

Evaluación analítica para la determinación de aluminio, bario y cromo en aguas, por espectroscopia de absorción atómica con llama óxido nitroso-acetileno

Analytical assessment for determination of aluminum, barium and chromium in water by atomic absorption spectroscopy nitrous oxide acetylene flame

COLCIENCIAS TIPO 5. REPORTE DE CASO

RECIBIDO: SEPTIEMBRE 26, 2013; ACEPTADO: DICIEMBRE 9, 2013

Cesar Augusto Álvarez, Esp¹

cesaralvarez203@hotmail.com

Rosa Acevedo Barrios, Ph.D²

rosautb@gmail.com

Carlos Severiche Sierra, M.Sc²

cseveriches@gmail.com

¹Laboratorio de Calidad de Aguas, Aguas de Cartagena S.A. E.S.P., Cartagena-Colombia

²Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena-Colombia

Resumen

La meta de un análisis químico de aguas es generar resultados correctos y confiables; la validación de ensayos es uno de los aspectos más importantes para conseguir este propósito. Además, constituye un factor clave para la prestación de servicios analíticos. La Espectroscopia de Absorción Atómica con Llama Óxido Nitroso-Acetileno es una de las metodologías más propicias y ventajosas para la cuantificación de metales en aguas; para su comprobación, se halló la precisión y exactitud para las determinaciones de aluminio, bario y cromo. El objetivo fue confirmar la aplicación correcta del método para el análisis de aguas. Se trabajaron muestras de agua de diferente procedencia, siguiendo estrictamente los protocolos de verificación. Se encontraron resultados satisfactorios en precisión y exactitud con el fin de emitir resultados confiables y reales de la muestra analizada. La determinación de ion sulfato en aguas es una de las metodologías analíticas más discutidas que se conoce en el ámbito científico técnico del análisis de aguas, principalmente por las desventajas que presentan los métodos aceptados internacionalmente (gravimétrico, turbidimétrico y cromatográfico).

Palabras Clave

Absorción atómica; agua; aluminio; bario; cromo; óxido nitroso acetileno: precisión.

Abstract

The goal of a chemical water analysis is to generate accurate and reliable results, being the validation of tests one of the most important aspects for this purpose, also constitutes a key factor to provide analytical services. Atomic Absorption Spectroscopy in Nitrous Oxide-Acetylene Flame is one of the most favorable and advantageous methods for quantification of metals in water, for verification, the accuracy and precision for the determination of aluminum, barium and chromium were found. The objective was to confirm the correct application of the method for water analysis. Water samples from different sources were worked strictly verification protocols being followed. Were found satisfactory levels of precision and accuracy in order to deliver reliable and actual results of the sample.

Keywords

Atomic Absorption, Water, Aluminum, Barium, Chromium, Nitrous Oxide Acetylene, Precision

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua (ríos, lagos y mares) es producida, principalmente, por el vertimiento de aguas servidas, las descargas municipales, industriales, agrícolas, ocasiona la presencia de tóxicos orgánicos, metales pesados, sólidos suspendidos, microorganismos patógenos y nutrientes a los ambientes, lo cual afecta el bienestar de los ecosistemas y la calidad de vida de los grupos humanos (San Sebastián, Armstrong, & Stephens, 2001; Quintero, Rendón, Agudelo, Quintana, & Osorio, 2010).

El incremento de uso de metales y sustancias químicas en los procesos industriales ha resultado en la generación de grandes cantidades de efluentes acuíferos que contienen altos niveles de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Hussein, Ibrahim, Kandeel, & Moawad, 2004). Se sabe que la presencia de metales pesados en el ambiente causa severos daños a la vida acuática, además de que elimina microorganismos durante los tratamientos biológicos de aguas residuales, lo que, a su vez, ocasiona que el proceso de purificación decaiga. Aunado a lo anterior, las sales de estos metales pesados son solubles en agua y, en consecuencia, no pueden ser separadas por métodos ordinarios (Hussein et al., 2004; Sarabia, 2011).

En la actualidad el aluminio tiene una amplia aplicación en las industrias alimenticia, farmacéutica, del papel y de la construcción, y en el tratamiento de agua para beber y agua residual. Sin embargo, no se ha hecho énfasis en los posibles daños a la salud originados por el consumo de este elemento. Una de las enfermedades que ha sido asociada a la ingesta de este elemento es el Alzheimer –y se corre el riesgo de desarrollar otros padecimientos– (Panda & Choudhury, 2005).

El aluminio es uno de los elementos metálicos más abundantes en la corteza terrestre. Es liberado al medio por procesos naturales –procesos de erosión del suelo y erupciones volcánicas– y por acciones antropogénicas. La mayor parte de la ingesta humana de aluminio proviene de la alimentación, a través de diferentes fuentes: por el contenido natural del metal en los alimentos, en el agua para cocinar y beber, y por el uso de alimentos elaborados que contienen aluminio como sustancias conservadoras, leudantes y colorantes (Trejo & Hernández, 2004).

Diferentes sectores industriales (e.g., galvanoplastia, explotación minera y petrolera, farmacéutico y petroquímico) generan efluentes líquidos que poseen concentraciones de bario que sobrepasan la normatividad

ambiental (Quintero et al., 2010). El bario es un metal pesado que ha sido denominado *nocivo* por la Organización Mundial de la Salud [OMS] y *peligroso* por la Agencia de Protección Ambiental Americana [EPA] (Yaruro, Peña, Escalante, & Hernández, 2008).

De forma natural los niveles de bario en el medio ambiente son muy bajos. Concentraciones altas de bario pueden sólo ser encontradas en los suelos y en la comida (e.g., frutos secos, algas, pescados y ciertas plantas). Los mayores riesgos para la salud son causados por respirar aire que contiene sulfato de bario o carbonato de bario.

Los efectos sobre la salud del bario dependen de la solubilidad de los compuestos. Compuestos del bario que se solubilizan en agua pueden ser dañinos para la salud humana. La toma de gran cantidad de bario que es soluble puede causar parálisis y, en algunos casos, incluso la muerte (Romero, 2002; Yaruro et al., 2008).

El cromo se encuentra presente en el agua y el suelo, principalmente en dos estados de oxidación: Cr (III) o Cr (VI), aunque también puede encontrarse como óxido de cromo, sulfato de cromo, trióxido de cromo, ácido crómico y dicromato (Zouboulis, Kydros, & Matis, 1995; Romero, 2002; Calvo, 2013). En presencia de la materia orgánica, el Cr (VI) presente en aguas y suelos es reducido a Cr (III); sin embargo, las altas concentraciones del ión en estado hexavalente pueden sobrepasar esta capacidad de reducción, lo que impediría su adecuada eliminación (Cervantes, Campos, Devares, & Gutiérrez, 2001). Se halla en las rocas, en el suelo, en los animales y en las plantas, en concentraciones variables. En estado trivalente es esencial para los seres humanos, en los que promueve la acción de la insulina (Campos, 2008; Lora & Bonilla, 2010).

Los derivados del cromo hexavalentes –cromatos y dicromatos, usualmente de origen antropogénico– en altas concentraciones producen toxicidad para las plantas, y ocasionan la disminución en la incorporación de calcio, potasio, fósforo, hierro y manganeso, además de afecciones en el metabolismo de los carbohidratos y disminución de la clorofila (Cuberos, Rodríguez, & Prieto, 2009; Lora y Bonilla, 2010).

En el método espectroscópico por absorción atómica y llama óxido nitroso-acetileno, la muestra es aspirada y atomizada en una llama de óxido nitroso-acetileno, la cual es atravesada por un haz de luz que contiene las longitudes de onda específicas del analito. La disminución en la intensidad de dicho haz es proporcional a la concentración

del analito en la muestra. Esta llama, más energética que la de aire-acetileno, muestra mejor sensibilidad para los elementos que forman óxidos refractarios (Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012).

La meta de un análisis químico de aguas es generar resultados correctos y confiables; la validación de ensayos es uno de los aspectos más importantes para conseguir este propósito; además, constituye un factor clave para la prestación de servicios analíticos. En el presente trabajo se llevó a cabo la evaluación analítica del método espectroscópico de absorción atómica con llama óxido nitroso acetileno, para la determinación de los metales aluminio, bario y cromo en aguas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Su utilizó el método 3111 D –incluido en la edición 22 del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*– (Rice et al., 2012), el cual es aplicable a cualquier tipo de aguas, excepto el agua de mar. Para controlar las interferencias, se hizo la corrección de fondo con deuterio, lo cual sirve para contrarrestar la absorción no atómica, fenómeno importante cuando el contenido de sólidos disueltos es alto. Para evitar interferencia por ionización, se utilizó un buffer de ionización de KCl (Rice et al., 2012).

Los equipos y materiales utilizados fueron el espectrofotómetro de absorción atómica *Thermo Elemental, Solaar M5*, equipado con un quemador de 5 cm de longitud de ranura, la lámpara de cátodo hueco (LCH) con el elemento a analizar (Al, Ba y Cr) de material de vidrio y/o plástico; los reactivos usados son de grado analítico, para emplearlos se utilizó agua desionizada; en detalle, se añadió ácido nítrico concentrado, solución patrón trazable del analito correspondiente, solución de KCl: se preparó de forma tal que al adicionar a las muestras y los patrones, estos resulten entre 0.2-0.25 % (m/v) en K. Como ejemplo: 9.5 ó 19.1 g de KCl a 100 mL, resultan en 5 ó 10 % (m/v) en K, respectivamente.

La preparación de las muestras puede implicar desde su simple preservación con ácido nítrico hasta su digestión. Se adicionó una solución de KCl para que la concentración final fuera 0.2 % (m/v) en K. Para la preparación de los patrones de calibración se diluyó adecuadamente del patrón certificado; se prepararon al menos tres patrones que abarcaran el intervalo de concentraciones esperado en las muestras. Se adicionó KCl para que la concentración

final fuera 0.2 % (m/v) en K. Se añadió ácido nítrico para semejar dichas concentraciones a las de las muestras que, en el caso de agua potable directa y metales disueltos en otras aguas, habitualmente es 0.2% en HNO₃.

Al programar el análisis, se identificó adecuadamente cada muestra y su factor de dilución, lo que permitió obtener directamente en el computador los resultados ya corregidos. Los resultados de las muestras líquidas se expresan en µg/L o mg/L, según proceda. Para aquellos que resultaron inferiores al menor estándar de calibración empleado, se tuvo en cuenta el valor calculado. En función de él, de las concentraciones características y del menor estándar, del límite de detección (de ser calculado) y de los requerimientos del resultado, se informó casuísticamente éste. Cuando fue necesaria mayor sensibilidad, se reanalizó la muestra por horno de grafito.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los protocolos de verificación, se evaluaron, la precisión, la exactitud y la recuperación de adiciones conocidas (exactitud en matriz) (Cortés & García, 2009; Cortés, 2010). El método de referencia plantea el empleo de la llama aire-acetileno para la determinación de cromo, aunque en la literatura aparecen diversas referencias (incluida la del fabricante del espectrofotómetro de absorción atómica empleado), donde aconsejan el empleo de la más energética llama óxido nitroso-acetileno ya que ésta sí posee la energía suficiente para disociar los compuestos de cromo y permitir la liberación de los átomos de este elemento.

A continuación se exponen e interpretan los resultados obtenidos en los ensayos de verificación del método, que se realizaron siguiendo el procedimiento de análisis referenciado y con el equipamiento disponible en el laboratorio. Los resultados descritos se consiguieron utilizando muestras agua de diferente procedencia, especialmente residuales, así como con muestras certificadas comerciales y las empleadas en las pruebas de desempeño del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] y Mollabs.

A. Exactitud

La exactitud se midió teniendo en cuenta las pruebas de evaluación de desempeño del IDEAM con resultados satisfactorios desde 2007, como se muestra en la Tabla1. Para las pruebas Mollabs, desempeño satisfactorio para Cr

total en dos ejercicios de aguas residuales en 2009 y 2010 (Zscore de 0.66 y -0.52, respectivamente).

Tabla 1. Pruebas de evaluación de desempeño del IDEAM (%)

Año	Al	Cr	Ba
2007	90	100	100
2008	90	100	90
2009	100	100	100
2010	100	100	80
2011	100	90	x

Se analizaron muestras certificadas en el periodo 2007 a 2012, tomando el Zscore como estadístico de exactitud (ver Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de muestras certificadas

Muestra	Zscore					
	Al		Ba		Cr	
	X	I	X	I	X	I
IL 08	-2,41	(-2.67/-2.15)	-0,23	(-0.61/0.65)	x	x
IH 08	-0,44	(-1.27/0.21)	-0,54	(-1.62/0.03)	-0,33	(-2.01/2.02)
IH 09	x	x	0,37	(-1.17/1.91)	x	x
IL 10	x	x	x	x	-1,67	(-1.68/-1.66)
IH 10	-0,43	(-1.18/0.25)	x	x	0,14	(-2.66/1.17)
IL 12	x	x	-0,56	(-1.94/0.81)	x	x
IH 12	-0,48	(-1.25/0.30)	-0,99	(-2.08/0.57)	-0,96	(-1.20/-0.73)
QCI 07	x	x	x	x	0,04	(0.03/0.06)
QCIL 08	-1,28	(-1.89/-0.68)	-0,94	(-1.83/1.00)	x	x
QCIH 08	x	x	-0,67	(-1.33/0.97)	x	x
QCIH 11	x	x	x	x	1,22	(0.75/1.81)

Nota: X: promedio; I: intervalo

Además, se halló este parámetro de calidad analítica con pruebas de añadido-recobrado (Cortés & García, 2009; Cortés, 2010), demostrándose, con respecto a esta parte, la aplicabilidad de la metodología. La Tabla 3, expone el resumen de los resultados obtenidos entre 2007 y 2012.

Tabla 3. Pruebas de añadido-recobrado

Recobrados (%)	Al	Ba	Cr
Promedio	90.6	96.3	98.9
Intervalo	x	86.8-108.5	87.8-117.6
CV%	x	6.5	8.2
N	1	11	13

Que el 80% de las muestras analizadas fueran de agua residual –matriz más compleja que el agua natural o potable– demuestra que el proceso de digestión para determinar metales totales, es satisfactorio.

B. Precisión

Para evidenciarla, se recurrió a la repetibilidad

(Velázquez, Pimentel, & Ortega, 2011; Ríos, Maroto, & Bosque, 2011), con base en muestras digeridas, fundamentalmente de aguas residuales; en algunos casos se considera también la muestra añadida dada la baja concentración de la original. En la Tabla 4, se muestran los coeficientes de variación para bario y cromo. Los contenidos de los diferentes metales y la tabla de Horwitz. Puede considerarse satisfactoria, analíticamente, la repetibilidad.

Tabla 4. Repetibilidad

Coefficiente de variación (%)	Ba	Cr
Promedio	2.9	1.6
Intervalo	0.4-6.6	0.1-5.0
mg/L	0.16-12.7	< 1.1
N	6	7

Para confirmar la precisión también se halló la reproducibilidad interna (Ríos et al., 2011), se trabajaron muestras certificadas (QCI) y de control interno (*low* y *high*) realizadas durante días diferentes y, en ocasiones, también por más de un analista; en la Tabla 5 se ilustran los resultados de este parámetro analítico.

Tabla 5. Reproducibilidad interna

Muestra	Al		Ba		Cr	
	CV%	n	CV%	N	CV%	n
IL 08	2.8	2	2.2	5	X	x
IH 08	4.3	3	2.9	5	5.4	7
IH 09	X	x	9.3	2	X	x
IL 10	X	x	x	X	0.1	2
IH 10	4.0	3	x	X	5.3	7
IL 12	X	x	8.6	2	X	x
IH 12	6.2	2	4.0	9	1.5	2
QCI 07	X	x	x	X	0.1	2
QCIL 08	6.9	2	5.1	5	X	x
QCIH 08	X	x	4.2	5	X	x
QCIH 11	X	x	x	X	2.2	4

En este caso, también se considera satisfactoria la precisión obtenida.

Adicionalmente, se hizo la comparación con la determinación de cromo con llama aire acetileno. En tres ocasiones se analizaron muestras certificadas con llama aire-acetileno. Los Zscore oscilaron entre -3.96 y -7.56, lo que demuestra un sesgo negativo y confirma lo planteado en la literatura respecto a la baja energía de esta llama para disociar los compuestos de cromo.

Para el establecimiento de la concentración a reportar,

como se muestra en la Tabla 6, se tiene como referencia a las concentraciones máximas permisibles en agua potable, el menor patrón de la respectiva curva de calibración y las concentraciones características; se establecen las concentraciones (mínimas) a reportar; para agua potable sólo puede determinarse Ba.

Tabla 6. Concentracion a reportar

Elemento (mg/L)	Al	Ba	Cr
Concentración característica	0.4	0.2	0.06
Máximo permisible en agua potable	0.2	0.7	0.05
Menor patrón de la curva de calibración	0.5	0.5	0.1
Concentración (mínima) a reportar	0.5	0.25	0.08

IV. CONCLUSIONES

El método estandarizado se fundamenta en aprovechar las potencialidades de la espectroscopia de absorción atómica con llama óxido nitroso-acetileno. Esta combinación proporciona una técnica fiable y rápida. El procedimiento propuesto presenta adecuadas características de desempeño, por lo que puede definirse como un método preciso (coeficientes de variación <10%), veraz (no presenta sesgo significativo), con un adecuado intervalo de concentración y una concentración mínima a reportar baja para cada metal (0.5; 0.25; 0.08 mg/L) Al, Ba y Cr respectivamente. Estas características permiten que el mismo se ajuste al propósito para el cual fue diseñado. De acuerdo con los datos obtenidos el método se ajusta al uso propuesto y es adecuado para ser aplicado en las condiciones particulares del laboratorio de calidad de aguas de la Empresa Aguas de Cartagena S.A. ESP; además se vuelve un método de referencia para otros laboratorios que deseen aplicarlo, ya que pueden reportar resultados correctos y confiables, además de ser una guía a nivel internacional.

V. REFERENCIAS

- Calvo, G. (2013). Nueva metodología para valorar la calidad de las aguas superficiales para su uso como clase 2 en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 26(2), 9-19
- Campos, E. (2008). Estudio de la adsorción de cromo hexavalente como biomaterial la ectodermis de opuntia. *Revista Quiviera*, 10(1), 16-31
- Cervantes, J., Campos, S., Devars., & Gutiérrez, F. (2001). Interactions of chromium with microorganisms and plants. *FEMS Microbiology Review*, 25, 333-347
- Cortés, C. (2010). *Validación de métodos* [Dcto. No. MP-CA005-02]. México D.F., México: Entidad Mexicana de Acreditación [EMA]
- Cortés, C. & García, R. (2009). *Validación con base en los criterios de aplicación de la Norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 en mediciones químicas y físicas*. México D.F., México: Entidad Mexicana de Acreditación [EMA]
- Cuberos, E., Rodríguez, A. & Prieto, E. (2009). Niveles de cromo y alteraciones

- de salud en una población expuesta a las actividades de curtiembres en Bogotá, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 11(2), 278-289
- Hussein, H., Ibrahim, F., Kandeel, K., & Moawad, H. (2004). Biosorption of heavy metals from waste water using *Pseudomonas* sp. *Environmental Biotechnology*, 7(1), 1023-1027
- Lora, R. & Bonilla, H. (2010). Remediación de un suelo de la cuenca alta del río Bogotá contaminado con los metales pesados cadmio y cromo. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 13(2), 61-70
- Panda, S. & Choudhury, S. (2005). Chromium stress in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* 17(1), 95-102
- Quintero, L., Rendón, E., Agudelo, Y., Quintana, S., & Osorio, A. (2010). Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. *Revista Gestión y Ambiente*, 13(3), 51-64
- E. Rice, R. Baird, A. Eaton & L. Clesceri [Eds.]. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* [22th ed.]. Washington, DC: APHA/AWWA/WEF.
- Ríos, F., Maroto, A., & Bosque, R. (2001). La validación de métodos analíticos. *Rev. Tec. Lab. (Cuba)*, 22(252), 2-17
- Romero, J. (2002). *Calidad del agua Escuela Colombiana de Ingeniería*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
- San Sebastián, M., Armstrong, B., & Stephens, C. (2001). La salud de mujeres cerca de pozos y estaciones de petróleo en Ecuador. *Revista Panamericana de Salud Publica*, 9(6), 375-385
- Sarabia, I. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 27(2), 103-113
- Trejo, R. & Hernández, V. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *Revista Conciencia Tecnológica*. 25(1), 17-20
- Velázquez, M., Pimentel, J. & Ortega, M. (2011). Estudio de la distribución de boro en fuentes de agua de la cuenca del río Duero, México, utilizando análisis estadístico multivariado. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(1), 9-30.
- Yaruro, D., Peña, D., Escalante, Y. & Hernández, H. (2008). Reducción de la concentración de bario, presente en un efluente líquido, mediante extracción no-dispersiva en módulos de fibra hueca. *Revista Dyna*, 75(155), 133-144
- Zouboulis, I., Kydos, K. & Matis, K. (1995). Removal of hexavalent chromium anions from solutions by pyrite fines. *Water Research*, 29(7), 1755-1760

VI. CURRÍCULOS

Cesar Augusto Álvarez, Especialista en Química Analítica, Ingeniero de Alimentos, Técnico en Agua Potable y Saneamiento Básico, Diplomado en Habilidades Docentes y Máster en Teología Básica, con más de 25 años de experiencia en análisis químicos ambientales y operación de procesos químicos industriales; docente catedrático de la Universidad Tecnológica de Bolívar, Especialista Grado Superior del Laboratorio de Calidad de Aguas de la empresa Aguas de Cartagena S.A. E.S.P., en Cartagena de indias, Colombia.

Rosa Acevedo Barrios, Bióloga (Universidad del Atlántico, Colombia), Magister en Microbiología (Universidad de La Habana, Cuba), Doctoranda en Toxicología Ambiental (Universidad de Cartagena, Colombia). Diplomada en Competencias Comunicativas, Habilidades Docentes, Docencia en Educación Superior, Docencia en Ambientes Virtuales de Aprendizaje. Docente Universitaria en el área Ambiental y Microbiológica por más de 12 años en

diferentes instituciones, entre ellas, la Universidad del Norte (Barranquilla), la Universidad de Sucre (Sincelejo), la Corporación Universitaria Rafael Núñez (Cartagena), la Universidad de Manizales (Manizales) y la Universidad Tecnológica de Bolívar (Cartagena). Experiencia investigativa y profesional en el Instituto de Pesca y Agricultura de Colombia [INPA], Parques Nacionales Naturales de Colombia, el Centro Nacional de Investigaciones Científicas [CNIC] en La Habana (Cuba). Ex directora de programas del área Petroquímica y Ambiental, docente de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Básicas e Investigadora del Grupo de Investigaciones en Sistemas Ambientales y Materiales [GISAM] de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

Carlos Severiche Sierra. Químico y Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad de Cartagena (Colombia), Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (Universidad de Manizales, Colombia). Diplomado en Habilidades Docentes, Docencia en Ambientes Virtuales de Aprendizaje y Educación a Distancia, Gestión Ambiental Urbana, Análisis Instrumental y Validación de Métodos Analíticos. Docente universitario en el área Ambiental, Salud Ocupacional y Petroquímica en la Universidad de Cartagena y la Universidad Tecnológica de Bolívar. Experiencia investigativa y profesional en el programa de Calidad Ambiental Marina del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras de Colombia [Invemar] y el Laboratorio de Calidad de Aguas de la empresa Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. Beca Investigador e Innovador del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia [Colciencias]. Representante docente al Comité Curricular del Programa de Sistemas de Saneamiento Ambiental e Investigador del Grupo de Investigaciones en Sistemas Ambientales y Materiales GISAM de la Universidad Tecnológica de Bolívar.