82	0.11	30.02	4.33
Puerto Rico	6	23.89	27.04	6.68	8.37	6.78	23.80	27.88	33.04

Dev St: Desviación estándar

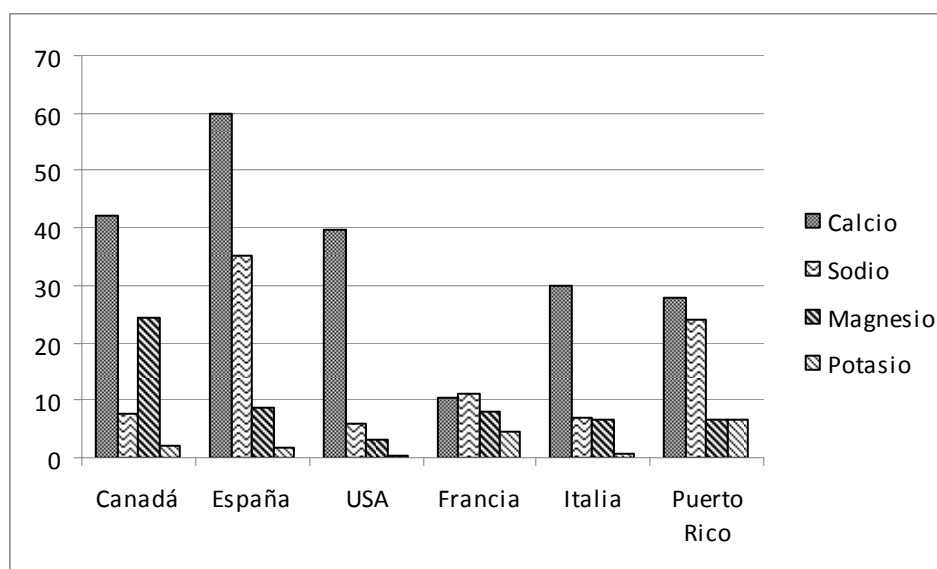


Figura 5.3.5.2. Concentraciones de Ca, Na, Mg y K en agua embotellada por país.

- Calcio: El agua embotellada de Canadá y España presentan mayor concentración de calcio (42.0 y 60.0 ppm). El agua de España que se analizó es de tipo mineral por lo que se esperaba encontrar alta concentración de minerales.
- Sodio: Las concentraciones mayores se encuentran en España y Puerto Rico con 35.2 y 23.9 ppm respectivamente.
- Magnesio: Se encontró la mayor concentración en el agua embotellada de Canadá con una concentración de 24.4 ppm.
- Potasio: Con 6.7 y 4.4 ppm el agua de Puerto Rico y Francia presentan las concentraciones más altas respectivamente.

5.3.6. Resultados agua filtrada vs no filtrada

Tabla 5.3.6.1. Concentraciones Al, Cu y Fe en agua filtrada vs no filtrada

Origen	Tratamiento	Muestra	Concentración en ppb					
			Aluminio		Cobre		Hierro	
			Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Guanica	No filtro	1	0.92	1.60	75.50	15.58	2.06	3.21
	Filtro C	2	ND	NA	478.27	104.59	ND	NA
Hormigueros	No filtro	3	2.48	4.05	112.48	15.77	0.85	1.46
	Filtro C	4	1.71	2.83	24.52	34.71	ND	NA
Aibonito	No filtro	5	91.96	29.69	ND	NA	NQ	NA
	Filtro C	6	66.36	27.95	3.22	5.58	1.79	3.11
Mayagüez	No filtro	7	38.10	11.26	54.45	20.02	16.73	8.84
	Filtro C	8	10.17	9.47	2.75	NA	2.75	NA
Mayagüez	No filtro	9	38.10	11.26	54.45	20.02	16.73	8.84
	Filtro CA	10	29.43	30.14	10.88	18.85	13.23	10.85

NA: No aplica; Dev St: Desviación Estándar; C: Cartucho; CA: Carbón Activado

Tabla 5.3.6.2. Concentraciones As, Cd y Pb en agua filtrada vs no filtrada

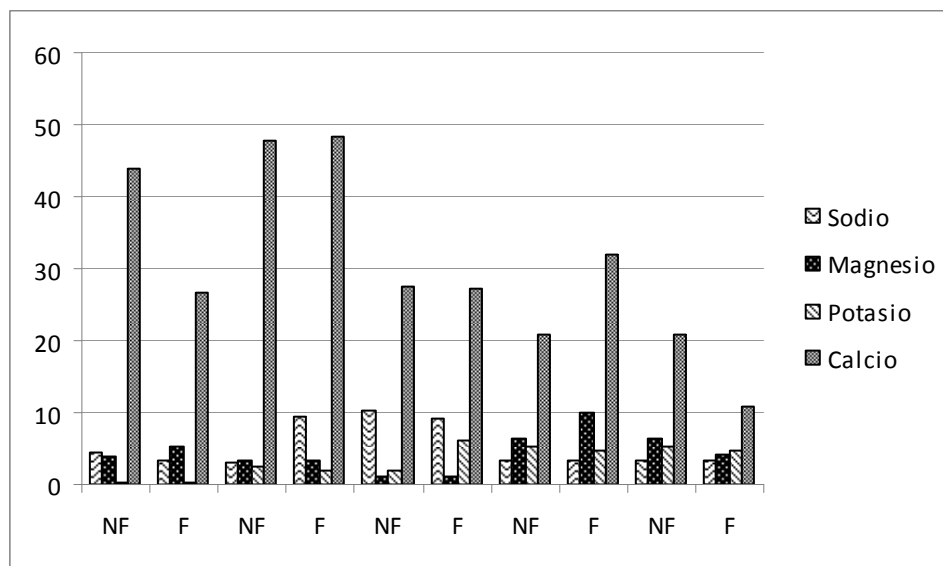
Origen	Tratamiento	Muestra	Concentración en ppb					
			Arsénico		Cadmio		Plomo	
			Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Guanica	No filtro	1	NQ	NA	ND	NA	1.05	1.11
	Filtro C	2	NQ	NA	ND	NA	1.23	0.59
Hormigueros	No filtro	3	2.61	0.21	ND	NA	2.19	0.86
	Filtro C	4	2.59	0.31	ND	NA	1.71	2.55
Aibonito	No filtro	5	NQ	NA	ND	NA	ND	NA
	Filtro C	6	ND	NA	ND	NA	0.51	0.71
Mayagüez	No filtro	7	ND	NA	ND	NA	0.89	0.80
	Filtro C	8	ND	NA	ND	NA	0.93	0.83
Mayagüez	No filtro	9	ND	NA	ND	NA	0.89	0.80
	Filtro CA	10	ND	NA	ND	NA	1.11	1.60

NA: No aplica; Dev St: Desviación Estándar; C: Cartucho; CA: Carbón Activado

Tabla 5.3.6.3. Concentraciones Na, Mg, K y Ca en agua filtrada vs no filtrada

Origen	Tto	Concentración en ppb							
		Sodio		Magnesio		Potasio		Calcio	
		Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St	Media	Dev St
Guanica	NF	4.34	0.15	3.86	2.01	0.37	0.01	43.84	31.50
	F	3.29	0.09	5.21	0.08	0.23	0.10	26.59	0.27
Hormigueros	NF	3.03	0.12	3.24	0.15	2.52	0.14	47.71	1.68
	F	9.33	2.37	3.22	0.13	2.01	0.58	48.25	1.20
Aibonito	NF	10.39	2.66	1.07	0.28	1.87	0.33	27.37	6.48
	F	9.28	1.50	1.06	0.26	6.09	0.39	27.32	6.15
Mayagüez	NF	3.22	0.10	6.35	0.41	5.30	0.22	20.75	0.93
	F	3.29	0.21	10.01	4.43	4.79	0.27	31.94	15.02
Mayagüez	NF	3.22	0.10	6.35	0.41	5.30	0.22	20.75	0.93
	F	3.46	0.49	4.27	1.32	4.86	0.13	10.70	5.23

Dev St: Desviación Estándar; F: Filtrada; NF: No filtrada



F: Filtrada; NF: No filtrada

Figura 5.3.6.1. Concentraciones Na, Mg, K y Ca en agua filtrada vs no filtrada

De las diez muestras analizadas para establecer si existía un efecto de remoción de metales mediante el uso de filtros domésticos no se encontró un patrón que permita

establecer que estos sistemas disminuyen efectivamente la concentración de los metales analizados. Se puede observar un aumento en las concentraciones de algunos metales después del uso del filtro, hecho que puede atribuirse a la acumulación de partículas en los cartuchos o a la variación natural que tienen estas concentraciones en el agua.

5.4. Análisis estadístico

A partir de los promedios, desviaciones estándares y las varianzas de las concentraciones de aluminio, cobre, hierro, arsénico, cadmio, sodio, magnesio, potasio y calcio en agua potable, agua embotellada y agua filtrada vs no filtrada se realizó un análisis estadístico (Apéndice B) obteniendo los siguientes resultados.

5.4.1. Agua Potable

Para agua potable los resultados del análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés) al utilizar municipio de origen como factor de variación muestran diferencias significativas ($P < 0.05$) en las concentraciones de todos los metales analizados excepto Hierro y Plomo. Al utilizar la región como fuente de origen y de variación se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de arsénico, sodio, magnesio, potasio y calcio. Estos resultados se ven apoyados por el hecho de que en Puerto Rico existen muchas plantas potabilizadoras de agua (116 según la empresa de acueductos), cada una de estas plantas toma el agua de abastos diferentes y el agua de cada uno de estos abastos varía naturalmente.

5.4.2. Agua Embotellada

Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias significativas en las concentraciones de aluminio, hierro, arsénico, sodio, magnesio, potasio y calcio.

Los resultados del “Tukey’s test” o HSD por sus siglas en inglés (*Honestly Significant Difference*) muestran diferencias significativas en las concentraciones para las siguientes muestras.

- Aluminio y Hierro: La muestra 14 (Puerto Rico) tiene las concentraciones más altas significativamente.
- Sodio: La muestra 14 (Puerto Rico) tiene diferencias significativas con todas las muestras excepto con la número 2 y 13 (España y Puerto Rico), la muestra 12 (Puerto Rico) tiene diferencias significativas con todas las muestras excepto con la 2 y 14 (España y Puerto Rico), la muestra 2 (España) tiene diferencias significativas con todas las muestras excepto con la muestra 13 y 14 (Puerto Rico).
- Magnesio: La muestra 1 (Canadá) tiene diferencias significativas con todas las demás muestras excepto con la muestras 11, 17 y 19 (Puerto Rico); la muestra 17 (Puerto Rico) tiene diferencias significativas con todas las demás muestras excepto con las muestras 1, 2 (Canadá y España), 11 y 19 (Puerto Rico) y la muestra 19 (Puerto Rico) tiene diferencias significativas con las demás muestras excepto 1, 2, 11 y 19.
- Potasio: La muestra 14 (Puerto Rico) muestra diferencias significativas con todas las demás muestras analizadas.

- Calcio: La muestra 14 (Puerto Rico) mostró diferencias significativas respecto a todas las muestras excepto 2, 3, 5, 17 y 19; la muestra 19 mostró diferencias significativas respecto a las muestras 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 18 y 20; y la muestra 17 mostró diferencias significativas respecto a las muestras 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 18 y 20.

Al realizar un análisis de varianza utilizando el sitio de origen como factor de variación se encontraron diferencias significativas en la concentración de magnesio respecto a las demás muestras y al realizar el “Tukey’s test” se encontró diferencias significativas al comparar la muestra número 3 (España) con la muestra número 1 (Canadá) y al comparar la muestra 1 con la muestra 3 y 6 (España y Estados Unidos).

Las principales diferencias en relación a concentración de los metales analizados fueron obtenidas de las muestras número 2, 3, 5, 14, 17 y 19. La muestra 14 (Puerto Rico) presentó mayor diferencia que las demás muestras, este tipo de agua ha sido poco estudiado, es conocida en Puerto Rico como “agua salina” y se obtiene de un pozo subterráneo que le da alto contenido de minerales. Las muestras 3 y 5 (España y Estados Unidos) son de tipo mineral las cuales según la FDA son aquellas que tienen un cantidad de sólidos disueltos mayor a 250ppm. La muestra 2 (España) es agua de manantial y la muestra 17 y 19 (Puerto Rico) no muestran en su etiqueta ningún dato que permita establecer el por que su alto contenido mineral.

5.4.3. Agua filtrada vs agua no filtrada

Se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de aluminio, calcio y magnesio al usar origen como fuente de variación; cobre, arsénico y potasio al

usar origen, tipo y origen x tipo como factor de variación y sodio al usar origen y tipo x origen como factor de variación.

5.5. Regulaciones y límites establecidos

Los límites permisibles de metales son establecidos por la EPA (Environmental Agency Protection) y la FDA (Food and Drug Administration) para agua potable y agua embotellada respectivamente. Estos valores son iguales para ambas agencias excepto Plomo el cual la FDA establece como 0.005 ppb.

Tabla 5.5.1. Límites máximos de la EPA

Metal	Concentración en ppm
Arsénico	0.01
Cadmio	0.005
Cobre	1.3
Plomo	0.015
Aluminio	0.2
Hierro	0.3

De todas las muestras analizadas de agua potable y embotellada ninguna sobrepasó los límites legales establecidos por las agencias reguladoras. Las concentraciones de sodio, magnesio, potasio y calcio no están reguladas y pueden variar de acuerdo al tipo de agua.

6. Conclusiones

- Todas las muestras de agua analizadas cumplen con los parámetros establecidos y legislaciones vigentes por la FDA y la EPA para las concentraciones de los metales plomo, cadmio, arsénico, hierro, aluminio y cobre. No es posible establecer con estos datos si el agua potable es mejor que el agua embotellada ya que todas presentan concentraciones de estos metales por debajo de los límites establecidos.
- Las concentraciones de sodio, potasio, calcio y magnesio en agua potable y agua embotellada pueden aportar un porcentaje mínimo de la ingesta diaria recomendada de estos macro-minerales, pero no puede considerarse como única fuente de estos. No es posible en base a estas concentraciones establecer si el agua potable tiene mejor calidad que la embotellada o viceversa debido a que las concentraciones de los macro-minerales analizados no están reguladas y pueden variar de acuerdo al tipo de agua, origen y tratamiento. El consumo de alguno de estos tipos de agua depende del gusto del consumidor.
- Las concentraciones de metales en agua potable muestran variación de acuerdo al origen, tanto por municipios como por área de origen (Oeste, Este, Norte, Sur, Centro y Metropolitana).
- Las muestras de agua embotellada presentan una variación mayor que las muestras de agua potable debido a que de las muestras analizadas hay seis de

manantial y dos minerales las cuales contienen de forma natural mayor concentración de macro y microminerales que el agua potable; la cual en su mayoría es tomada de fuentes de agua superficiales.

- Las muestras de agua mineral poseen mayor concentración de sodio, calcio, magnesio y potasio debido a que estas provienen de fuentes subterráneas que contienen generalmente mayor mineralización que las provenientes de aguas superficiales.
- Las concentraciones obtenidas de las muestras de agua filtradas no tienen un comportamiento constante que permita concluir que los sistemas de filtración domésticos ejercen un efecto beneficioso en la remoción de metales. Es posible que la acumulación de partículas en los filtros utilizados durante mucho tiempo pueda afectar la concentración del agua “filtrada” y aumentar la presencia de estos metales.

Referencias

- Agencia de Protección Ambiental U.S. (EPA). 1994. Method 200.8. Revisión 5.4. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry
- Agencia de Protección Ambiental U.S. (EPA). 2000. Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable. Registro Federal. EPA 815-K-00-007.
- Agencia De Protección Ambiental U.S. (EPA). 2000. Estableciendo estándares para agua potable segura. pág 1-7.
- Agencia De Protección Ambiental U.S. (EPA).2000. Estándares para agua potable. Código de Registro Federal. 63:160
- Agilent Technologies. Agilent 7500 Series ICP-MS Hardware Manual, Japan, 2007.
- Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. 2009. Programa educativo sobre agua potable.
- Azoulay, A., Garzon P, Eisenberg MJ. 2001. Comparison of the Mineral Content of Tap Water and Bottled Waters. Journal General Internal Medicine. Volumen 16: 168-175.
- Beauchemin, D., McLaren JW, Mykytiuk AP, Berman SS. 2002. Determination of Trace Metals in a River Water Reference Material by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Journal of Analytical Chemistry. 59: 778-783.
- Departamento de Salud de Puerto Rico. 2002. Reglamento General de Salud Ambiental. Sección 2:25-28.
- Departamento de Salud de Puerto Rico. 2002. Directorio de plantas embotelladoras de agua.
- Fennema, O. 2002. Química de los alimentos. Segunda edición. Editorial Acribia.
- Macintosh, D. L., Kabiru, C., Scanlon, K. A., Ryan, P. B. 2000. Longitudinal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology. 10:196-205.

- Molinna, P. 2001. Determinación de aniones en agua embotellada. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez P.R.
- Posnick, L. M., Kim, H. 2002. Bottled Water Regulation and the FDA. Food Safety Magazine, August/September 2002.
- Richardson, S. D., Ternes, T. A. 2005. Water Analysis: Emerging Contaminants and Current Issues. Journal Analytical Chemistry. 77, 3807-3838.
- Sánchez, R. 2007. MSc Thesis. Removal of Cadmium, Copper, and Lead Ions from Aqueous Solutions Using Waste Tire Crumb Rubber as Sorbent. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez P.R.
- Shotyk W., Krachler M. 2008. Trace and Ultratrace Metals in Bottled Waters: Survey of Sources Worldwide and Comparison with Refillable Metal Bottles. Science of the Total Environment. 407:1089–1096.
- Shotyk W, Krachler M. 2007. Lead in Bottled Waters: Contamination from Glass and Comparison with Pristine Groundwater. Environmental Science and Technology 41: 3508-3513.
- Shotyk W, Krachler M. 2007. Contamination of Bottled Waters with Antimony Leaching from Polyethylene Terephthalate (PET) Increases upon Storage. Environmental Science and Technology 41: 1560-1563.
- Schmidt R. 2003. Food Safety and Toxicity. New York. CRC Press. 10: 133-134.
- Skoog D. 2001. Principios de Análisis Instrumental. Quinta Edición. Mc Graw Hill. 20: 537-573.
- Whitney, E. 2005. Understanding Nutrition. Tenth Edition. United States. Thomson Wadsworth.
- Zumdahl. S. 2005. Chemical Principles. Fifth Edition. New York. Houghton Mifflin Company.

Apéndice A: Muestras control

Tabla A.1. Lote 1 de agua embotellada (Al, Cu, Fe, As, Cd, Pb)

	Al	Fe	Fe	Cu	As	Cd	Pb
Spike 1	3.969	0.879	0.718	0.289	0.000	0.009	0.497

Al + 100 ppb	% Rec	Cu + 50 ppb	% Rec	Fe + 250 ppb	% Rec
107.100	103.131	55.320	110.062	257.900	102.808
103.200	99.231	53.090	105.602	262.400	104.608
103.150	99.181	53.500	106.422	257.850	102.788
Al + 200 ppb	% Rec	Cu + 100 ppb	% Rec	Fe + 500 ppb	% Rec
191.700	93.866	98.910	98.621	483.500	96.524
197.600	96.816	99.780	99.491	476.500	95.124
194.900	95.466	100.800	100.511	478.600	95.544

% Rec: Porcentaje de recuperación

As + 100 ppb	% Rec	Cd + 25 ppb	% Rec	Pb + 100 ppb	% Rec
102.400	102.400	25.920	103.644	101.310	100.813
101.900	101.900	25.590	102.324	99.410	98.913
101.650	101.650	25.800	103.164	99.630	99.133
As + 200 ppb	% Rec	Cd + 50 ppb	% Rec	Pb + 200 ppb	% Rec
189.400	94.700	49.280	98.542	198.667	99.085
193.500	96.750	50.610	101.202	203.533	101.518
193.700	96.850	51.680	103.342	202.730	101.117

% Rec: Porcentaje de recuperación

Tabla A.2. Lote 1 de agua embotellada Na, Mg, K, Ca

Spike 1							
Na			Mg		K		Ca
2631.000			0.000		99.210		0.000
Spike 2							
Na + 2500 ppb	% Rec	Mg + 1000 ppb	% Rec	K + 500 ppb	% Rec	Ca + 5000 ppb	% Rec
5005.0	94.96	1031.0	103.1	505.4	81.24	5023.5	100.47
5445.0	112.56	1021.0	102.1	608.0	101.76	4906.5	98.13
4880.0	89.96	1021.0	102.1	512.2	82.59	4993.0	99.86
Spike 3							
Na + 5000 ppb	% Rec	Mg + 2000 ppb	% Rec	K + 1000 ppb	% Rec	Ca + 10000 ppb	% Rec
6732.0	82.02	1919.0	95.95	1002.000	90.279	9645.5	96.45
7111.0	89.6	1979.0	98.95	1080.000	98.079	9985.0	99.85
6681.0	81.0	1987.0	99.35	1032.000	93.279	10026.0	100.26

% Rec: Porcentaje de recuperación

Tabla A.3. Lote 1 de agua potable Al, Cu y Fe

Spike 1					
Al			Cu		Fe
3.601			0.000		0.000
Spike 2					
Al + 100 ppb	% Rec	Cu + 50 ppb	% Rec	Fe + 250 ppb	% Rec
82.600	78.999	50.800	101.600	263.400	105.36
73.550	69.949	49.640	99.280	258.900	103.56
94.300	90.699	49.740	99.480	257.800	103.12
Spike 3					
Al + 200 ppb	% Rec	Cu + 100 ppb	% Rec	Fe + 500 ppb	% Rec
162.250	79.325	96.570	96.570	487.200	97.44
145.850	71.125	95.460	95.460	477.600	95.52
160.900	78.650	96.680	96.680	480.100	96.02

% Rec: Porcentaje de recuperación

Tabla A.4. Lote 1 de agua potable As, Cd y Pb

Spike 1					
As			Cd		Pb
0.000			0.000		0.895
Spike 2					
As + 100 ppb	% Rec	Cd + 25 ppb	% Rec	Pb + 100 ppb	% Rec
87.400	87.400	23.550	94.200	101.583	100.688
83.100	83.100	23.585	94.340	114.500	113.605
83.000	83.000	23.265	93.060	105.000	104.105
Spike 3					
As + 200 ppb	% Rec	Cd + 50 ppb	% Rec	Pb + 200 ppb	% Rec
137.400	68.700	48.940	97.880	157.017	78.061
131.150	65.575	48.735	97.470	157.817	78.461
173.100	86.550	48.530	97.060	161.083	80.094

% Rec: Porcentaje de recuperación

Tabla A.5. Lote 1 de agua potable Na, Mg, K, Ca

Spike 1							
Na		Mg		K		Ca	
4039.000		3119.000		678.600		13285.000	
Spike 2							
Na + 1500 ppb	% Rec	Mg + 600 ppb	% Rec	K + 300 ppb	% Rec	Ca + 3000 ppb	% Rec
5408.000	91.267	3838.000	119.833	941.800	87.733	15990.000	90.167
5362.000	88.200	3795.000	112.667	941.800	87.733	15880.000	86.500
Spike 3							
Na + 2500 ppb		Mg + 1000 ppb		K + 500 ppb		Ca + 5000 ppb	
6240.000	88.040	4047.000	92.800	1104.000	85.080	17270.00	79.700
6137.000	83.920	4002.000	88.300	1101.000	84.480	17100.00	76.300

% Rec: Porcentaje de recuperación

Apéndice B: Resultado análisis de varianza

Tabla B.1. Análisis de varianza tomando origen como factor de variación

Elemento	GL	Suma cuadrados	Media de cuadrados	Valor de F	Pr>F
Al	19	9359.5	492.6	6.41	<.0001
Cd	19	0.5	0.0	0.95	0.5282
Fe	19	4620.8	243.2	2.77	0.0044
Cu	19	819.8	43.1	1.09	0.4004
As	19	210.5	11.1	27.69	<.0001
Pb	19	30.0	1.6	0.59	0.8922
Na	19	30776798948.0	1619831524.0	29.24	<.0001
Mg	19	2846774885.0	149830257.0	10.43	<.0001
K	19	15553023176.0	818580167.0	13.96	<.0001
Ca	19	43919023390.0	2311527547.0	28.07	<.0001

Tabla B.2. Análisis de varianza tomando origen como factor de variación

Elemento	GL	Suma cuadrados	Media de cuadrados	Valor de F	Pr>F
Al	5	628.28384	125.65677	0.53	0.7511
Cd	5	0.14770497	0.02954099	1.21	0.3188
Fe	5	509.246247	101.849249	0.69	0.6303
Cu	5	168.622998	33.7246	0.81	0.5466
As	5	39.2728464	7.8545693	2.27	0.0608
Pb	5	18.5599948	3.711999	1.69	0.1529
Na	5	4292464435	858492887	1.45	0.2229
Mg	5	752453758	150490752	2.88	0.0231
K	5	372636966	74527393	0.2	0.9619
Ca	5	6698851828	1339770366	1.64	0.1679

Tabla B.3. Análisis de varianza tomando municipio como factor de variación

Elemento	GL	Suma cuadrados	Media de cuadrados	Valor de F	Pr>F
Al	31	100115.3696	3229.5281	14.31	<.0001
Cd	31	0.34631978	0.01117161	1.98	0.009
Fe	31	1737856106	56059.874	1.04	0.4393
Cu	31	736940	23772.284	6.72	<.0001
As	31	19.908	0.64220534	2.17	0.0041
Pb	31	19.70359179	0.63559974	0.93	0.5766
Na	31	6214100164	200458444	8.94	<.0001
Mg	31	4756229011	153426742	33.81	<.0001
K	31	74061785	2389089.8	1.86	0.0171
Ca	31	34501809533	1112961598	10.25	0.0001

Tabla B.4 Análisis de varianza tomando región como factor de variación

Elemento	GL	Suma cuadrados	Media de cuadrados	Valor de F	Pr>F
Al	5	12749.449	2549.8898	2.31	0.0502
Cd	5	0.02129471	0.00425894	0.56	0.7274
Fe	5	233401.567	46680.313	0.85	0.5204
Cu	5	80232.5819	16046.5164	1.67	0.1946
As	5	4.54236003	0.90847201	2.4	0.0427
Pb	5	6.59389104	1.31877821	2.08	0.0743
Na	5	1342575337	268515067	3.92	0.0029
Mg	5	1027716449	205543290	4.74	0.0007
K	5	17176055.1	3435211	2.24	0.0569
Ca	5	10701808510	2140361702	6.41	<0.0001

Apéndice C: Concentraciones de muestras individuales.

Tabla C.1. Agua embotellada.

Origen	M	n	Al	Fe	Cu	As	Cd	Pb	Na	Mg	K	Ca
Canadá	1	1	0.53		0.39	1.12	0.00	2.50	5.40		1.59	37.09
Canadá	1	2	0.31	1.78	0.00	0.32	0.02	0.00	9.72	27.40	2.37	48.65
Canadá	1	3		9.53	0.00	0.91	0.00	0.37		21.42		40.38
España	2	1	0.95	0.00	2.52	0.60	0.02	0.17	65.08		1.16	54.54
España	2	2	0.00	0.98	0.00	0.10	0.02	0.00	78.17	18.50	2.00	76.09
España	2	3			5.36	0.31	0.00	1.36		0.57		
España	3	1		0.00	0.00	4.54	0.22	0.00	9.39	6.42	2.39	48.95
España	3	2	17.20	1.67	0.00	1.79	0.09	0.00	17.80	10.82	3.06	66.41
España	3	3	16.07	3.03	0.00	2.91	0.09	0.33	5.61	7.99	0.25	54.24
USA	4	1	4.14	0.00	0.00	0.00	0.05	1.25	7.17	0.01	0.00	0.02
USA	4	2	0.00	0.38	0.00	0.00	0.02	0.00	4.60			
USA	4	3	2.29	3.90	6.10	0.00	0.08	0.94	6.86	0.00	0.04	0.08
USA	5	1	12.76	10.18	0.66	0.50	0.03	0.92	4.79	3.32	0.30	49.21
USA	5	2	0.00	0.00	0.00	0.14	0.04	0.00	7.18	4.23	0.47	67.14
USA	5	3	1.51	6.20	1.59	0.46	0.03	0.10	7.59	3.62	0.49	53.35
USA	6	1	1.73	0.00	2.73	0.19	0.00	0.00	2.07	3.84	0.19	42.96
USA	6	2	2.01	1.86	0.00	0.02	0.03	0.00	7.18	5.03	0.58	57.15
USA	6	3			43.13	0.73	1.14	7.13		4.61		48.75
Francia	7	1	0.70	0.00	0.00	4.11	0.11	0.92	8.54	5.87	4.39	8.96
Francia	7	2	0.00		0.00	3.36	0.22	0.00	12.32	9.50	5.01	11.49
Francia	7	3		7.30		4.57	0.00	1.80	12.53	8.45	4.06	10.46
Italia	8	1	0.70	0.00	0.00	0.07	0.01	8.77	5.44	5.01	0.69	26.34
Italia	8	2	1.75	0.46	0.00	0.00	0.02	0.00	7.93	8.45	0.87	34.79
Italia	8	3	0.00	0.80	0.00	0.13	0.00	0.26	7.61	6.77	0.89	28.94
Puerto Rico	9	1	0.15	0.97	0.00	0.00	0.08	2.52	1.50	0.05	0.11	0.33
Puerto Rico	9	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44	0.02	0.39	0.00
Puerto Rico	9	3	20.15	16.04	9.23	0.00	0.00	0.77		0.15		0.83
Puerto Rico	10	1	13.25	8.15	11.49	0.00	0.06	1.04	3.34	2.41	2.35	0.37
Puerto Rico	10	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	5.60	2.97	2.84	0.00
Puerto Rico	10	3	0.00	3.86	10.47	0.00	0.00	0.81	15.29	9.75	9.40	2.14

M: Muestra; n: repetición

Tabla C.1. Agua embotellada (Cont.)

Origen	M	n	Al	Fe	Cu	As	Cd	Pb	Na	Mg	K	Ca
Puerto Rico	11	1	1.20	1.71	8.45	0.31	0.04	1.15	22.28	11.84	1.10	45.84
Puerto Rico	11	2	0.00	0.10	0.00	0.00	0.01	0.00	27.13	16.65	1.65	60.24
Puerto Rico	11	3	0.00	0.89	0.00	0.19	0.00	0.00	28.34	15.22	1.10	48.73
Puerto Rico	12	1	10.93	7.52	0.00	0.00	0.00	0.53	0.00	0.02	0.00	0.04
Puerto Rico	12	2	0.00	6.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.07
Puerto Rico	12	3	6.74	3.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Puerto Rico	13	1	20.62	21.13	4.93	8.81	0.00	0.21	64.33	0.36	0.47	1.94
Puerto Rico	13	2	15.47	12.46		5.41	0.03	0.00	82.79	0.43	1.14	2.19
Puerto Rico	13	3	26.86	22.12	12.43	9.13	0.00	1.63	84.88	0.40	0.97	2.16
Puerto Rico	14	1	87.66	75.60	4.66	0.10	0.05	0.44	1.53	0.53	120.70	103.20
Puerto Rico	14	2	45.04	40.51	4.80	0.40	0.03	0.83	83.86	8.13	61.07	82.76
Puerto Rico	14	3		5.42	4.94	0.69	0.00	1.21	82.33	15.73		62.32
Puerto Rico	15	1	9.32	7.20	10.91	0.00	0.00	0.00	0.65	0.01	0.00	0.03
Puerto Rico	15	2	2.53	0.48	0.00	0.00	0.01	0.00	3.88	0.00	0.29	0.00
Puerto Rico	15	3	43.33	9.48	7.47	0.00	0.00	1.96		0.01	0.00	0.08
Puerto Rico	16	1	1.32	10.04	4.85	0.27	0.00	1.45	8.86	3.93	0.71	16.07
Puerto Rico	16	2	0.00	0.55	0.00	0.00	0.02	0.88	11.71	6.71	1.29	20.23
Puerto Rico	16	3	0.00	11.61	0.00	0.26	0.00	0.13	12.69	12.75	0.14	51.40
Puerto Rico	17	1	2.79	0.00	0.93	1.00	0.17	1.53	28.41	15.91	0.19	61.79
Puerto Rico	17	2	1.09	1.23	0.00	0.00	0.02	0.00	30.42	26.08	2.14	77.42
Puerto Rico	17	3	0.08		0.00	0.47	0.00	0.00	12.60	20.33		62.10
Puerto Rico	18	1	0.22	0.00	1.01	0.30	0.40	2.60	29.61	0.78	0.24	
Puerto Rico	18	2	0.71	0.94	1.69	0.00	0.02	0.00	51.48	1.07	0.76	10.59
Puerto Rico	18	3	1.44	9.48	4.89	0.00	0.00	1.20	11.65	0.63		3.82
Puerto Rico	19	1	3.35	1.34	1.06	0.77	0.00	0.11	32.75	14.51	0.18	58.40
Puerto Rico	19	2	0.83	0.99	0.00	0.00	0.02	0.00	31.93	25.47	0.57	78.96
Puerto Rico	19	3	15.36	9.91	0.99	0.40	0.00	0.91	14.73	20.98		65.78
Puerto Rico	20	1	0.00	0.00	1.00	1.22	0.00	0.17	4.36	0.04	0.00	0.10
Puerto Rico	20	2	0.00	1.45	0.00	0.00	0.01	0.00	5.23	0.00	0.30	0.00
Puerto Rico	20	3	0.00	3.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03

M: Muestra; n: repetición

Tabla C.2. Agua potable

Origen		M	Concentraciones en ppb						
Municipio	Área		n	Al	Cu	Fe	As	Cd	Pb
Aibonito	Centro	1	1	79.52	318.20	0.00	ND	ND	0.66
Aibonito	Centro	1	2	144.80	27.13	1.31	0.99	ND	ND
Aibonito	Centro	1	3	140.40	225.80	12.69	0.84	ND	ND
Cayey	Centro	2	1	ND	48.92	17.13	ND	ND	0.61
Cayey	Centro	2	2	17.01	24.22	43.63	NQ	ND	ND
Cayey	Centro	2	3	12.94	14.35	21.35	NQ	ND	ND
Cidra	Centro	3	1	ND	33.57	ND	ND	ND	0.32
Cidra	Centro	3	2	12.44	12.29	260.00	NQ	ND	ND
Cidra	Centro	3	3	7.81	8.49	8.74	NQ	ND	ND
Naranjito	Centro	4	1	102.40	3.27	14.96	ND	ND	0.47
Naranjito	Centro	4	2	96.13	1.66	NQ	0.49	ND	1.72
Naranjito	Centro	4	3	121.60	7.04	22.34	0.53	ND	ND
Villalba	Centro	5	1	0.85	11.66	46.06	ND	ND	0.41
Villalba	Centro	5	2	9.67	3.28	8.43	0.52	ND	ND
Villalba	Centro	5	3	10.23	2.58	7.52	NQ	ND	ND
Canovanas	Este	6	1	25.99	ND	0.00	ND	ND	NQ
Canovanas	Este	6	2	0.92	515.00	0.00	ND	ND	ND
Canovanas	Este	6	3	5.05	410.70	5.54	NQ	ND	ND
Fajardo	Este	7	1	72.18	ND	4.63	ND	ND	0.68
Fajardo	Este	7	2	50.82	3.43	1.46	NQ	ND	ND
Fajardo	Este	7	3	107.10	16.94	10.34	NQ	ND	ND
Juncos	Este	8	1	ND	13.17	ND	ND	ND	0.83
Juncos	Este	8	2	11.96	35.10	7.06	0.47	ND	ND
Juncos	Este	8	3	13.99	22.55	6.71	0.48	ND	ND
Rio Grande	Este	9	1	ND	7.73	ND	ND	ND	0.29
Rio Grande	Este	9	2	4.48	20.82	2.32	NQ	ND	ND
Rio Grande	Este	9	3	6.36	51.59	1.24	NQ	ND	ND
San Lorenzo	Este	10	1	ND	152.20	ND	ND	ND	2.48
San Lorenzo	Este	10	2	17.50	148.00	2.22	NQ	ND	ND
San Lorenzo	Este	10	3	14.67	20.25	16.64	NQ	ND	ND

M: Muestra; n: repetición

Tabla C.2. Agua potable (Cont.)

Origen		M	Concentraciones en ppb						
Municipio	Área		n	Al	Cu	Fe	As	Cd	Pb
Carolina	Metro	11	1	ND	89.99	0.00	ND	ND	0.94
Carolina	Metro	11	2	10.18	73.87	3.58	NQ	ND	ND
Carolina	Metro	11	3	11.63	102.60	19.88	NQ	ND	ND
Cataño	Metro	12	1	3.62	84.30	ND	ND	ND	0.78
Cataño	Metro	12	2	18.99	21.72	2.76	NQ	ND	ND
Cataño	Metro	12	3	27.04	38.17	4.13	NQ	ND	ND
Guaynabo	Metro	13	1	ND	8.59	ND	ND	ND	0.41
Guaynabo	Metro	13	2	11.62	25.40	0.22	NQ	ND	ND
Guaynabo	Metro	13	3	13.54	16.53	2.15	NQ	ND	ND
San Juan	Metro	14	1	1.25	ND	ND	ND	ND	0.54
San Juan	Metro	14	2	30.71	25.38	8.01	NQ	ND	ND
San Juan	Metro	14	3	34.06	27.62	3.66	NQ	ND	ND
San Juan	Metro	15	1	19.66	ND	0.00	ND	ND	0.52
San Juan	Metro	15	2	27.54	2.16	1.56	1.19	ND	ND
San Juan	Metro	15	3	25.45	2.78	4.45	NQ	ND	ND
Camuy	Norte	16	1	41.16	11.44	ND	ND	ND	1.02
Camuy	Norte	16	2	115.70	20.83	3.66	0.49	ND	ND
Camuy	Norte	16	3	44.92	16.71	2.63	0.48	ND	ND
Toa Baja	Norte	17	1	ND	ND	ND	ND	ND	0.74
Toa Baja	Norte	17	2	16.94	7.42	5.44	NQ	0.40	ND
Toa Baja	Norte	17	3	14.37	8.15	9.51	NQ	ND	ND
Vega Baja	Norte	18	1	ND	ND	ND	ND	ND	0.89
Vega Baja	Norte	18	2	3.45	12.42	2.61	0.55	ND	ND
Aguadilla	Oeste	19	1	2.96	36.80	9.24	ND	ND	1.26
Aguadilla	Oeste		2	22.84	34.68	1.53	0.89	ND	ND
Aguadilla	Oeste		3	43.48	52.88	8.06	0.81	ND	ND
Aguada	Oeste	20	1	ND	55.71	ND	ND	ND	1.78
Aguada	Oeste	20	2	20.41	30.29	ND	0.89	ND	ND
Aguada	Oeste	20	3	18.72	132.20	5.71	0.89	ND	1.26

M: Muestra; n: repetición

Tabla C.2. Agua potable (Cont.)

Origen		M	Concentraciones en ppb						
Municipio	Área		n	Al	Cu	Fe	As	Cd	Pb
Cabo Rojo	Oeste	21	1	ND	323.60	ND	ND	ND	3.01
Cabo Rojo	Oeste	21	2	0.35	370.80	ND	3.50	ND	0.58
Cabo Rojo	Oeste	21	3	5.09	420.20	3.61	3.55	ND	ND
Hormigueros	Oeste	22	1	ND	25.61	ND	ND	ND	4.20
Hormigueros	Oeste	22	2	2.42	9.83	2.87	2.47	ND	ND
Hormigueros	Oeste	22	3	9.82	123.80	5.53	2.44	ND	0.37
Lajas	Oeste	23	1	69.78	4.84	ND	NQ	ND	0.59
Lajas	Oeste	23	2	85.20	3.99	ND	ND	ND	ND
Lajas	Oeste	23	3	53.51	7.09	8.19	0.48	ND	ND
Mayagüez	Oeste	24	1	13.46	145.10	28.21	ND	ND	2.20
Mayagüez	Oeste	24	2	7.04	195.70	6.48	0.36	ND	ND
Mayagüez	Oeste	24	3	7.44	255.90	5.51	0.38	0.01	3.14
Moca	Oeste	25	1	10.69	ND	ND	ND	ND	0.29
Moca	Oeste	25	2	17.06	10.02	1.70	0.26	ND	ND
Moca	Oeste	25	3	15.15	8.51	4.97	0.32	ND	ND
San Germán	Oeste	26	1	0.00	ND	3.27	ND	0.40	3.61
San Germán	Oeste	26	2	6.14	10.34	2.05	NQ	ND	ND
San Germán	Oeste	26	3	24.08	23.99	15.04	NQ	0.49	0.74
San Sebastián	Oeste	27	1	ND	ND	ND	ND	ND	0.42
San Sebastián	Oeste	27	2	13.14	6.35	3.21	1.35	ND	ND
San Sebastián	Oeste	27	3	11.44	7.28	3.58	1.52	ND	ND
Coamo	Sur	28	1	0.00	14.20	ND	ND	ND	0.79
Coamo	Sur	28	2	1.18	30.36	3.91	0.72	0.28	ND
Coamo	Sur	28	3	2.94	40.21	6.17	0.70	ND	ND
Guayama	Sur	29	1	0.91	29.28	ND	ND	ND	1.21
Guayama	Sur	29	2	21.64	41.72	0.62	NQ	ND	NQ
Guayama	Sur	29	3	37.10	76.77	5.31	NQ	ND	0.97
Ponce	Sur	30	1	71.56	57.35	1.48	ND	ND	1.22
Ponce	Sur	30	2	103.20	56.71	3.84	NQ	ND	ND
Ponce	Sur	30	3	103.60	36.03	2.49	NQ	ND	ND
Salinas	Sur	31	1	ND	10.89	ND	ND	ND	1.13
Salinas	Sur	31	2	1.02	18.38	0.53	0.54	ND	ND
Salinas	Sur	31	3	2.86	15.22	4.02	0.59	ND	ND
Yauco	Sur	32	1	ND	2.48	ND	ND	ND	0.77
Yauco	Sur	32	2	8.44	16.75	1.53	NQ	ND	ND
Yauco	Sur	32	3	9.20	12.44	2.45	0.46	ND	ND

M: Muestra; n: repetición

Apéndice D: Datos curvas de calibración

Tabla D.1. Datos curva de calibración Pb, Al y Cu. Lote 1 agua potable

	Pb	Razón	Al	Razón	Cu	Razón
Blanco	0.00	2.05	0.00	62.52	0.00	3.44
Solución 1	20.00	87.84	20.00	291.80	10.00	5.35
Solución 2	50.00	207.90	50.00	531.60	50.00	26.89
Solución 3	100.00	422.50	100.00	980.50	75.00	38.81
Solución 4	150.00	621.00	150.00	1289.00	100.00	50.60
Solución 5			200.00	1672.00		

Tabla D.2. Datos curva de calibración Fe, Cd y As. Lote 1 agua potable

	Fe	Razón	Cd	Razón	As	Razón
Blanco	0.00	21.57	0.00	0.109	0.00	30.60
Solución 1	50.00	148.70	5.00	16.600	20.00	97.47
Solución 2	125.00	363.60	12.50	40.730	50.00	208.60
Solución 3	250.00	638.20	25.00	82.490	100.00	402.80
Solución 4	375.00	918.40	37.50	119.60	150.00	572.80
Solución 5	500.00	1179.00	50.00	162.600		

Tabla D.3. Datos curva de calibración Pb, Al y Cu. Lote 2 y 3 agua potable

	Pb	Razón	Al	Razón	Cu	Razón
Blanco	0.00	0.10	0.00	1.76	0.00	0.39
Solución 1	20.00	6.77	20.00	23.55	10.00	6.29
Solución 2	50.00	17.90	50.00	47.79	25.00	13.75
Solución 3	100.00	37.52	100.00	83.09	50.00	26.19
Solución 4	150.00	60.40	150.00	134.40	75.00	44.27
Solución 5	200.00	84.51	200.00	161.50	100.00	59.19

Tabla D.4. Datos curva de calibración Fe, As y Cd. Lote 2 y 3 agua potable

	Fe	Razón	As	Razón	Cd	Razón
Blanco	0.00	2.72	0.00	0.05	0.00	0.02
Solución 1	50.00	63.22	20.00	2.41	5.00	0.56
Solución 2	125.00	127.40	50.00	5.97	12.50	1.38
Solución 3	250.00	228.10	100.00	11.75	25.00	2.76
Solución 4	375.00	354.70	150.00	17.72	37.50	4.19
Solución 5	500.00	461.20	200.00	23.29	50.00	5.61

Tabla D.5. Datos curva de calibración Na, Ca, Mg y K. Lote 1, 2 y 3 agua embotellada

	Na	Razón	Ca	Razón	Mg	Razón	K	Razón
Blanco	0.00	38.11	0.00	2.33	0.00	0.47	0.00	75.66
Solución 1	50.00	99.74	100.00	5.67	20.00	11.95	10.00	92.47
Solución 2	250.00	229.60	500.00	15.70	100.00	56.29	50.00	118.81
Solución 3	500.00	420.10	1000.00	32.22	200.00	107.77	100.00	156.10
Solución 4	1500.00	1143.00	3000.00	79.46	600.00	299.99	300.00	311.40
Solución 5	2500.00	1870.00	5000.00	127.50	1000.00	497.99	500.00	469.80

Tabla D.6. Datos curva de calibración Al, Cu y Fe. Lote 1 agua embotellada

Al	Razón	Cu	Razón	Fe	Razón
0.00	1.76	0.00	0.39	0.00	8.88
20.00	23.55	10.00	6.29	50.00	183.70
50.00	47.79	25.00	13.75	125.00	406.70
100.00	83.09	50.00	26.19	250.00	738.40
150.00	134.40	75.00	44.27	375.00	1079.00
200.00	161.50	100.00	59.15	500.00	1403.00

Tabla D.7. Datos curva de calibración Pb, Cd y As. Lote 1 agua embotellada

Pb	Razón	Cd	Razón	As	Razón
0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.05
20.00	6.77	5.00	0.56	20.00	2.41
50.00	17.90	12.50	1.38	50.00	5.97
100.00	37.52	25.00	2.76	100.00	11.75
150.00	60.40	37.50	4.19	150.00	17.72
200.00	84.51	50.00	5.61	200.00	23.29

Tabla D.8. Datos curva de calibración Na, Ca, Mg y K. Lote 1, 2 y 3 agua embotellada

	Na	Razón	Ca	Razón	Mg	Razón	K	Razón
Blanco	0.00	38.11	0.00	2.33	0.00	0.47	0.00	75.66
Solución 1	50.00	99.74	100.00	5.67	20.00	11.95	10.00	92.47
Solución 2	250.00	229.60	500.00	15.70	100.00	56.29	50.00	118.81
Solución 3	500.00	420.10	1000.00	32.22	200.00	107.77	100.00	156.10
Solución 4	1500.00	1143.00	3000.00	79.46	600.00	299.99	300.00	311.40
Solución 5	2500.00	1870.00	5000.00	127.50	1000.00	497.99	500.00	469.80

Tabla D.8. Datos curva de calibración Al, Cu y Fe. Lote 1, 2 y 3 agua embotellada

	Al	Razón	Cu	Razón	Fe	Razón
Blanco	0.00	1.06	0.00	2.01	0.00	0.10
Solución 1	20.00	7.35	10.00	4.01	20.00	0.24
Solución 2	50.00	16.70	25.00	8.54	50.00	9.49
Solución 3	100.00	30.75	50.00	12.40	100.00	17.15
Solución 4	150.00	45.21	75.00	17.70	150.00	25.00
Solución 5	200.00	61.72			200.00	32.45

Tabla D.9. Datos curva de calibración Pb, As y Cd. Lote 1, 2 y 3 agua embotellada

	Pb	Razón	As	Razón	Cd	Razón
Blanco	0.00	0.84	0.00	0.02	0.00	0.00
Solución 1	20.00	19.49	20.00	0.79	5.00	0.18
Solución 2	50.00	45.08	50.00	2.07	12.50	0.49
Solución 3	100.00	127.90	100.00	4.47	25.00	0.96
Solución 4	150.00	168.50	150.00	6.32	37.50	1.43
Solución 5			200.00	8.19	50.00	1.93