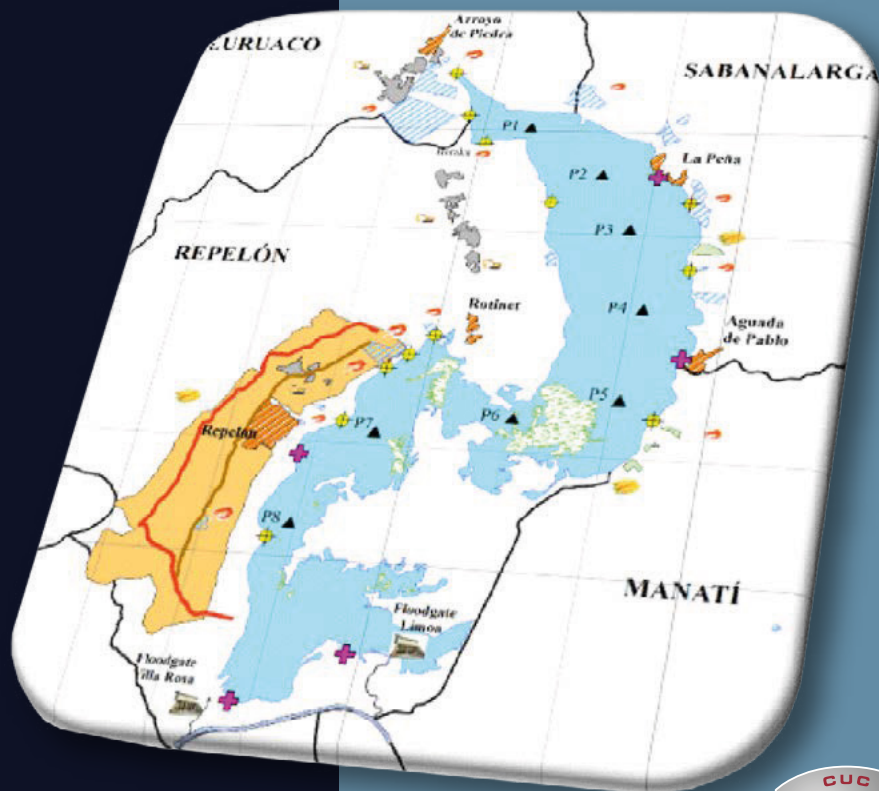


Eliana Martínez Mera  
Ana Torregroza Espinosa  
Daniel Castañeda Valbuena  
Tito José Crissien Borrero  
Franklin Torres Bejarano

# EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

Diagnóstico y Evaluación Ambiental  
de la Actividad Agrícola



Libro digital



CORPORACION  
UNIVERSIDAD  
DE LA COSTA  
1970

VIGILADA MINEDUCACION

El distrito de riego Repelón: diagnóstico y evaluación ambiental de la actividad agrícola / Eliana Martínez Mera... [et-al]. -

Barranquilla: Educosta S.A.S

208 páginas, gráficos, ilustraciones, mapas

ISBN: 978 95 8 8921 85-3

1. Suelos - Contenidos de metales pesados - Repelón
2. Calidad ambiental - Repelón
3. Metales pesados - Repelón
4. Contaminación agrícola - Repelón

571.95 D614

Co-BrCuC

Para citar:

Martínez-Mera, E., Torregroza-Espinosa, A., Castañeda-Valbuena, D., Crissien-Borrero, T. y Torres-Bejarano, F. 2018. El Distrito de Riego de Repelón. Diagnóstico y Evaluación Ambiental de la Actividad Agrícola. Primera Edición. Editorial Universitaria de la Costa, Educosta. 208 p.

EL DISTRITO DE RIEGO

# REPELÓN

Diagnóstico y Evaluación Ambiental  
de la Actividad Agrícola



EL DISTRITO DE RIEGO

# REPELÓN

Diagnóstico y Evaluación Ambiental  
de la Actividad Agrícola

Eliana Martínez Mera  
Ana Torregroza Espinosa  
Daniel Castañeda Valbuena  
Tito José Crissien Borrero  
Franklin Torres Bejarano

ISBN: 978 958 8921 85-3

Primera Edición

Corporación Universidad de la Costa, CUC

Diseño, diagramación  
y corrección de estilo  
Editorial Universitaria de la Costa,  
EDUCOSTA, S.A.S.  
Teléfono: (575) 336 2222  
educosta@cuc.edu.co

Lauren J. Castro Bolaño  
Gerente EDUCOSTA S.A.S.

Hecho el depósito que exige la ley.

# EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

Diagnóstico y Evaluación Ambiental  
de la Actividad Agrícola

Eliana Martínez Mera  
Ana Carolina Torregroza  
Daniel Castañeda Valbuena  
Tito José Crissien Borrero  
Franklin Torres Bejarano



C O R P O R A C I O N  
UNIVERSIDAD  
DE LA COSTA  
1 9 7 0

VIGILADA MINEUCACION

### DEDICATORIA

La elaboración de este libro y la ejecución del proyecto del cual se deriva, fue una experiencia estimulante y desafiante, que nos dejó enseñanzas inconmensurables, no solo en el ámbito investigativo y académico, sino en el trabajo con las comunidades campesinas, la interacción con otros grupos de investigación, y la importancia de hacer buen uso de los recursos naturales para proteger los diferentes ecosistemas que proveen nuestro sustento sociocultural, económico y ambiental.

La información y el amplio espectro de conocimientos presentados en este libro, brindará a los lectores la posibilidad de entender aún más, las razones por las cuales debemos valorar nuestro medio ambiente y el impacto que las actividades humanas le causan; reflejándose finalmente en el deterioro de los ecosistemas, la salud humana y la calidad de vida. Además, el conocimiento obtenido de este libro, ayudará a que nuestro entorno sea un lugar mucho mejor para el futuro, en particular, de los pobladores de la región del Sur del Departamento del Atlántico.

Cumplir la meta de escribir un libro como producto de un proceso de investigación, requiere del esfuerzo y compromiso de muchas personas; en especial de aquellas personas en ocasiones suelen pasar desapercibidas durante las inves-

tigaciones, a pesar de tener un papel valioso para el desarrollo de los proyectos de investigación y sin su apoyo sería aún más complicado o prácticamente imposible. Por tal motivo, los autores queremos dedicar este libro a los estudiantes que realizaron sus trabajos de grado, a los investigadores que participaron en las diferentes fases del proyecto, y en especial al personal administrativo y directivas de la universidad de la Costa, quienes, abanderados por el rector, Dr. Tito José Crissien, apoyaron financiera y logísticamente la realización del proyecto de investigación que finalizó con el desarrollo de este libro.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del libro manifestamos nuestro agradecimiento a las personas que contribuyeron con este proyecto:

Al rector de la Universidad de la Costa, Dr. Tito José Crissien Borrero, por el apoyo financiero para ejecutar el proyecto de investigación.

Los estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental: Karols Scaldafarro, María Franco, Laura Blanco, Mercedes Benítez, Duvan Cervantes, Diego Pimiento, Jarif Garrido y María Licona quienes con sus trabajos de grado contribuyeron a recopilar la información.

Al profesor Leandro Gómez Plata por sus aportes en los análisis de suelos.

A las laboratoristas Ana Belén Villalobos y Erika Arbeláez por su disposición y apoyo en los análisis de laboratorio.

Al laboratorio de Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba (Montería) por los análisis químicos de las muestras.



## PRÓLOGO

En la actualidad existen numerosos problemas ambientales ocasionados por diversas causas, uno de ellos es la contaminación por plaguicidas y metales pesados. Siendo uno de los factores más preocupantes de la actualidad nacional e internacional, dadas las consecuencias para el medio ambiente y los seres vivos como las plantas, animales y los seres humanos, por lo cual es necesario realizar con regularidad procesos de monitoreo y diferentes estudios, con el fin de poder tomar las medidas preventivas y correctivas según sea el caso.

El grupo de investigadores de la Corporación Universidad de la Costa, desarrollaron este libro, motivados por la conservación de su región y preocupados por la problemática en el embalse El Guájaro y el distrito de riego de Repelón, teniendo en cuenta que estos desempeñan un importante rol a nivel ambiental y económico en el sur del departamento del Atlántico, puesto que en ellos se desarrollan actividades de pesca y agricultura.

En este contexto, se evaluó la presencia de plaguicidas organoclorados (POC), plaguicidas organofosforados (POF) y metales pesados (Zn, Cd, Cr, Pb, Ni y Hg) en los suelos agrícolas del distrito de riego; así como, aguas y sedimentos superficiales del embalse en las épocas de sequía y lluvia en el año 2016, con el fin de que se puedan tomar

las medidas correctivas y/o preventivas, para controlar y mitigar los impactos en que se pueden dar en estos ecosistemas, así como evitar su presencia en organismos acuáticos propios de la región.

Sus esfuerzos e inquietudes dan como resultado el proyecto de investigación titulado “Efecto del cambio climático sobre el transporte de plaguicidas en el distrito de riego de Repelón, Atlántico”, auspiciado por la Universidad de la Costa y con la colaboración de la Universidad de Córdoba en lo referente a su desarrollo. A partir de los resultados de diferentes investigaciones, los autores han presentado a la comunidad de lectores su libro titulado: EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA.

La bitácora trazada en el libro, presenta en sus primeros capítulos los antecedentes históricos del Distrito de Riego de Repelón, su historia en cuanto a los cambios físicos realizados para su creación y la parte administrativa del mismo, funcionamiento, estructura, capacidad, problemáticas que presenta y operación del distrito.

Esta información es sustentada e ilustrada con el uso de cuadros, gráficos y fotografías que permiten ubicarse en el contexto de la investigación. Adicionalmente, se encuentra una descripción de la zona en estudio en los aspectos hídricos, meteorológicos, características del sue-

lo, vegetación del distrito de riego y el embalse El Guájaro.

Seguidamente se exponen las campañas de medición y muestreo realizadas en las que ofrece al lector la ubicación de los puntos donde se tomaron las muestras, los mecanismos para su toma, medidas de seguridad, periodicidad, equipos utilizados y el proceso de análisis. Igualmente, se registran a su vez los parámetros examinados en el proyecto, todo esto presentado de una manera clara y precisa.

Encontramos también, el análisis de las características, fuentes y efectos de los plaguicidas y metales pesados; lo que facilita entender los riesgos de salud a los que nos encontramos expuestos las personas ante su presencia, el daño a la naturaleza, animales, plantas, el suelo y las fuentes hídricas las cuales necesitamos para subsistir.

Posteriormente, los autores nos presentan los resultados de su investigación, permitiendo observar de qué forma y proporción están distribuidos los factores analizados en el distrito de riego de Repelón; así como, el análisis del impacto que permite identificar la forma en que se están viendo afectadas las aguas y sedimentos del embalse El Guájaro.

Al finalizar la lectura de este libro de investigación, usted podrá determinar si las matrices evaluadas presentan contaminación por la presencia de plaguicidas y los factores asociados con la

posible asociación de su presencia. Adicionalmente, podrá evaluar el impacto ocasionado por su presencia y los problemas que puede traer consigo como pérdida de diversidad, disminución en la productividad agrícola y enfermedades en las personas expuestas, entre otros aspectos, que ameritan el análisis crítico y la formulación de alternativas de solución.

El aporte de este libro en los procesos de investigación, desarrollo, innovación y generación de nuevo conocimiento aplicado, constituye una fuente de consulta muy valiosa para aquellas instituciones dedicadas a la protección del medio ambiente, convirtiéndose a su vez en un referente teórico y empírico para los investigadores, estudiantes y docentes interesados en el tema.

Ph.D., Jorge Moreno Gómez  
Vicerrector de Extensión  
Universidad de la Costa

## CONTENIDO

PRESENTACIÓN	27
INTRODUCCIÓN	29
Antecedentes y Problemática	30
Justificación	36
El Distrito de Riego Repelón: historia y funcionamiento	40
Creación del Distrito de Riego de Repelón	40
Funcionamiento y operación	42
Entorno físico del Distrito de Riego de Repelón	50
Descripción de la zona de estudio	50
Hidro-meteorología de la zona	51
Temperatura	51
Precipitación	52
Balance hídrico	52
Características generales de los suelos	53
Vegetación predominante	55
Características del embalse El Guájaro	56

Campañas de medición y muestreo	58
Muestreo de suelos en el Distrito de Riego de Repelón	59
Muestreo de aguas del embalse El Guájaro	62
Muestreo de sedimentos superficiales del embalse El Guájaro	63
Análisis de las muestras de suelo	64
Análisis de las muestras de agua	65
Análisis de las muestras de sedimentos superficiales	66
Métodos de análisis de información	67
Factor de Contaminación (FC)	68
Índice de Carga de Contaminación (ICC)	69
Grado de Contaminación (GC)	70
Índice de Geoacumulación (Igeo)	71
Distribución espacial de plaguicidas y metales pesados	73
Contaminación por plaguicidas y metales pesados	74
Características de los plaguicidas, sus usos y efectos	75
Características de los metales pesados, fuentes de contaminación y efectos	79

Distribución de plaguicidas y metales pesados en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	85
Resultados obtenidos	86
Índices de contaminación para metales pesados en los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	96
Factor de contaminación (FC)	96
Índice de carga de contaminación (ICC)	104
Grado de Contaminación (GC)	104
Índice de Geoacumulación (Igeo)	107
Discusión de resultados de la distribución de plaguicidas y metales pesados	114
Conclusiones y Recomendaciones	121
Plaguicidas y metales pesados en las aguas del embalse El Guájaró	123
Resultados obtenidos	123
Análisis de la Distribución de Metales Pesados en el embalse El Guájaró	126
Niveles de Zinc	133
Discusión de resultados de la distribución de metales pesados	134
Conclusiones y Recomendaciones	140

Plaguicidas y metales pesados en sedimentos superficiales del embalse El Guájaro	142
Resultados obtenidos	143
Índices para metales pesados en sedimentos superficiales	158
Factor de contaminación (FC)	159
Índice de carga de contaminación (ICC)	166
Grado de Contaminación (GC)	166
Índice de Geoacumulación (Igeo)	169
Discusión de resultados	176
Conclusiones y Recomendaciones	183
REFERENCIAS	185



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Usuarios con concesión y permiso de vertimientos en el embalse El Guájaro	48
Tabla 2. Clasificación de suelos del Distrito de Riego de Repelón	54
Tabla 3. Estaciones de muestreo en suelos del Distrito de Riego de Repelón	60
Tabla 4. Estaciones de muestreo en aguas y sedimentos superficiales del embalse El Guájaro	62
Tabla 5. Categorización del Factor de Contaminación	69
Tabla 6. Índice de Carga de Contaminación	70
Tabla 7. Grado de contaminación	71
Tabla 8. Clases del Índice de geoacumulación y grado de contaminación	72
Tabla 9. Fuentes de metales pesados relacionados con actividad agrícola	80
Tabla 10. Plaguicidas evaluados en suelos con actividad agrícola	87

Tabla 11. Concentración de metales pesados en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	88
Tabla 12. Índices de metales pesados en los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	97
Tabla 13. Plaguicidas evaluados en aguas superficiales del embalse El Guájaro	124
Tabla 14. Concentraciones de metales pesados en las aguas del embalse El Guájaro	125
Tabla 15. Plaguicidas detectados en los sedimentos del embalse el Guájaro	143
Tabla 16. Materia Orgánica, pH y metales pesados detectados en los sedimentos del embalse El Guájaro	145
Tabla 17. Índices de metales pesados en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro	158

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Red de Drenaje del embalse El Guájaro, Atlántico	43
Figura 2.	Casa de bombas, Repelón	44
Figura 3.	Canal de aducción, Repelón	45
Figura 4.	Dársena superior, Repelón	45
Figura 5.	Canal superior, Repelón	46
Figura 6.	Dársena inferior, Repelón	47
Figura 7.	Canal inferior, Repelón	47
Figura 8.	Ubicación general del Distrito de riego de Repelón y embalse El Guájaro y estaciones de muestreo	61
Figura 9.	Estructura química de algunos plaguicidas organoclorados	76
Figura 10.	Estructura química de algunos plaguicidas organofosforados	77
Figura 11.	Movilidad de metales pesados en suelos	81
Figura 12.	Dinámica de metales pesados en los ecosistemas	83

Figura 13. Distribución del Pb en suelos agrícolas del distrito de Riego de Repelón	90
Figura 14. Distribución del Zn en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	91
Figura 15. Distribución del Hg en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	92
Figura 16. Distribución del Cr en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	93
Figura 17. Distribución del Ni en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	94
Figura 18. Distribución del Cd en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	95
Figura 19. Factor de Contaminación del Pb en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	98
Figura 20. Factor de Contaminación del Cd en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	99
Figura 21. Factor de Contaminación del Cr en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	100

Figura 22. Factor de Contaminación del Hg en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	101
Figura 23. Factor de Contaminación del Ni en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	102
Figura 24. Factor de Contaminación del Zn en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	103
Figura 25. Índice de carga de contaminación de suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	105
Figura 26. Grado de contaminación de suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	106
Figura 27. Índice de geoacumulación del Pb en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	108
Figura 28. Índice de geoacumulación del Cd en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	109
Figura 29. Índice de geoacumulación del Cr en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	110
Figura 30. Índice de geoacumulación del Hg en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	111

Figura 31. Índice de geoacumulación del Ni en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón	112
Figura 32. Índice de geoacumulación del Zn en suelos agrícolas en el Distrito de Riego de Repelón	113
Figura 33. Distribución del Pb en el embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre	127
Figura 34. Valores del Pb en agua vs. valores de referencia según las normas	128
Figura 35. Distribución del Cd en el embalse el Guájaro durante la campaña de diciembre	129
Figura 36. Valores del Cd en agua vs. valores de referencia según las normas	130
Figura 37. Distribución del Hg en el embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre	131
Figura 38. Valores del Hg en agua vs. valores de referencia según las normas	132
Figura 39. Niveles del Hg en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre	146

Figura 40. Niveles del Hg en los sedimentos del embalse El Guájaro vs. valores de referencia según la NOAA e CEQG	147
Figura 41. Niveles del Pb en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre	148
Figura 42. Niveles del Pb en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro vs. valores de referencia según la NOAA e CEQG	149
Figura 43. Niveles del Cd en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre	150
Figura 44. Niveles del Cd en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro vs. valores de referencia según la NOAA e CEQG	151
Figura 45. Niveles del Cr en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre	152
Figura 46. Niveles del Cr en los sedimentos del embalse El Guájaro vs. valores de referencia según la NOAA e CEQG	153

Figura 47. Niveles del Ni en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre	154
Figura 48. Niveles del Ni en los sedimentos del embalse El Guájaro vs. valores de referencia según la NOAA e CEQG	155
Figura 49. Niveles del Zn en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre	156
Figura 50. Niveles del Zn en los sedimentos del embalse El Guájaro vs. valores de referencia según la NOAA e CEQG	157
Figura 51. Factor de contaminación del Pb en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre	160
Figura 52. Factor de contaminación del Cd en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre	161



Figura 53. Factor de contaminación del Cr en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre	162
Figura 54. Factor de contaminación del Hg en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre	163
Figura 55. Factor de contaminación del Ni en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre	164
Figura 56. Factor de contaminación del Zn en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre	165
Figura 57. Índice de carga de contaminación en los sedimentos del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre	167
Figura 58. Grado de contaminación en los sedimentos del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre	168

Figura 59. Índice de geoacumulación del Pb en los sedimentos del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre	170
Figura 60. Índice de geoacumulación del Hg en los sedimentos del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre	171
Figura 61. Índice de geoacumulación del Zn en los sedimentos del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre	172
Figura 62. Índice de geoacumulación del Cr en los sedimentos del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre	173
Figura 63. Índice de geoacumulación del Ni en los sedimentos del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre	174
Figura 64. Índice de geoacumulación del Cd en los sedimentos del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre	175

## PRESENTACIÓN

El municipio de Repelón es reconocido como la despensa agrícola del sur del Atlántico y el distrito de riego de Repelón ha formado parte de la actividad agrícola comercial del departamento. La aplicación de insumos químicos (fertilizantes y pesticidas) y la mecanización para el arado de la tierra son actividades comunes para incrementar los rendimientos de producción. No obstante, estas actividades antrópicas generan contaminación ambiental. Sumado a estas prácticas, la ganadería, la explotación de canteras y el desarrollo urbanístico, hacen parte de los problemas ambientales. Por lo tanto, es importante realizar monitoreos frecuentes de plaguicidas y metales pesados ya que la presencia de estas sustancias tóxicas puede afectar los organismos que forman parte del ecosistema e introducirse en la cadena trófica causando impactos negativos en el ambiente y la salud humana.

El punto de partida temático del presente libro de investigación, permite contextualizar a los lectores en relación con antecedentes y la problemática de orden ambiental y sus factores asociados a nivel agrícola, minero, social y económico para el caso del municipio de Repelón ubicado en el Sur del Atlántico, y específicamente en lo referente al embalse El Guájaro y el Distrito de Riego de Repelón.

## INTRODUCCIÓN

Los procesos que se derivan principalmente de las actividades antropogénicas generan diversos tipos de sustancias en concentraciones o niveles tales que se convierten en contaminantes en los diferentes compartimientos del ambiente. Entre algunos de estos contaminantes se destacan los plaguicidas y metales pesados, por su capacidad de transportarse a través de diferentes medios, encontrándose en los suelos, sedimentos y aguas. Los plaguicidas y metales pesados son altamente persistentes en el medio ambiente y por su toxicidad representan riesgo ecológico y para la salud humana (bioacumulación y biomagnificación en la cadena trófica).

En Colombia, se han realizado algunos estudios para determinar la calidad ambiental de diferentes ecosistemas de interés regional. Así mismo, se han evaluado diferentes alimentos debido a que la contaminación con estas sustancias tóxicas representa un riesgo en la

seguridad alimentaria. Particularmente, el distrito de riego de Repelón y el embalse El Guájaro como fuente de abastecimiento, desempeñan un importante rol a nivel ambiental y socioeconómico en el sur del departamento del Atlántico, ya que a partir de estos se desarrollan actividades de pesca, acuicultura y agricultura.

### Antecedentes y Problemática

En la actualidad, diversos son los problemas ambientales a los que se enfrentan los ecosistemas por procesos naturales (e.g. meteorización de las rocas, erosión de los suelos, entre otros) o por acción antropogénica (e.g. la industrialización, la urbanización, el vertimiento de desechos y contaminantes, la deforestación de las zonas rurales, entre otros). A través de dichos procesos, se introducen a los ecosistemas compuestos de origen inorgánico, alterando la calidad de los suelos y aguas. En este sentido, los metales pesados y plaguicidas son los constituyentes inorgánicos que se encuentran con mayor frecuencia y en mayores proporciones en los ecosistemas (Emoyan, Ogban y Akarah, 2006). La contaminación por metales pesados y plaguicidas es uno de los problemas ambientales más alarmante y que requiere de su cuantificación, caracterización y análisis, principalmente por su toxicidad y persistencia, así como también por su bioacumulación

y biomagnificación en la cadena trófica (Papa-  
giannis, Kagalou, Leonardos, Petridis y Kal-  
fakakou, 2004)

Particularmente, en la agricultura, las malas prácticas en el manejo y aplicación de sustancias químicas para el control de plagas y enfermedades han resultado en la acumulación de residuos tóxicos en diferentes matrices: suelo, sedimento y agua, al igual que en los forrajes y alimentos (García-Gutiérrez y Rodríguez-Meza, 2012; Sharma, Kaushik y Kaushik, 2013). En tal sentido, Alloway (2013), afirma que los fertilizantes y plaguicidas han contribuido a incrementar las concentraciones de metales pesados. Los fertilizantes fosforados aportan Zn, As, Cd y Pb. Algunos plaguicidas contribuyen con As, Pb, Hg, Cu y Zn o fungicidas a base de Cu. De igual manera, en los estiércoles también pueden estar presentes los metales pesados Zn y Cu provenientes de la dieta del animal. Por otra parte, los productos de limpieza para desinfectar la maquinaria agrícola son fuentes de contaminación por metales pesados (White, 2006).

El Centro Internacional de Agricultura Orgánica, la Corporación para la Conservación del Medio Ambiente y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-Minagricultura (1998) señalaron que el control de insectos, plagas y vertebrados, así como la fertilización son unos de los temas más controvertidos dentro de la

producción agropecuaria, y al mismo tiempo, es hacia donde se dirige la mayor concentración de recursos y esfuerzos. La historia de los procesos de investigación sobre plaguicidas y fertilizantes ha demostrado su contribución a la solución de problemas, a nivel de incremento en la producción de alimentos (Bonilla, Peinado, Urdaneta y Carrascal, 2000). No obstante, su uso desprogramado e irracional ha originado efectos adversos para el medio ambiente y la salud pública.

La actividad agrícola tradicional y el cambio en el uso del suelo a nivel mundial se han caracterizado por el manejo intensivo de la tierra que incluye la implementación de prácticas químicas para satisfacer los requerimientos fisicoquímicos del cultivo, como consecuencia transforman las condiciones edáficas naturales (Jamioy, 2011; Jaurixje, Torres, Mendoza, Henríquez y Contreras, 2013). La generalización de un modelo de agricultura química que recurre al uso de productos sintéticos como fertilizantes y plaguicidas, constituye una fuente importante de entrada de contaminantes en el sistema edáfico (Rueda, Rodríguez y Madriñán, 2011). Teniendo en cuenta que el deterioro del suelo se manifiesta en problemas físicos, químicos y biológicos (Jaurixje et al., 2013), la solubilidad y degradación de los metales pesados es afectada ya que el suelo no presenta características para la transformación de estos compuestos.



Los plaguicidas y metales pesados por medio de volatilización pueden llegar a la atmósfera; en el suelo pueden ser movilizados a través de procesos de infiltración y escorrentía a las aguas superficiales o subterráneas (García y Dorronsoro, 2005), contaminando otras matrices como aguas y sedimentos. Estos elementos se acumulan en los sedimentos superficiales, y guardan una estrecha relación con el tamaño de las partículas que constituyen el sedimento (limo, arcilla y arena) y con la cantidad de materia orgánica sedimentaria, alterando el equilibrio ecológico y biogeoquímico del ecosistema (Acosta, Lodeiros, Senior y Martínez, 2002). Así mismo, una práctica común es el riego de tierras con aguas recicladas. Es frecuente el vertimiento luego de su utilización al mismo cuerpo de agua del cual se ha realizado la captación, lugar donde además se descargan aguas residuales municipales e industriales o por escorrentía (Ruvalcaba, Estrada, López, Vázquez y Sánchez, 2016).

Por su posición geográfica, Colombia presenta condiciones climatológicas muy variadas lo cual le permite tener una amplia diversidad biológica y una alta productividad. Sin embargo, estas características han sido modificadas por las diferentes actividades antropogénicas y por la alta tasa de explotación de los recursos, lo que conllevó a que en el país se acudiera a la utilización en la producción agrícola de productos derivados de la síntesis química, ocu-

pando así el tercer puesto en América Latina en el consumo de plaguicidas y fertilizantes inorgánicos después de Brasil y México (Jaramillo, Bermúdez y Tirado-Ballestas, 2016). La agroindustria nacional constituye el 40% de la fuerza laboral y representa el 50% de las divisas nacionales (Bruinsma, 2003).

En el norte de Colombia, el municipio de Repelón, departamento del Atlántico, fue conocido como la despensa agrícola del departamento del Atlántico durante los años 80 debido a la construcción de infraestructuras importantes como distritos de riego y vías. Actualmente, posee una alta vocación agrícola. La pesca artesanal y la acuicultura en el embalse El Guájaro y la minería representan otras actividades económicas. Adicionalmente, el municipio hace parte del distrito minero de Calamarí, la explotación de calizas y otros materiales para la construcción como arena y grava, que provienen de seis canteras (algunas ilegales), lo cual incide en el análisis de la problemática objeto de estudio (Alcaldía de Repelón, 2016).

Estas actividades económicas han impactado ambientalmente a los suelos agrícolas del Sur del Atlántico y al embalse El Guájaro. La minería que se desarrolla en canteras cercanas al cuerpo de agua. Las prácticas agrícolas inadecuadas, con el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas, y la pesca ilegal utilizando dinamita, son fuentes de contaminantes como

metales pesados y plaguicidas (Alcaldía de Repelón, 2017). Por lo tanto, estos ecosistemas se encuentran en riesgo ecológico y los habitantes que dependen de estos recursos para su subsistencia ponen en riesgo su salud y sus ingresos económicos.

Por otra parte, se han presentado diferentes problemáticas administrativas y operativas en el distrito de riego de Repelón. Aunque la Secretaría de Desarrollo Departamental del municipio de Repelón durante los últimos años ha desarrollado obras para la rehabilitación del distrito, la situación es crítica. El servicio de riego es irregular e ineficiente. Este problema es debido a factores como la cultura del no pago por parte de los usuarios y el bajo nivel de agua del embalse El Guájaro en la época de sequía (Alcaldía de Repelón, 2016). En junio de 2016 se reportó el funcionamiento del canal inferior con una capacidad reducida, con el agravante de que en su recorrido este canal surte de agua al acueducto de Repelón (Contexto ganadero, 2016). Adicionalmente, a partir del análisis de la infraestructura del distrito, se requiere la adecuación y recuperación de los canales de riego y drenaje, optimizar las bombas de impulsión y revisar el sistema eléctrico (Granados, 2012). Teniendo en cuenta esta problemática, la agricultura a gran escala es incapaz de desarrollarse en condiciones óptimas.

### Justificación

El Atlántico es el departamento colombiano más pequeño del Caribe Continental, caracterizado por tener suelos planos y ondulados con una zona cenagosa e inundable hacia el sur donde se encuentra el embalse El Guájaro. La fertilidad del Departamento varía de moderada a baja y el déficit de humedad durante gran parte del año no permite que se desarrolle una amplia actividad agropecuaria o que el sector aporte significativamente a la economía del Departamento. De hecho, en el Atlántico se realiza el 60% de las importaciones de productos agropecuarios de la región Caribe (Bonet, 1999). En los municipios del sur del departamento se desarrollan diversos cultivos dentro de los cuales encontramos: maíz, sorgo, tomate, pastos, yuca, millo, plátano, guayaba, papaya y mango.

Para el sostenimiento de la producción agrícola, los municipios del sur del Atlántico cuentan con un sistema de distritos de riego. Este sistema funciona de manera particular para cada municipio. Por su parte, el municipio de Repelón cuenta con un sistema de riego que capta el agua del embalse El Guájaro y lo transporta a los cultivos por medio de gravedad. Las aguas de drenaje son vertidas de nuevo al embalse El Guájaro. El distrito de riego está conformado por un canal de captación y dos canales, uno superior de unos 15 km de longitud y un canal

inferior con una extensión de 12 km El distrito de riego de Repelón cubre 4.200 ha, beneficiando a más de 400 usuarios (Alcaldía de Repelón, 2012). Sin embargo, las malas prácticas agrícolas son muy comunes, entre las cuales se encuentran el uso indiscriminado de plaguicidas y fertilizantes en la producción agrícola, y el mal manejo de los sistemas de riego (Alcaldía de Repelón, 2017).

Los plaguicidas comprenden un conjunto de insecticidas, bactericidas, nematicidas, herbicidas, fungicidas y algunas otras sustancias de origen natural o sintético utilizadas para combatir, repeler y/o prevenir organismos indeseados (plantas o animales) durante la producción agrícola (Gilden, Huffling y Sattler, 2010). Estos plaguicidas son útiles en la actividad agrícola, ya que controlan plagas que causan enfermedades y destruyen organismos que dañan a la producción agrícola (Martínez-Mera, Valencia y Cuevas, 2016).

No obstante, en el sector agropecuario los productos sintéticos y naturales como guano y compost, contienen metales pesados y debido al mal manejo actúan como fuentes de contaminación (Martí, Burba y Cavagnaro, 2002). De igual manera, entre otras prácticas agrícolas inadecuadas se han reportado las aguas residuales utilizadas para riego, las cuales también son fuente de metales pesados (Acosta et al., 2012).

Los metales naturalmente están presentes en pequeñas cantidades o trazas en la corteza terrestre, suelos y plantas, muchos de ellos, son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, animales y el ser humano. El origen geodisponible de estos metales se presenta desde la roca madre hasta los suelos tras ser liberados por meteorización. A diferencia de lo anterior, cuando estos metales se encuentran en grandes cantidades son un indicador de actividades antropogénicas, ya sean de residuos peligrosos, derivados de actividades industriales, minerías, agricultura, entre otras (Galán y Romero, 2008). Sin embargo, la degradación de los plaguicidas generalmente ocurre gracias a diversos factores. Entre estos factores se incluyen la descomposición por hidrólisis química, la degradación por microorganismos, la humedad, el *pH* del suelo y el contenido de materia orgánica (Smith y Walker, 1989). El estudio de los mecanismos de degradación de los plaguicidas y metales pesados en la naturaleza son de vital importancia, debido a que se ha descubierto que algunos de ellos pueden bioacumularse en las cadenas tróficas, y pueden persistir en el ambiente durante periodos de tiempo prolongados (Ferrer, 2003).

Los plaguicidas y metales pesados representan un peligro potencial para los seres humanos, animales, plantas y para el ambiente en general (Ferrer, 2003). La exposición a estos contaminantes productos de la migración por dife-

rentes vías, está asociada a un creciente número de efectos crónicos en la salud humana por el uso de los recursos. La entrada de plaguicidas al agua procedentes de tierras agrícolas está regulada por factores que controlan el destino de dichos contaminantes en el suelo. Estos pueden verse afectados por otros factores como la volatilización del compuesto, además de transformaciones sufridas por procesos químicos, biológicos o fotoquímicos (Flores-Céspedes, González-Pradas, Fernández-Pérez, Villafranca-Sánchez, Socías-Viciano y Ureña-Amate, 2002).

Debido al uso de plaguicidas y fertilizantes, la poca implementación de buenas prácticas agrícolas y el mal manejo del recurso hídrico, se hace imperativo la realización de investigaciones enfocadas a estimar el comportamiento (distribución y concentración) de plaguicidas y metales pesados en el departamento del Atlántico; por tanto, la presente investigación se convierte en una línea base para la identificación del riesgo en el que se encuentran expuestos los suelos, las aguas y las comunidades bióticas. De esta manera, su valor agregado se orienta a conocer la salud ambiental del ecosistema, conocer el riesgo de las comunidades que dependen de estos recursos y proponer estrategias que promuevan prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente.

### EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN: HISTORIA Y FUNCIONAMIENTO

El presente apartado recopila una breve reseña histórica que permite contextualizar los orígenes, modificaciones y factores asociados con la evolución y el estado actual del Distrito de Riego de Repelón, así como las características y condiciones actuales de su funcionamiento y operación.

#### Creación del Distrito de Riego de Repelón

Durante los años de 1963-1976 el INCORA (Instituto Colombiano de la Reforma Agraria) construyó 14 distritos de adecuación de tierras. En el proyecto, el distrito de riego fue denominado “Atlántico No. 3”. Originalmente, el diseño estaba orientado para el riego de cultivos localizados (World Bank, 1967). Originalmente, el diseño estaba orientado para el riego de cultivos localizados en el triángulo formado por el río Magdalena, el Canal del Dique y la línea imaginaria entre las poblaciones de Repelón y Puerto Giraldo. Con un préstamo inicial de US\$9 millones por parte del



Banco Mundial, se inició la financiación de la construcción de sistemas de riego y drenaje. Para la construcción del Distrito, se desecó el sistema de ciénagas dependientes del río Magdalena y se limitó con diques de tierra las áreas del perímetro del proyecto. Particularmente, el sector de Repe-lón, ubicado al oeste del embalse El Guájaro con-taba con un área de 4.200 ha de las cuales 3.750 ha se consideraban regables. El proyecto incluyó obras para el control de inundaciones, riego y drenaje, carreteras, estaciones de bombeo (Cor-poración Regional Autónoma del Atlántico-CRA, 2013).

A nivel administrativo por parte del estado se han presentado cambios. En 1976 surge una re-organización institucional en el sector público. De las responsabilidades del INCORA correspon-dientes a la adecuación de tierras, estas fueron eliminadas y se creó el Instituto de Hidrología Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT) para que asumiera dichas funciones. Esta entidad comenzó la transferencia de la administración de los distritos a las asociaciones de usuarios (AU). En el año 1993, se promovió la participación del sector privado en los proyectos de adecuación de tierras. Posteriormente, en este mismo año, des-aparece el HIMAT y se crea el Instituto Nacional de Adecuación de Tierras (INAT), asumiendo este instituto las funciones relacionadas con los dis-tritos. Diez años después, en 2003, se suprimió el INAT, transfiriéndole al Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER) las funciones y obli-gaciones de los distritos de adecuación de tierras,

y en 2007, se crea la Unidad Nacional de Tierras Rurales (UNAT) (Food y Agriculture Organization of the United Nations-FAO, 2006).

La problemática de la temporada invernal en los años 1984 y 2010-2011 ocasionaron inundaciones catastróficas en el municipio. En el año 2011 con el rompimiento del Canal del Dique, el distrito de riego sufrió daños severos en la infraestructura electromecánica y la obra civil de los principales canales de riego, reduciendo la prestación del servicio a un 35% de su capacidad (Alcaldía de Repelón, 2012). El uso del Distrito de Riego de Repelón proyectado originalmente ha cambiado. Actualmente, se utiliza para riego de cultivos, estaciones acuícolas y abastecimiento de agua potable.

### Funcionamiento y operación

El embalse El Guájaro fue formado al modificarse una gran área del plano inundable de la cuenca del río Magdalena, por medio de la construcción de un terraplén de 11 km de longitud en los cauces de pequeñas ciénagas (Molina-Larrahondo, 1992). Concretamente, su origen se remonta a la unión artificial de la fusión de tres ciénagas: La Ciénaga de La Peña en la parte norte, la Ciénaga del Medio en su parte media y la Ciénaga del Guájaro en su extremo sur (CRA, 2007). Esta unión se desarrolló entre los años 1964 y 1965, a través de una obra hidráulica realizada por el INCORA, con el fin de disponer de distritos de riego que permitieran incrementar la capacidad productiva de la región

sur del Atlántico. Sin embargo, la mayoría de los canales de riego implementados se han ido colmatando por la falta de mantenimiento, por lo que actualmente el uso del embalse se centró en la pesca artesanal de los habitantes circundantes (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales-ANLA, 2015).

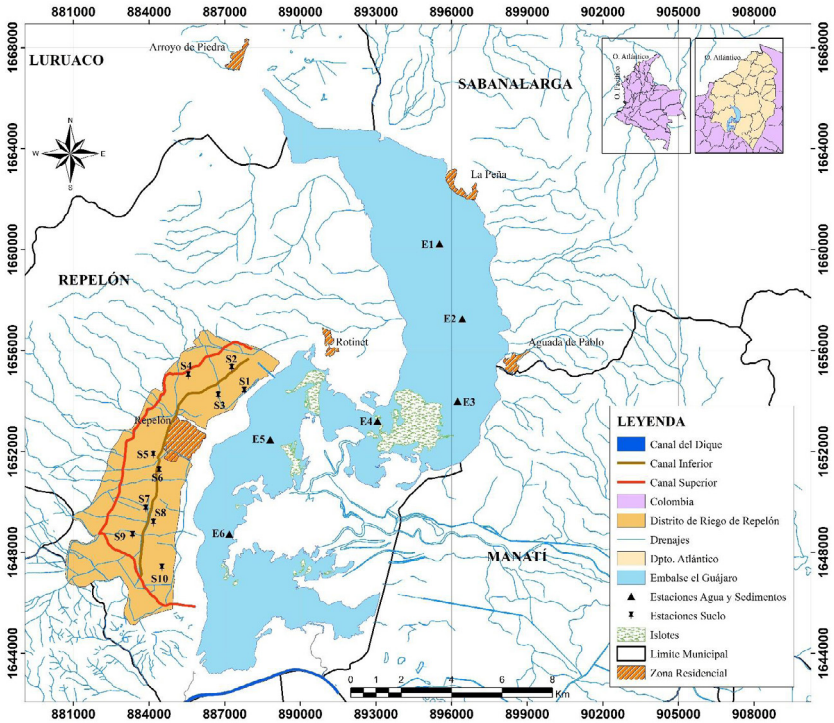


Figura 1. Red de Drenaje del embalse el Guájaro, Atlántico.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

El embalse El Guájaro (Figura 1), ubicado en la parte sur occidental del departamento del Atlántico, sobre la margen derecha del Canal del Dique, proporciona agua para el Distrito de Riego mediante un canal de aducción (Figura 3) hasta la estación de bombas (Figura 2) localizada en Repelón, es operada actualmente por la Corporación Regional Autónoma del Atlántico (CRA) y tiene una capacidad de 5 m<sup>3</sup>/s. Las aguas de drenaje son descargadas al embalse (Alcaldía de Repelón, 2012).



Figura 2. Casa de bombas, Repelón.



Figura 3. Canal de aducción, Repelón.



Figura 4. Dársena superior, Repelón.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

El Distrito de Riego de Repelón tiene una extensión de 4.200 ha, de las cuales 3.750 ha son aprovechables y están destinadas para áreas de riego y drenaje. El sistema consta de una estación de bombeo la cual eleva agua a dos dársenas (Figura 4 y 6), de aquí se derivan los dos canales de distribución, los cuales proveen riego por aspersión y gravedad. El canal superior (Figura 5) alimenta trece casetas de bombeo para el riego por aspersión de 1.250 ha y 1.000 ha irrigadas por gravedad. El canal inferior (Figura 7) suministra agua por gravedad a 1.500 ha. Con este sistema de riego se benefician aproximadamente 360 usuarios (Alcaldía de Repelón, 2016). Por otra parte, alrededor del embalse El Guájaro se desarrollan diferentes actividades socioeconómicas, las cuales se describen en la Tabla 1.



Figura 5. Canal superior, Repelón.



Figura 6. Dársena inferior, Repelón.



Figura 7. Canal inferior, Repelón.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

**Tabla 1.**  
*Usuarios con concesión y permiso de vertimientos en El Guájaro*

Nombre Usuario	Fuente	Municipio
Zoocriadero C.I. Exótika Leather S.A. (Antes C.I. Zoobem S.A.)	Embalse El Guájaro	Luruaco
Granja Piscícola España	Embalse El Guájaro	Luruaco
Canteras de Colombia S.A.S (Finca Acuícola España) <sup>1</sup>	Embalse El Guájaro	Luruaco
Hacienda Rancho Grande <sup>1</sup>	Embalse El Guájaro	Luruaco
Hacienda Loma Grande <sup>1</sup>	Embalse El Guájaro - Arroyo temporal Salto del Burro	Repelón
Agregados del Atlántico (Transportes, Agregados y Maquinaria Ltda., Cantera Mana) <sup>1</sup>	Embalse El Guájaro	Repelón
Zoocriadero Zooagro	Embalse El Guájaro	Repelón
Agrozoocria	Embalse El Guájaro	Repelón
Empresa de Acueducto y Alcantarillado-Repelón	Embalse El Guájaro	Repelón
Agropecuaria Mogut	Embalse El Guájaro	Sabanalarga
Distrito de Riego Repelón-INCODER <sup>1</sup>	Embalse El Guájaro	Repelón
Acueducto Comunitario de Rotinet <sup>1</sup>	Embalse El Guájaro	Repelón
Jireh Camaronera Ltda <sup>1</sup>	Embalse El Guájaro	Luruaco
Agropecuaria el Silencio	Embalse El Guájaro	Sabanalarga
Acuacultivo y zoocrías el Guájaro S.A.	Embalse El Guájaro	Sabanalarga
Beraka	Embalse El Guájaro	Repelón
Naupilus Agroindustria S.A.	Embalse El Guájaro	Sabanalarga
Ceprodeca	Embalse El Guájaro	Manatí
Industrias Biológicas del Guájaro Ltda.	Embalse El Guájaro	Repelón
Orlando Sepúlveda	Embalse El Guájaro	Repelón
Acuacultivos los Gallitos	Embalse El Guájaro	Repelón
Soluciones San Martin	Embalse El Guájaro	Repelón

Fuente: CRA (2014a).

<sup>1</sup> Usuario con concesión, pero no vertido



El distrito de riego cuenta con estructuras para la protección de inundaciones: la presa de tierra de Polonia (al oeste de 5 km de longitud) construida entre 1964-1965 separando el Distrito del embalse El Guájaro; la presa de tierra de Villa Rosa (5,5 km de longitud) separa el embalse El Guájaro del Canal del Dique; la carretera oriental (al este de 28 km de longitud) separa el distrito del río Magdalena, y el dique carretable de Calamar (al sur con el corregimiento de Compuertas de 25 km de longitud) separa el distrito del Canal del Dique (Alcaldía de Repelón, [2012](#)).

### ENTORNO FÍSICO DEL DISTRITO DE RIEGO DE REPELÓN

La caracterización del entorno físico del Distrito de Riego de Repelón, toma como punto de partida una descripción de la zona de estudio y posteriormente se analizan las condiciones hidrometeorológicas de la zona relacionadas con la temperatura, precipitación, balance hídrico, características generales de los suelos, vegetación predominante y las características del embalse El Guájaro.

#### Descripción de la zona de estudio

El municipio de Repelón cuenta con una extensión total de  $360,34 \text{ km}^2$ , donde el área urbana se extiende en unos  $190,84 \text{ km}^2$  y el área rural en unos  $169,5 \text{ km}^2$ . La altitud de la cabecera municipal se encuentra a 9 msnm (Alcaldía de Repelón, 2017). El distrito de riego de Repelón se ubica al occidente del embalse El Guájaro. Limita al Norte con el municipio de Sabanalarga, al Sur con el municipio de Santa lucia y el Canal del Dique que lo separa del municipio de San Cristóbal en el

departamento de Bolívar, al oriente con el municipio de Campo la Cruz y Candelaria. El embalse El Guájaró se considera una ecorregión estratégica, situada al norte de Colombia, en las coordenadas  $10^{\circ} 35' N$  y  $75^{\circ} 3' W$ , a pocos kilómetros del mar del Caribe. Este cuerpo de agua tiene una extensión de 16.000 ha, un volumen de 400 millones  $m^3$  y un volumen útil de 230 millones  $m^3$  (CRA, 2007).

## Hidro-meteorología de la zona

Las condiciones hidrometeorológicas corresponden al conjunto de condiciones atmosféricas predominantes en la región y se suele interpretar en términos estacionales.

### Temperatura

Las mayores temperaturas reportadas en el departamento del Atlántico se encuentran entre  $28^{\circ}C$  y  $32^{\circ}C$ , las cuales son altas en contraste con el resto de la región Caribe donde la temperatura oscila entre los  $24^{\circ}C$  y  $28^{\circ}C$ . El comportamiento estacional de la temperatura en el departamento es muy regular a lo largo del año debido a la proximidad del mar Caribe, con variaciones del orden de  $1,5^{\circ}C$ . Los meses más cálidos en el litoral central son mayo, junio, julio y agosto, mientras que a principios y finales de año la temperatura del aire es ligeramente menor debido a la influencia de los vientos Alisios (CRA, 2007).

### Precipitación

En general, la región Caribe registra lluvias entre 500 y 2000 *mm* con un gradiente bien definido hacia el sur, presentando en general un régimen bimodal. En el departamento del Atlántico se registran las menores frecuencias en el número de días con lluvia, cerca de 50 al año en algunos lugares del litoral del departamento. El período que registra menor cantidad de eventos lluviosos en el Caribe corresponde entre los meses de diciembre y abril. Los períodos con mayor cantidad de días con lluvia son los meses de mayo y junio durante el primer semestre y entre agosto y noviembre durante el segundo, con un máximo en el mes de octubre (CRA, 2007).

### Balance hídrico

De acuerdo con el estudio de los Índices del Uso del Agua (IUA) realizado por la (CRA, 2013), para el departamento del Atlántico se registra un Índice de Regulación Hídrica (IRH) muy bajo ( $<0,5$ ), lo cual es indicador de una baja capacidad de retención y regulación de la humedad. Esto no cambia para el caso particular de la cuenca del embalse El Guájaro en el cual el índice está entre 0,15 y 0,18. Las condiciones climatológicas en general contribuyen significativamente, pues al conjugar la precipitación, con la evapotranspiración (potencial y real) en el Índice de

aridez (Ia), los resultados indican condiciones extendidas de aridez gran parte del año, con valores alrededor de 0,8 en diciembre y 0,9 de enero a marzo. Valores intermedios se presentan el resto del año con los niveles más bajos durante la temporada lluviosa de agosto a octubre (0,2) por lo que se considera que en verano las precipitaciones son insuficientes para el sostenimiento de los ecosistemas.

## Características generales de los suelos

El municipio de Repelón cuenta con una configuración geomorfológica de llanuras, estribaciones montañosas y cenagosas. En la configuración del suelo han intervenido los eventos tectónicos, además de los factores extensos de procesos morfodinámicos responsables del sistema morfológico. Repelón se ubica en los depósitos cuaternarios que ocupan áreas de relieve plano (Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC, 2008). El 50% del costado occidental del municipio de Repelón presenta suelos formados a partir de materiales sedimentarios arcillosos, de baja evolución, superficiales, bien drenados, de fertilidad baja a moderada y susceptibles a la erosión (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR, 2006). Estos niveles de fertilidad en el suelo se encuentran relacionados con a la composición química de los constituyentes orgánicos e inorgánicos presentes en el medio edáfico.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

**Tabla 2.**  
*Caracterización fisicoquímica y clasificación de suelos del Distrito de Riego de Repelón.*

Suelo	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
<b>Topografía</b>	Planicies, con partes profundas.	Moderado a fuertemente inclinados, profundos erosión ligera.	Topografía quebrada	Moderadamente inclinada, quebrada con erosión moderada.
<b>Drenaje</b>	Moderado	Moderado-Bueno	Bien drenado	Moderado a excesivo
<b>Nitrógeno</b>	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre
<b>Fosforo</b>	Alto	Alto	Regular	Regular
<b>Potasio</b>	Alto	Alto	Alto	Alto
<b>Salinidad</b>	Media	Media	Media	Media
<b>pH</b>	Neutro	Alcalinos	Ligeramente alcalinos	Ligeramente alcalino - ácido
<b>Cultivos</b>	Tabaco, frijol, maíz.	Pastos	Pastos	Pastos
<b>Observaciones</b>	Mejorar los drenajes para evitar salinidad en raíces.	Suelos cercanos a la cabecera. Texturas pesadas.	Suelos ubicados en partes altas del municipio.	No hay aptitud agrícola por alta permeabilidad se recomienda cultivos de pasto o potreros.

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2008) clasificó los suelos de acuerdo con su textura como: franco arcillo arenosa y franco arcillo limosa a una profundidad de 30 cm, estos suelos pertenecen al orden inceptisoles, subgrupos Fluventic Haplustepts y Typic Haplustepts, respectivamente. En la Tabla 2, se describe la clasificación de tierras según su capacidad de uso lo cual se basa en su productividad, cualidad de labores y cualidad de conservación.

## Vegetación predominante

El municipio en su geografía posee dos zonas diferenciadas: una plana y cenagosa y otra de algunas elevaciones. Teniendo en cuenta que la precipitación promedio es baja y la mayoría de los meses son secos, el bioma se clasifica como Zonobioma Tropical Alternohigrico (ZT-A), ocupando el 30% (146 ha) del área departamental (Alcaldía de Repelón, 2016). Todas las tierras están en el piso térmico cálido. La flora se caracteriza en vegetación xerófila (Alcaldía de Repelón, 2012).

En el paisaje de llanura o planicie, se presentan varios tipos de ecosistemas como matorral, potrero arbolado y potrero no arbolado. La vegetación es variada, principalmente se encuentra guayacán, guayacán extranjero, roble, bonga, ceiba, ceiba blanca, ceiba de leche, guásimo, acacia, totumo, aromo, olla de mono, amajorú, gua-

camayo, banco, jobo, alumbre, guamacho, roble, indio encuero, quebracho, tabardillo, pringamosa, aroma, trupillo, carito, totumo, dormidera, escobilla, cardón, cactus de arepa, naranjuelo, piñuela, cadillo, bledo, chiracó, swinglea o limoncillo, diferentes especies de palmeras y neem. Frutales como guayaba, níspero, limón, guanábana, coco, mango y pitahaya (Alcaldía de Repelón, 2012).

En la vegetación acuática y de humedal hay presencia de especies como taruya pipona, orejera, salvinia, lechuga de agua, cortadera, bajagua, bejuco de agua, enea, cara de mulo, tapabotija, junquillo, batatilla, llantén de estero, hoja de buitres y hierba de sapo (Alcaldía de Repelón, 2012).

### Características del embalse El Guájaro

La Corporación Autónoma Regional del Atlántico ha venido realizando desde el año 2006 monitoreos de calidad de agua en el embalse El Guájaro, ya que ha reconocido la importancia de este embalse a nivel ecológico, económico y social (CRA, 2007).

En general, los valores promedio de oxígeno disuelto (OD) reportados se encontraron por encima de 4 mg/L, en todas las épocas y sectores del embalse. Se puede decir que los valores de OD han estado dentro de los rangos normales para estos cuerpos de agua cumpliendo con el



criterio mínimo de calidad para la destinación del recurso en la preservación de la flora y fauna, señalado en el Decreto 3930 (2010).

En cuanto al *pH*, fueron reportados valores alcalinos (>8), especialmente en la parte norte, probablemente influenciados por las condiciones de óxido-reducción que predominan en el sistema debido a la degradación del material orgánico particulado, y la presencia de aguas más carbonatadas hacia el norte debido a la naturaleza del terreno. Para la conductividad, existen reportes donde mencionan los altos valores de conductividad en el Guájaro, atribuyéndolos a los proyectos agrícolas y pesqueros (cultivos de palma africana, maracuyá y camaronas) asentados en su cuenca y a la geoquímica del terreno, que puede ocasionar las altas conductividades en el fondo (~1000  $\mu S/cm$ ). En tanto, de acuerdo con los reportes históricos, las variaciones de sólidos suspendidos totales en el embalse han mostrado una media aproximada de 22,7 mg/L (CRA, 2007).

Así mismo, la geomorfología del embalse corresponde a áreas bajas del río Magdalena cuando este tuvo comunicación con las llanuras marinas, lo que hace que la zona se encuentre cubierta y dominada por sedimentos aluviales recientes (CRA, 2007).

## CAMPAÑAS DE MEDICIÓN Y MUESTREO

Durante el desarrollo del proyecto, se adelantaron diferentes campañas orientadas a la medición y muestreo de los indicadores objeto de estudio, los cuales comprenden el muestreo de suelos en el Distrito de Riego de Repelón, el muestreo de aguas del embalse El Guájaro, el muestreo de sedimentos superficiales del embalse El Guájaro, la medición y análisis de las muestras de suelo, el análisis de las muestras de agua y el análisis de las muestras de sedimentos superficiales.

## Muestreo de suelos en el Distrito de Riego de Repelón

En zonas con historial de producción agrícola se evaluaron plaguicidas organoclorados (POC), plaguicidas organofosforados (POF) (Tabla 10) y metales pesados (Zn, Cd, Cr, Pb, Ni y Hg). A partir de estos criterios, fueron seleccionados 10 sitios distribuidos en el distrito de riego, cuyas coordenadas se relacionan en la Tabla 3. Durante la época de sequía en el mes de junio del 2016, se tomaron muestras de suelo (1 Kg). Estas se recolectaron de acuerdo con los lineamientos de la Norma Técnica Colombiana-NTC 3656 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación-Icontec, 1994a). Para analizar plaguicidas y metales pesados en suelo, se eliminó la cobertura vegetal y se extrajeron muestras de los primeros 30 cm del perfil del suelo. En cada punto de muestreo se tomó una réplica y posteriormente se mezclaron para obtener una muestra compuesta.

Los suelos para análisis de plaguicidas se envolvieron en papel aluminio y se empacaron en bolsas de polietileno de baja densidad (Ziploc®) manteniendo una temperatura de  $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$  con gel pack. Por su parte, las muestras para análisis de metales pesados sólo se empacaron en bolsas de polietileno de baja densidad (Ziploc®). Posteriormente, las muestras fueron transportadas al laboratorio en recipientes de polietileno expandido.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

Tabla 3.  
*Estaciones de muestreo en suelos  
del Distrito de Riego de Repelón.*

Estaciones de muestreo	Coordenadas Geográficas		Coordenadas Manga Sirgas	
	Longitud	Latitud	Este	Norte
S1	-75,101639	10,509972	887888,808	1654212,886
S2	-75,107222	10,519889	887281,176	1655311,983
S3	-75,112106	10,509928	886742,857	1654211,775
S4	-75,122989	10,517156	885554,038	1655015,343
S5	-75,135569	10,488639	884166,172	1651865,154
S6	-75,133444	10,483028	884396,754	1651243,635
S7	-75,138222	10,469369	883868,518	1649734,314
S8	-75,135444	10,464306	884170,819	1649173,179
S9	-75,142972	10,459889	883344,869	1648687,306
S10	-75,132278	10,448222	884511,543	1647392,670

En la figura 8, se ilustra la ubicación del Distrito de Riego de Repelón y el embalse El Guájaro, en conjunto con las actividades identificadas en el área que los circunscribe. Entre estas se encuentran: las zonas residenciales, carteras, cultivos, drenaje, compuertas, captación de aguas y vertidos.

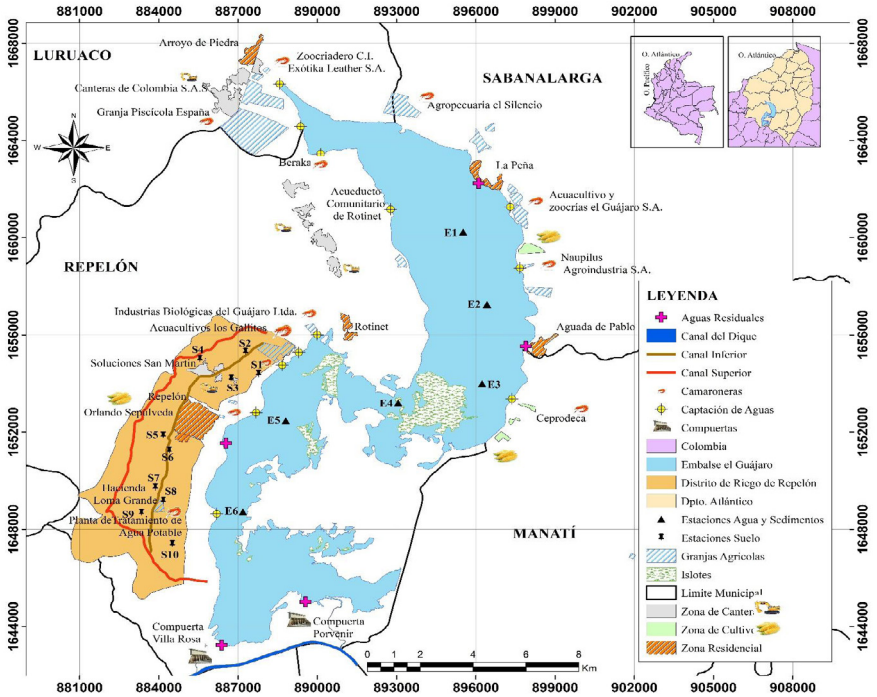


Figura 8. Ubicación general del Distrito de riego de Repelón y embalse El Guájaro y estaciones de muestreo.

## Muestreo de aguas del embalse El Guájaro

Para efectos de realizar la evaluación de la concentración de POF, POC (Tabla 13) y metales pesados (Zn, Cd, Cr, Ni y Hg) en aguas del embalse El Guájaro, inicialmente, en el mes de octubre del 2016, se programó una campaña exploratoria en dos estaciones del embalse (E5 y E6), con el fin de detectar concentraciones de los contaminantes. Posteriormente, durante el mes de diciembre (del mismo año) se realizó una segunda campaña, en la que se evaluaron seis estaciones (E1-E6) (Tabla 4).

**Tabla 4.**  
*Estaciones de muestreo en aguas y sedimentos superficiales del embalse El Guájaro*

Estaciones de Muestreo	Coordenadas Geográficas		Coordenadas Manga Sirgas	
	Longitud	Latitud	Este	Norte
E1	-75,03547	10,56736	895167,632	1660517,564
E2	-75,02714	10,54048	896059,508	1657562,212
E3	-75,02876	10,51097	895867,890	1654298,200
E4	-75,05775	10,50376	892691,624	1653510,343
E5	-75,09659	10,49700	888436,921	1652776,027
E6	-75,11131	10,46307	886812,979	1649027,681

En lo referente a la toma de muestras de metales pesados, se emplearon botellas de plástico de 1L, las cuales se pusieron en contacto con una solución de 10% de ácido nítrico durante 24 horas y enjuagadas con agua deionizada. A las muestras de agua se les adicionó ácido nítrico hasta obtener un *pH* menor a dos, de acuerdo con lo dispuesto en el Instructivo de Muestreo de Agua Residual (TI0187), Instructivo de Muestreo Agua Superficial Contaminada (TI0347) y Instructivo muestras análisis fisicoquímicos aguas superficiales (TI0207) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2004). Todas las muestras, fueron conservadas a aproximadamente  $4 \pm 1^\circ\text{C}$  con gel pack en cavas de polietileno expandido durante el transporte. Se escogieron seis puntos distribuidos en el embalse El Guájaro (Figura 8) cuyas coordenadas se relacionan en la Tabla 4.

### Muestreo de sedimentos superficiales del embalse El Guájaro

Con el objetivo de evaluar la concentración de POF, POC y metales pesados (Zn, Cr, Ni, Pb, Cd, y Hg) en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro, se realizaron 2 muestreos comprendiendo seis estaciones según se indican en la figura 8, cuyas coordenadas se relacionan en la Tabla 4, cubriendo periodo climático húmedo en octubre y diciembre del 2016.

En la toma de muestras, para el análisis de POC y POF se utilizó una draga EKMAN® y botellas de vidrio boca ancha con 1L de capacidad, mientras que para metales se emplearon botellas de polietileno boca ancha con igual capacidad, tratadas con la misma metodología de los recipientes para las muestras de aguas del embalse.

### Análisis de las muestras de suelo

El análisis de plaguicidas se llevó a cabo en los 40 días siguientes a la recolección de la muestra como lo estipula el método 8081 de la Environmental Protection Agency-EPA. Las muestras de plaguicidas fueron analizadas por cromatografía de gases con Detector de Captura Electrónica (CG-ECD, por sus siglas en inglés), utilizando el método EPA 8081B (U.S. EPA, 2007a) y 8141B (U.S. EPA, 2007b) para plaguicidas organoclorados y plaguicidas organofosforados. El límite de detección fue 2  $\mu\text{g}/\text{Kg}$  para plaguicidas organoclorados y 5,0  $\mu\text{g}/\text{Kg}$  para plaguicidas organofosforados.

Las muestras para cuantificación de metales pesados fueron analizadas por espectroscopía de emisión por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS, por sus siglas en inglés) utilizando el equipo Thermo Scientific X-Series 2 Q-ICP-MS. Previo al análisis ICP-MS, se realizó la digestión de las muestras siguiendo el méto-



do EPA 3051A para Zn, Cr, Ni, Pb y Cd (U.S. EPA, 2007c) y el método EPA 7471B para Hg (U.S. EPA, 2007d). Los límites de detección variaron entre los metales (Tabla 11). Todas las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba-Colombia.

## Análisis de las muestras de agua

Los análisis fueron realizados basándose en las siguientes técnicas y métodos. Para la preparación de la muestra: EPA 3535A (U.S. EPA, 2007e), EPA 3550C (U.S. EPA, 2007f). Por otra parte, con el método EPA 1660C (U.S. EPA, 1993) se evaluaron los plaguicidas piretrina y piretroides. Adicionalmente, la muestra para metales pesados en agua se preparó con el método SM 3030E (American Public Health Association-APHA, 2005a) y los métodos SM 3112C (APHA, 2005b), SM 3111 B y SM 3111C (APHA, 2005c) se utilizaron para analizar los metales pesados. El equipo de Absorción atómica con horno de grafito ICE3500 Thermo Scientific fue el utilizado para llevar a cabo la identificación de metales pesados en las muestras de agua, mientras que para el análisis de plaguicidas organoclorados y organofosforados se utilizaron los equipos GC-MS Trace 1310-ISQ Thermo Scientific y UHPLC-DAD ultimate 3000 Thermo-Dionex.

### Análisis de las muestras de sedimentos superficiales

El análisis de metales pesados se realizó mediante las técnicas descritas en los Standard Methods EPA 3535a (U.S. EPA, 2007e), EPA 3550C (U.S. EPA, 2007f) y EPA 1660C (U.S. EPA, 1993) por el método cromatografía de gases usando el equipo GC-MS trace 1310-ISQ Thermo Scientific. Para la detección de clorpirifos y cipermetrina se usó el equipo UHPLC-DAD ultimate 3000 Thermo-ionex. En cuanto al análisis para los metales pesados, se siguieron los procedimientos descritos en los Standard Methods EPA 3051 (U.S. EPA, 2007c), Absorción Atómica utilizando el ICE 3500 Thermo Scientific, DMA 80 Direct Mercury Analyzer y PSA Analytical Millennium System.

## MÉTODOS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se analizaron las concentraciones de Plaguicidas OrganoClorados (POC), Plaguicidas OrganoFosforados (POF) y metales pesados (Zn, Cr, Ni, Pb, Cd, y Hg) en suelos del Distrito de Riego de Repelón y sedimentos superficiales del embalse El Guájaro y se evaluó el grado de contaminación con el Factor de Contaminación (FC), Índice de Carga de Contaminación (ICC), el Grado de Contaminación (GC) y el Índice de geoacumulación (Igeo). Los índices evaluados en este documento han sido aplicados en diferentes estudios a nivel mundial (El-Amier, Elnaggar y El-Alfy, 2017; Loska, Wiechuła y Korus, 2004; Rastegari et al., 2017; Azevedo, Ferracciú y Guimarães, 2003; Wu, Wu y Shao, 2012).

Para efectuar los cálculos de los índices de contaminación por metales pesados, se emplearon como referencia o concentración natural de un elemento con poca o mínima intervención antropogénica, los límites permisibles propuestos por la NOAA (Buchman, 1999). Estos índices permiten una evaluación de la contaminación del suelo mediante la referencia de la concentración del metal y los valores de fondo (Loska et al., 2004).

### Factor de Contaminación (FC)

El Factor de Contaminación determina el nivel de contaminación de un metal (Loska et al., 2004).

El FC se calcula con la ecuación:

$$FC = \frac{C_{metal}}{C_{Valor\ de\ fondo}}$$

Donde:

$C_{metal}$ : Concentración medida del metal.

$C_{Valor\ de\ fondo}$ : Concentración del metal en la corteza.

De acuerdo con el valor del FC, se categoriza el grado de contaminación y se determina su relación con la calidad del suelo o sedimento (Tabla 5) (Hakanson, 1980).

Tabla 5.  
*Categorización del Factor de Contaminación.*

Valores del FC	Grado de contaminación
< 1	Bajo
1 - 3	Moderado
3 - 6	Considerable
≥ 6	Muy alto

Fuente: Hakanson (1980).

## Índice de Carga de Contaminación (ICC)

Evalúa el nivel de contaminación de los metales (Iqbal, Saleem y Shah, 2016). El ICC se calcula con la ecuación:

$$ICC = (FC1 * FC2 * \dots * FCn)^{(1/n)}$$

Donde:

- n: Número de metales.
- FC: Factor de contaminación.

De acuerdo al valor del FC, se categoriza el grado de contaminación y se determina su relación con la calidad del suelo o sedimento (Tabla 6).

Tabla 6.  
Índice de Carga de Contaminación

Valores del ICC	Grado de contaminación
> 1	Contaminado
< 1	No contaminado

Fuente: Iqbal, Saleem y Shah (2016).

## Grado de Contaminación (GC)

Grado de Contaminación representa la suma de todos los factores de contaminación para todos los elementos examinados en de un sitio determinado (Loska et al., 2004).

El GC se calcula con la ecuación:

$$GC = \sum_{i=1}^n FC_i$$

Donde:

- n: Número de metales.
- FC: es la única FC en un punto determinado.

De acuerdo con el valor del GC, se categoriza el grado de contaminación y se determina su relación con la calidad del suelo o sedimento (Tabla 7), (Loska et al., 2004).

Tabla 7.  
Grado de contaminación

Valores del GC	Grado de contaminación
$<n$	Bajo
$n \leq GC < 2n$	Moderado
$2n \leq GC < 4n$	Considerable
$GC > 4n$	Muy alto

Fuente: Loska et al., (2004).

## Índice de Geoacumulación (Igeo)

El Igeo permite determinar la medida en la que se extienden los metales traza en los suelos y sedimentos. Por medio del índice se puede evaluar la contaminación del suelo por metales pesados comparando el contenido de metales pesados en los horizontes O y A, con el fondo geoquímico de los suelos (Loska et al., 2004). El Igeo es el cociente de las concentraciones actuales de suelo y las medidas anteriores a cualquier actividad humana reportadas para dicho suelo, conocidas como nivel de fondo (Bergues, 2011).

El Igeo se calcula con la ecuación:

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1,5 B_n} \right)$$

Donde:

**Cn:** Concentración del elemento químico en el suelo.

**Bn:** Fondo geoquímico de referencia del elemento de acuerdo con su contenido medio mundial.

**Valor 1,5:** Constante que representa las fluctuaciones de una sustancia dada en el ambiente y la influencia antropogénica.

De acuerdo con el valor del  $I_{geo}$  se categoriza el grado de contaminación y se determina su relación con la calidad del suelo o sedimento (Tabla 8), (Müller, 1969).

**Tabla 8.**  
*Clases del Índice de geoacumulación y grado de contaminación*

Valores de $I_{geo}$	Clase de $I_{geo}$	Grado de contaminación
$I_{geo} < 0$	0	Sin contaminación
$0 < I_{geo} < 1$	1	Poco contaminado
$1 < I_{geo} < 2$	2	Medianamente contaminado
$2 < I_{geo} < 3$	3	Altamente contaminado
$3 < I_{geo} < 4$	4	Fuertemente contaminado
$4 < I_{geo} < 5$	5	Muy fuertemente contaminado
$I_{geo} > 5$	6	Extremadamente contaminado

Fuente: Müller (1969).

Finalmente, se compararon con los límites permisibles de acuerdo guías internacionales.



## Distribución espacial de plaguicidas y metales pesados

La distribución espacial de las concentraciones de plaguicidas y metales se determinaron usando un Sistema de Información Geográfica (SIG). Inicialmente, se delimitó el contorno del embalaje El Guájaro, por medio de un polígono en Google Earth® correspondiente a las fechas de muestreo. Con las concentraciones detectadas en los análisis de laboratorio, se realizaron distribuciones espaciales utilizando el software ArcGIS 10. Para tal fin, se empleó el método Distancia Inversa Ponderada (*IDW* por sus siglas en inglés), que forma parte del set de herramientas de Spatial Analysis tools del Arc toolbox en la herramienta ArcMap v10.1.

Los valores obtenidos se compararon con las normativas nacionales: Decreto 1594 (1984) y NTC 813 (Icontec 1994b - Segunda Actualización), e internacional Organización Mundial de la Salud- OMS (2006). El Decreto 1594 reglamenta los usos del agua y residuos líquidos. Por su parte, la NTC 813 establece los requisitos físicos, químicos y microbiológicos que debe cumplir el agua potable. Finalmente, la OMS determina los requisitos para la calidad de agua potable estableciendo los límites máximos permisibles para metales pesados contenidos en el agua para uso en riego agrícola, doméstico y de consumo humano.

## CONTAMINACIÓN POR PLAGUICIDAS Y METALES PESADOS

La contaminación por plaguicidas y metales pesados, se convierte en objeto de estudio del presente proyecto, que se ha enfocado estratégicamente en el análisis de las características de estas sustancias cuya función consiste en erradicar los diferentes tipos de plagas que afectan la producción agrícola. De otra parte, en el análisis de la concentración de metales pesados, se encuentra un conjunto de componentes de naturaleza geogénica, que proceden de la roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones, y coyunturalmente, dentro de la problemática objeto de estudio, las concentraciones de metales pesados se incrementan a partir de las actividades derivadas de la minería, la utilización de plaguicidas, fertilizantes, estiércol y compost de residuos sólidos, así como el vertido de aguas residuales, entre otros.

A continuación, se analizan las características de los plaguicidas, sus usos y efectos; posteriormente, se analizan las características de los metales pesados, los principales componentes y agentes contaminantes, con sus correspondientes efectos.

### Características de los plaguicidas, sus usos y efectos

Los plaguicidas (Figura 9 y 10), son sustancias o mezcla de sustancias destinadas a destruir cualquier plaga, es decir, especies u organismos no deseados que causan perjuicio o que interfieren de cualquier forma con la producción y comercialización de alimentos y productos agrícolas (FAO, 2003). Son compuestos xenobióticos y dependiendo de su estructura química son altamente persistentes en el ambiente y tóxicos (Farrera, 2004). Los plaguicidas pueden ser agrupados en organoclorados, organofosforados, piretroides, triazinas, arsenicales, derivados de cumarina, organometálicos, carbamidas, entre otros, cada uno de estos con características definidas (Al-Saleh, 1994).

Los plaguicidas organoclorados (DDT, aldrín, endosulfán, endrín, entre otros) son hidrocarburos clorados, altamente estables y persistentes, se bioacumulan en los organismos, se biomagnifican en la cadena trófica y son poco

solubles en agua. Los plaguicidas organofosforados (bromophos, diclorvos, paratión, malatión, entre otros), son ésteres, amidas o tioles derivados de los ácidos fosfórico, fosfónico y fosfortoico. Las carbamidas (carbaril, metomil, propoxur, entre otros), derivados de ésteres carbamatados o del ácido tiocarbámico. Estos dos últimos grupos son poco estables y persistentes, no se bioacumulan, son altamente solubles en agua y tóxicos. Los plaguicidas organoclorados y organofosforados son los más empleados en la actividad agrícola (Al-Saleh, 1994).

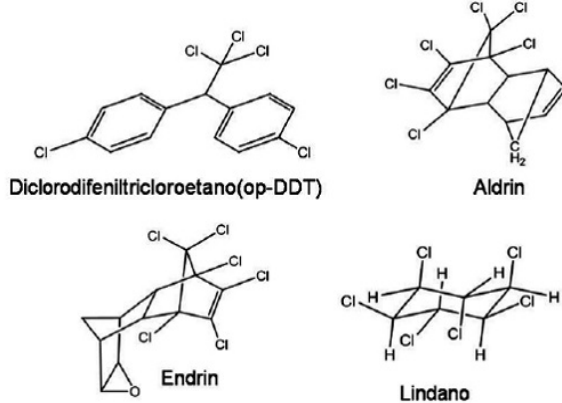


Figura 9. Estructura química de algunos plaguicidas organoclorados.

Fuente: Narváez, Palacio y Molina (2012)

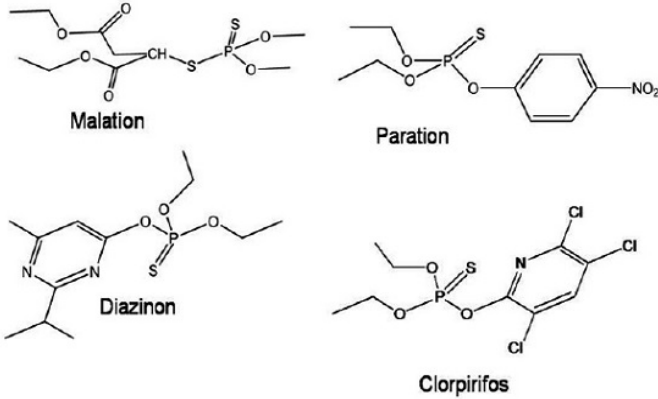


Figura 10. Estructura química de algunos plaguicidas organofosforados.

Fuente: Narváez et al. (2012)

La presencia de plaguicidas en suelos es determinada por procesos químicos, biológicos, fotoquímicos y la volatilización del compuesto (Farrera, 2004). No obstante, los plaguicidas en el suelo pueden experimentar procesos de transferencia o degradación. El movimiento del plaguicida entre las fases del suelo, sin experimentar transformación química conservando la carga contaminante, se conoce como transferencia. El comportamiento del plaguicida en el suelo, está estrechamente relacionado con las propiedades fisicoquímicas, factores meteorológicos y condiciones geomorfológicas e hidrogeológicas de los suelos (Del Puerto, Suárez y Palacio, 2014).

El grado de lixiviación del plaguicida, es entendido como el movimiento de sustancias a través de las fases del suelo y depende de la solubilidad del compuesto en agua, de su naturaleza química, del valor del *pH* del suelo y principalmente la textura del suelo. Las altas temperaturas y la precipitación pluvial son los factores climáticos que más influyen en la lixiviación de los plaguicidas (De León, 2015). Por el contrario, cuando un plaguicida se transforma o degrada en otros compuestos, pueden ser de igual o mayor toxicidad.

El comportamiento de plaguicida en el suelo determinado por el proceso de adsorción interviene en la disminución de la volatilización, la biodisponibilidad, el transporte por escorrentía y el movimiento del plaguicida en el perfil del suelo. La materia orgánica y las partículas de arcilla son determinantes en el proceso de adsorción del plaguicida (Cornejo y Jamet, 2000). En este sentido, diversas son las rutas de dispersión que pueden tomar estos contaminantes, siendo los más destacados los procesos de lixiviación, escurrimiento y volatilización (evapotranspiración). A través de la lixiviación plaguicidas penetran los suelos, llegando a las aguas subterráneas y superficiales. Cabe resaltar que, estos procesos junto con la toxicidad, se encuentran influenciados por los parámetros ambientales, destacándose como los más importantes la temperatura, el *pH* y la salinidad (Dalla, Gaspar, Carbo y Ferreira, 2006).

Los plaguicidas son considerados contaminantes por su amenaza a la estabilidad de los sistemas bióticos y abióticos. Generan efectos como envenenamiento agudo, secundario y crónico, al igual que toxicidad en las plantas y animales (Del Puerto et al., 2014; Marrugo- Negrete, Pinedo-Hernández y Díez, 2017). Del mismo modo, representan riesgos para la salud pública dado que pueden ingresar al organismo por múltiples vías, como la digestiva, la respiratoria y la dérmica y acumularse en estos tejidos del cuerpo humano (Del Puerto et al., 2014).

### Características de los metales pesados, fuentes de contaminación y efectos

Los metales pesados, suelen encontrarse sobre la corteza terrestre como componentes de naturaleza geogénica, proceden de la roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones, y se pueden encontrar en forma de sales, minerales y demás compuestos (Galán y Romero, 2008).

No obstante, la geodisponibilidad de los elementos de las rocas y su aportación al suelo son insignificantes, en comparación con la concentración en los suelos relacionada con actividades antropogénicas (Prieto, González, Román y Prieto, 2009).

Las fuentes de contaminación se generan por la utilización de plaguicidas, fertilizantes, estiércol y compost de residuos sólidos convencionales (Wuana y Okieimen, 2011). Del mismo modo, contribuyen los gases generados por la quema de combustibles o por derrame de sustancias líquidas; los residuos de las minerías y el vertido de aguas residuales domésticas tal como se presenta en la Tabla 9 (Acosta et al., 2002).

**Tabla 9.**  
*Fuentes de metales pesados relacionados con actividad agrícola*

Fuente	Metales pesados									
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
Plaguicidas	X			X	X	X			X	X
Fertilizantes		X	X				X		X	X
Estiércol	X			X						X
Compost		X		X				X	X	X
Residuos sólidos convencionales		X	X					X	X	X

Fuente: Acosta et al., (2002).

La incorporación de un metal al suelo puede tomar cuatro vías: quedar retenido en el suelo, ser absorbido sobre los constituyentes inorgánicos del suelo, asociarse con la materia orgánica del suelo y/o precipitarse como sólidos puros o mixtos. Adicionalmente, el metal puede ser absorbido por las plantas (García y Dorransoro, 2005).



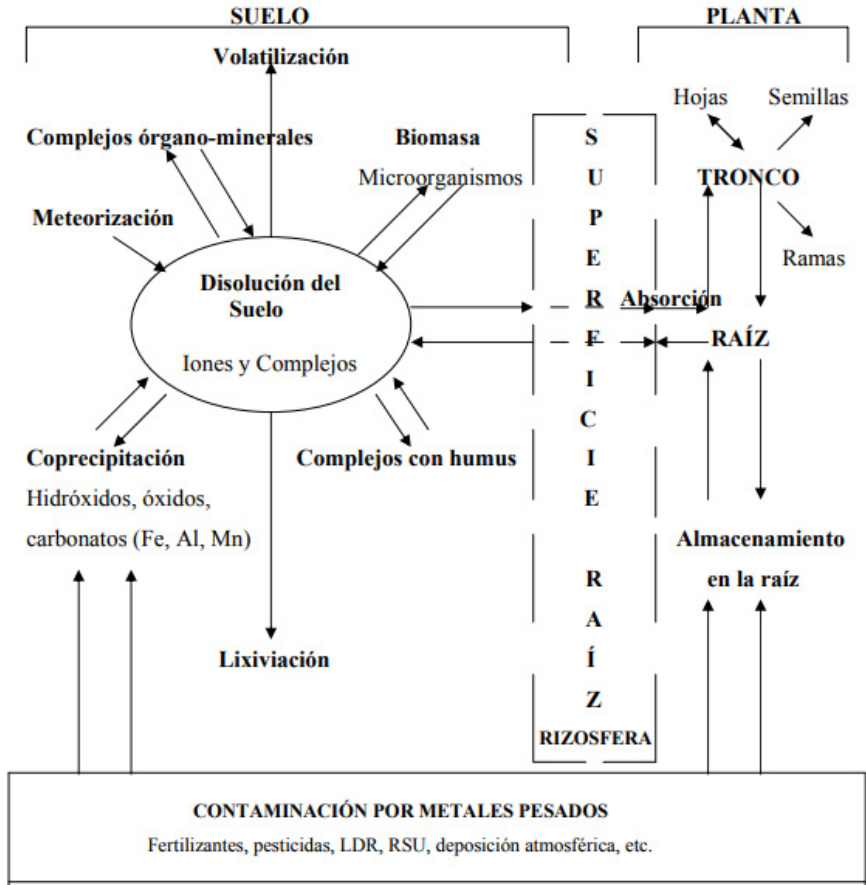


Figura 11. Movilidad de metales pesados en suelos.

Fuente: Alloway (1995).

En los metales pesados, la biodisponibilidad depende de la naturaleza del metal, su interacción con los coloides del suelo, las propiedades fisicoquímicas (pH, potencial redox, textura, contenido y tipo de arcillas, materia orgánica, óxidos de Fe, Mn y Al, y la presencia de cationes y aniones en solución) y el tiempo de contacto del suelo con el metal (Figura 11). La toxicidad de los metales depende de su concentración (determinada por el contenido de materia orgánica y arcilla) como la movilidad y reactividad en el ecosistema (Galán y Romero, 2008).

Los metales pesados en los suelos generan efectos negativos en el biofiltro edáfico ya que supera la capacidad de aceptación de residuos del suelo. De igual manera, se afectan los ciclos biogeoquímicos, se altera la fragilidad del sistema afectando las poblaciones de microorganismos y fauna, y reduciendo la fertilidad del suelo modificando su estructura. De igual manera, puede afectar cuerpos de agua (superficiales o subterráneos) por procesos de transferencia. Finalmente, la presencia de metales pesados en agua lluvia es atribuido a su presencia en el aire debido a que pasa a la atmósfera por volatilización, tal como se describe en la figura 12 (Galán y Romero, 2008).

Un factor importante en el análisis de los metales pesados de origen antropogénico es la biodisponibilidad que poseen, ya que las plantas pueden extraerlos del suelo y bioacumularlos

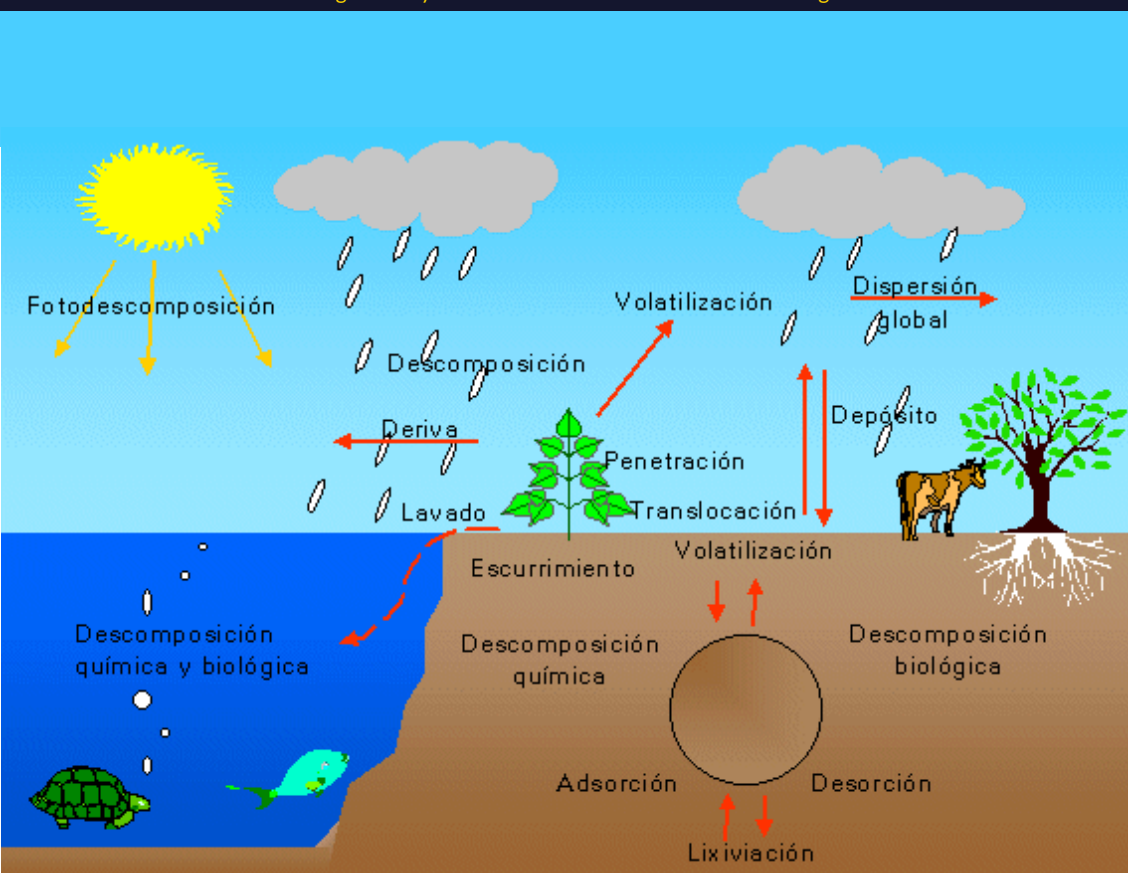


Figura 12. Dinámica de metales pesados en los ecosistemas.

Fuente: Guzmán (2016).

(Mahecha-Pulido, Trujillo-González y Torres-Mora, 2015; Yacomelo-Hernández, 2014). La biodisponibilidad inhibe y/o activa en las plantas procesos enzimáticos que afectan su metabolismo, acumulándose en estas y a su vez, entran

en la cadena alimenticia convirtiéndose en un riesgo para la salud humana y el ecosistema (Jarup, 2003).

La bioacumulación de metales pesados genera daños en el sistema nervioso central (Roberts, English, Grether, Windham, Somberg y Wolff, 2007), efectos genotóxicos (Martínez-Valenzuela y Gómez-Arroyo, 2007), afectación del sistema reproductivo (Bellingham, Fowler, Amezaga, Rhind, Cotinot, Myon-Pepin, Sharpe y Evans, 2009) y efectos carcinogénicos tanto en animales como en el hombre (Leal, Valenzuela, Gutiérrez, Bermúdez, García, Aldana, Grajeda, Silveira, Meza, Palma, Leyva, Camarena y Valenzuela, 2014; Ward, Colt, Metayer, Gunier, Lubin, Crouse, Nishioka, Reynolds y Buffler, 2009).

## **DISTRIBUCIÓN DE PLAGUICIDAS Y METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL DISTRITO DE RIEGO DE REPELÓN**

En el presente apartado, se analizan los resultados relacionados con los niveles de concentración y distribución de plaguicidas y metales pesados presentes en los suelos agrícolas pertenecientes al Distrito de Riego de Repelón, estimando a su vez los índices por factor de contaminación para el caso de los metales pesados, los índices relacionados con la carga contaminante, el grado de contaminación y el índice de geoacumulación, los cuales son integrados y discutidos al final del capítulo.

### Resultados obtenidos

No se reportó la presencia de los POC ni POF. Los resultados obtenidos estuvieron por debajo del límite de detección del equipo, los plaguicidas evaluados se muestran en la Tabla 10.

Los metales presentaron porcentajes de recuperación entre 80,85% (Cd) y 99,52% (Cu) garantizando que los valores de concentración arrojados por el equipo son confiables. Aunque el menor valor lo presentó Cd, este presenta un valor bastante pequeño en el estándar; sin embargo, se encuentra entre los márgenes de confianza para este metal usando el estándar 1633b.

Los resultados obtenidos de la medición de metales pesados en suelos del distrito se presentan en la Tabla 11. La variación en la concentración de metales presentó el siguiente orden: Zn > Cr > Ni > Pb > Hg > Cd.

Para efectos del presente análisis, los suelos del Distrito de Riego de Repelón se dividieron en tres zonas: zona norte (estaciones de muestreo S1, S2, S3, S4), zona centro (estaciones de muestreo S5, S6, S7) y zona sur (estaciones de muestreo S8, S9, S10).

Tabla 10.  
*Plaguicidas evaluados en suelos con actividad agrícola.*

Plaguicidas organoclorados	Plaguicidas organofosforados
4,4' - DDD	Azinfos Etil
4,4' - DDE	Azinfos Metil
4,4' - DDT	Clorpirifos
Aldrin	Cis-Clorfenvinfos
Alfa-Lindano	Diazinon
Beta-Lindano	Diclorvos
Cis-Clordano	Dimetoate
Delta-Lindano	Dorsban
Dieldrin	Etil Paration
Endosulfan I	Fenitrotion
Endosulfan I	Fention
Endosulfan II	Fosalone
Endosulfan II	Malation
Endosulfan Sulfato	Metil Bromofos
Endrin	Metil Clorpirifos
Endrin Aldehido	Metil Paration
Endrin Cetona	Mevinfos
Gamma-Lindano	Profetamfos
Heptaclor	Triazofos
Heptaclor Epoxido	Tridemofon
Metoxiclor	
Trans-Clordano	
LDM = 10 µg/Kg	LDM = 5 µg/Kg

(LDM) Limite de Detección del Método.

Tabla 11.  
Concentración de metales pesados en suelos agrícolas  
del Distrito de Riego de Repelón.

Estaciones de muestreo	Zn (LDM = 5,0)	Cr (LDM = 3,0)	Ni (LDM = 20)	Pb (LDM = 0,07)	Cd (LDM = 0,02)	Hg (LDM = 0,001)
S1	94,18	68,55	44,22	4,949	0,335	0,090
S2	99,28	70,46	47,01	5,183	0,330	0,094
S3	91,56	73,86	45,27	5,198	0,296	0,104
S4	75,14	51,09	34,56	3,887	0,199	0,742
S5	94,56	68,03	40,08	4,700	0,307	0,899
S6	92,50	65,93	42,55	6,515	0,315	0,924
S7	10,37	70,60	42,61	5,697	0,244	0,101
S8	98,11	66,62	43,06	5,154	0,320	0,519
S9	103,32	71,60	46,47	6,142	0,434	0,735
S10	109,42	73,93	47,28	6,382	0,430	0,691

(LDM) = Límite de detección del método (mg/Kg)

Las concentraciones de los metales pesados presentaron variaciones en las estaciones evaluadas. En las estaciones centro y sur, los metales Zn, Pb y Hg exhibieron las concentraciones más altas. El Pb (Figura 13) en la S6



la concentración fue 6,515 mg/Kg, similar en las S9 y S10 (6,262 mg/Kg en promedio). El Zn (Figura 14) en la S7 la concentración fue 109,37 mg/Kg; al igual que en las S9 y S10 (106,37 mg/Kg en promedio). El Hg (Figura 15) en la S6 la concentración fue 0,924 mg/Kg. Por el contrario, la concentración más baja se presentó en la zona norte S1 y S2 (0,094 mg/Kg en promedio).

Del mismo modo, en las estaciones norte y sur, los metales Cr y Ni mostraron concentraciones elevadas. El Cr (Figura 16) en la S3 la concentración fue 77,86 mg/Kg al igual que en la S10 (73,93 mg/Kg). Por el contrario, la concentración más baja se presentó en la zona centro S6 (65,93 mg/Kg). El Ni (Figura 17) en la S2 la concentración fue 47,22 mg/Kg al igual que en la S10 (47,28 mg/Kg). Por el contrario, la concentración más baja se presentó en la zona norte S4 (34,56 mg/Kg).

Finalmente, el Cd (Figura 18) en las S9 y S10 la concentración fue 0,432 mg/Kg en promedio. Por el contrario, la concentración más baja se presentó en la zona norte S4 (0,199 mg/Kg).

# EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

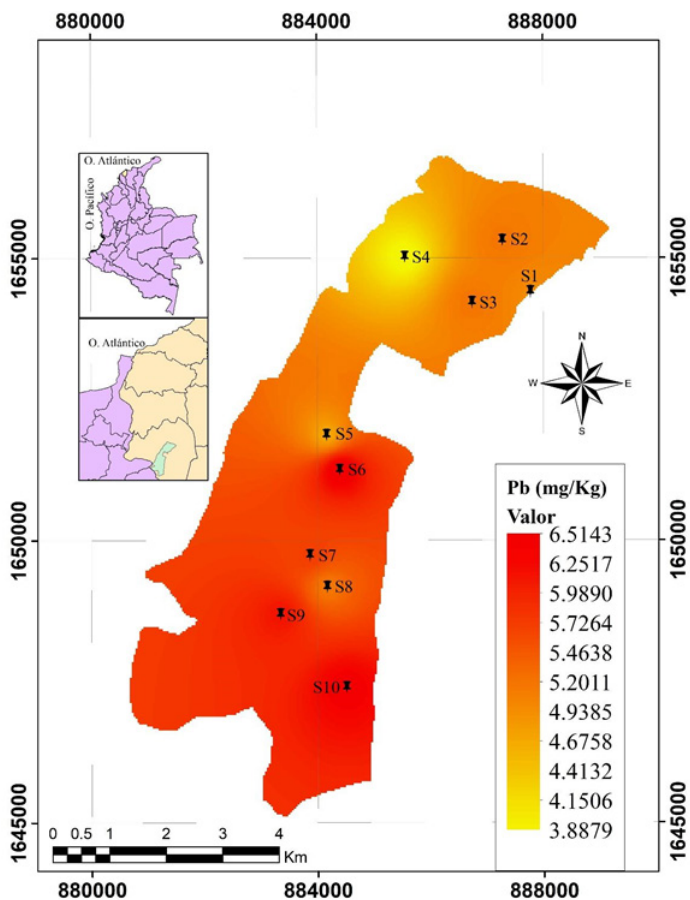


Figura 13. Distribución del Pb en suelos agrícolas del distrito de Riego de Repelón.

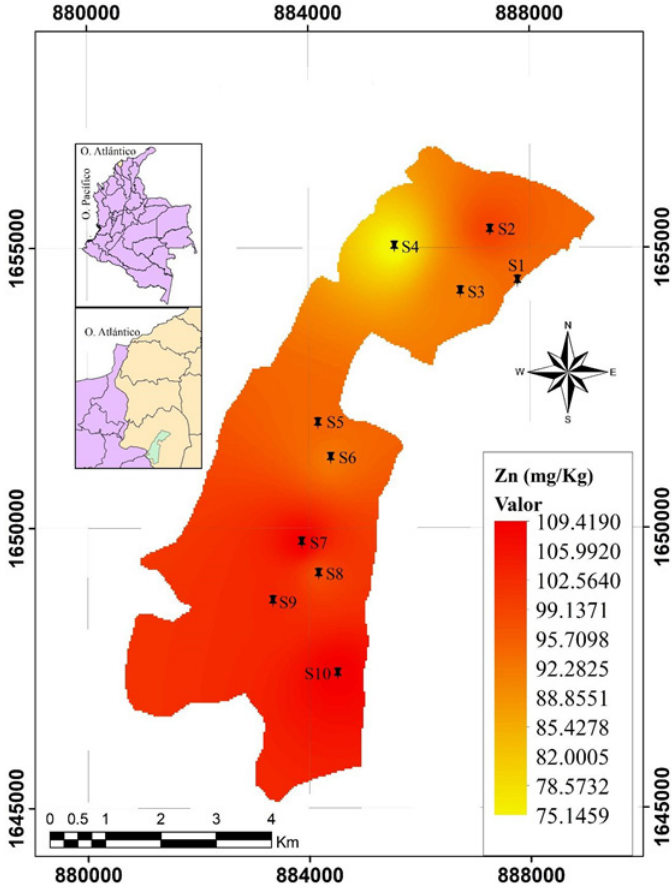


Figura 14. Distribución del Zn en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

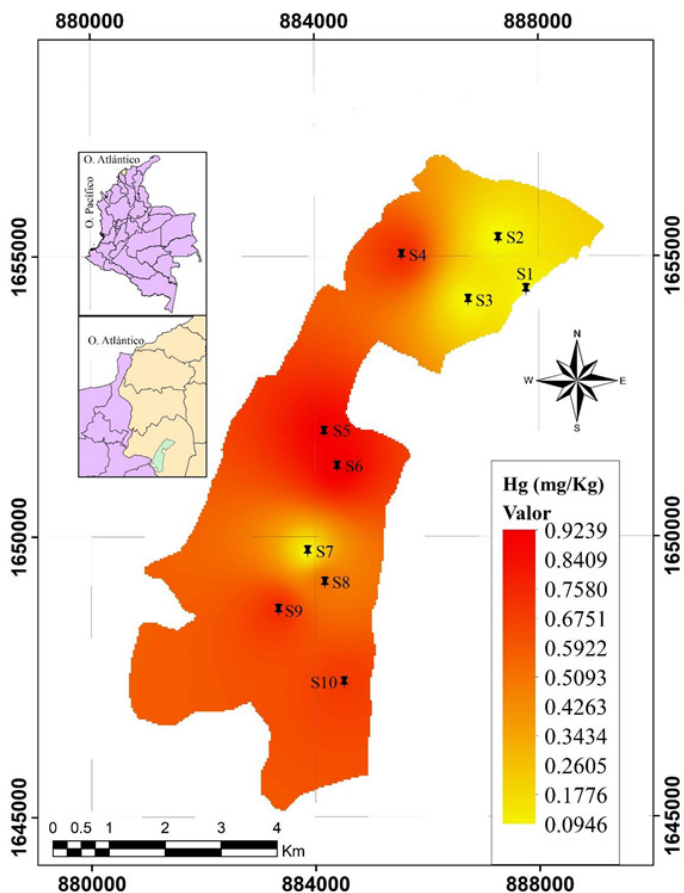


Figura 15. Distribución del Hg en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

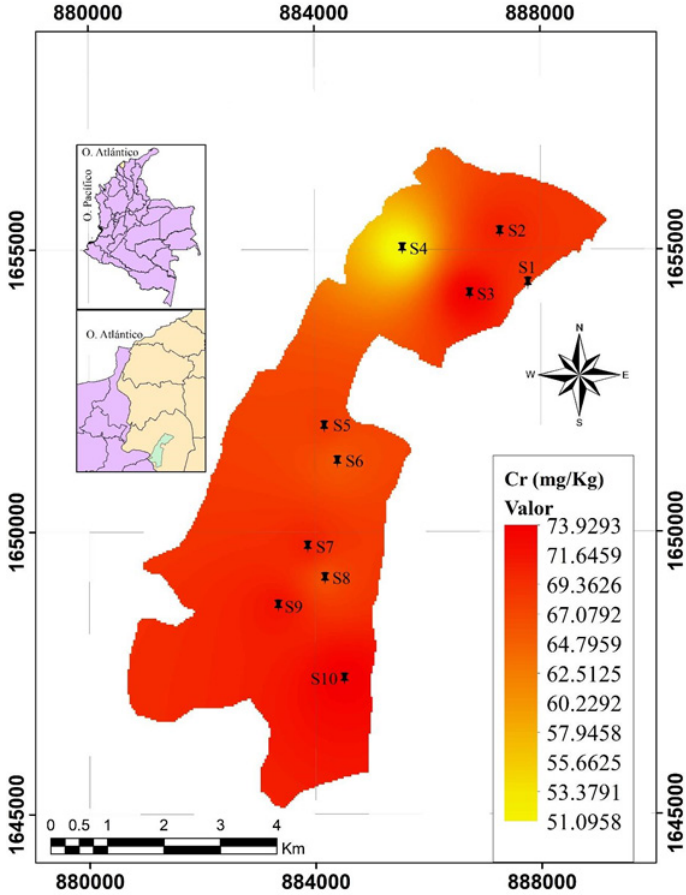


Figura 16. Distribución del Cr en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

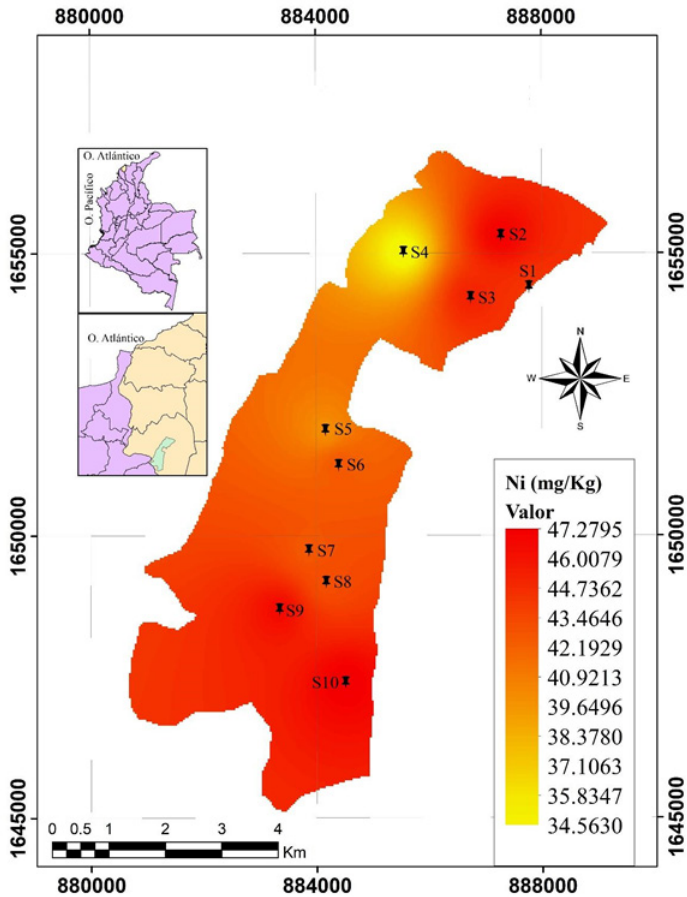


Figura 17. Distribución del Ni en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

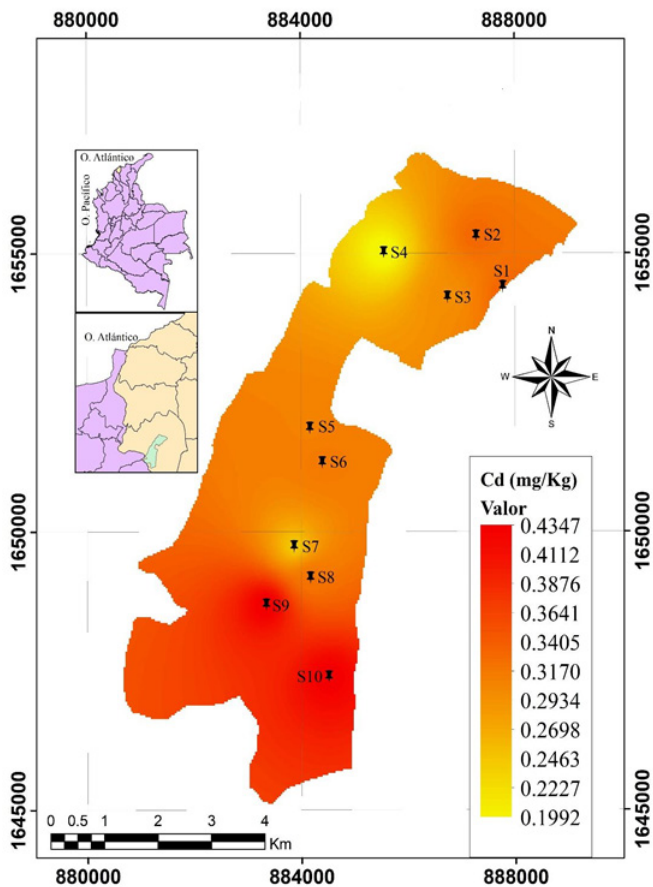


Figura 18. Distribución del Cd en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

### Índices de contaminación para metales pesados en los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón

#### Factor de contaminación (FC)

Los resultados de factor de contaminación de metales pesados en los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón (Tabla 12) indican que las concentraciones de los metales en suelo derivan en el siguiente orden:  $Hg > Ni > Zn > Cr > Pb > Cd$ , indicando que el Hg fue el metal pesado más abundante en comparación con los otros metales. Por el contrario, el Cd, fue el metal con menor concentración, indicando niveles bajos.

El factor de contaminación de los metales pesados Pb y Cd en los suelos del distrito de riego fue bajo, los valores promedios se encontraron entre 0,34 y 0,20 respectivamente. Los metales pesados Cr y Zn presentaron una distribución uniforme en toda el área del distrito de riego; el factor de contaminación moderado mostró valores de 1,84 y 2,02 respectivamente. Por el contrario, el metal pesado Hg presentó variaciones importantes: en la zona norte (estaciones S1, S2 y S3) y en la zona sur (estación S7) el factor de contaminación es moderado (1,68), en los otros puntos muestreados (S4, S5, S6, S8, S9 y S10), el factor de contaminación es alto, con un promedio de 11,11. Finalmente, el metal pesado Ni en la zona norte (estación S4) el factor de contaminación es moderado (2,66) y en



los otros puntos muestreados (S1, S2, S3, S5, S6, S7, S8, S9 y S10) el factor de contaminación es considerable con un promedio de 3,41.

Tabla 12.  
*Índices de metales pesados en los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.*

Estación	FC						ICC	GC	Igeo					
	Hg	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd			Hg	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd
S1	1,55	0,31	1,96	1,85	3,40	0,21	1,04	9,22	0,06	-2,28	0,39	0,30	1,18	-2,84
S2	1,63	0,32	2,07	1,90	3,62	0,21	1,08	9,75	0,12	-2,21	0,46	0,34	1,27	-2,86
S3	1,79	0,32	1,91	<b>2,00</b>	3,48	0,19	1,06	9,69	0,26	-2,21	0,35	0,41	1,22	-3,02
S4	12,80	<u>0,24</u>	<u>1,57</u>	<u>1,38</u>	<u>2,66</u>	<u>0,12</u>	1,14	18,77	3,09	<u>-2,63</u>	<u>0,06</u>	<u>-0,12</u>	<u>0,83</u>	<u>-3,52</u>
S5	15,51	0,29	1,97	1,84	3,08	0,19	1,46	22,89	3,37	-2,35	0,39	0,29	1,04	-2,96
S6	<b>15,93</b>	<b>0,41</b>	1,93	1,78	3,27	0,20	1,56	<b>23,52</b>	<b>3,41</b>	<b>-1,88</b>	0,36	0,25	1,13	-2,93
S7	1,75	0,36	<b>2,28</b>	1,91	3,28	0,15	1,05	9,73	0,22	-2,07	0,60	0,35	1,13	-3,30
S8	8,96	0,32	2,04	1,80	3,31	0,20	1,38	16,63	2,58	-2,22	0,45	0,26	1,14	-2,91
S9	12,68	0,38	2,15	1,94	3,57	<b>0,27</b>	1,64	21,00	3,08	-1,97	0,52	0,37	1,25	<b>-2,46</b>
S10	11,92	0,40	<b>2,28</b>	<b>2,00</b>	<b>3,64</b>	<b>0,27</b>	<b>1,66</b>	20,51	2,99	-1,91	<b>0,60</b>	<b>0,41</b>	<b>1,28</b>	-2,48
Promedio	8,45	0,34	2,02	1,84	3,33	0,20	1,31	16,18	1,92	-2,17	0,42	0,29	1,15	-2,93
NOAA <sup>1</sup>	0,058	16	48	37	13	1,6			0,058	16	48	37	13	1,6

Nota: Los resultados en negrilla obedecen a los máximos valores y los subrayados a los valores mínimos.

FC: Factor de Contaminación.  
ICC: Índice de Carga de Contaminantes.  
GC: Grado de Contaminación.  
Igeo: Índice de Geoacumulación.

<sup>1</sup> Límites permisibles propuestos por la NOAA.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPOLÓN

A continuación, se presentan las figuras 19 a 24, ilustrando la distribución del factor de contaminación de los metales pesados evaluados en los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repolón.

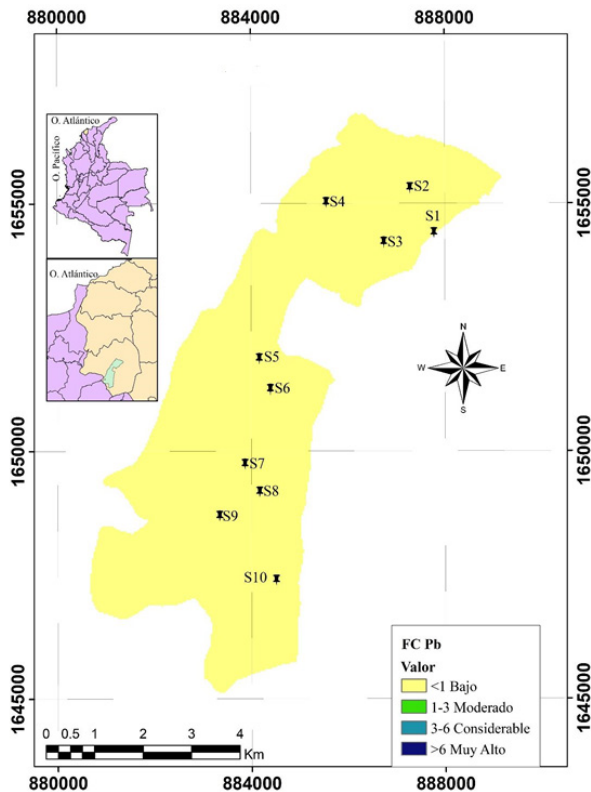


Figura 19. Factor de Contaminación del Pb en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repolón.

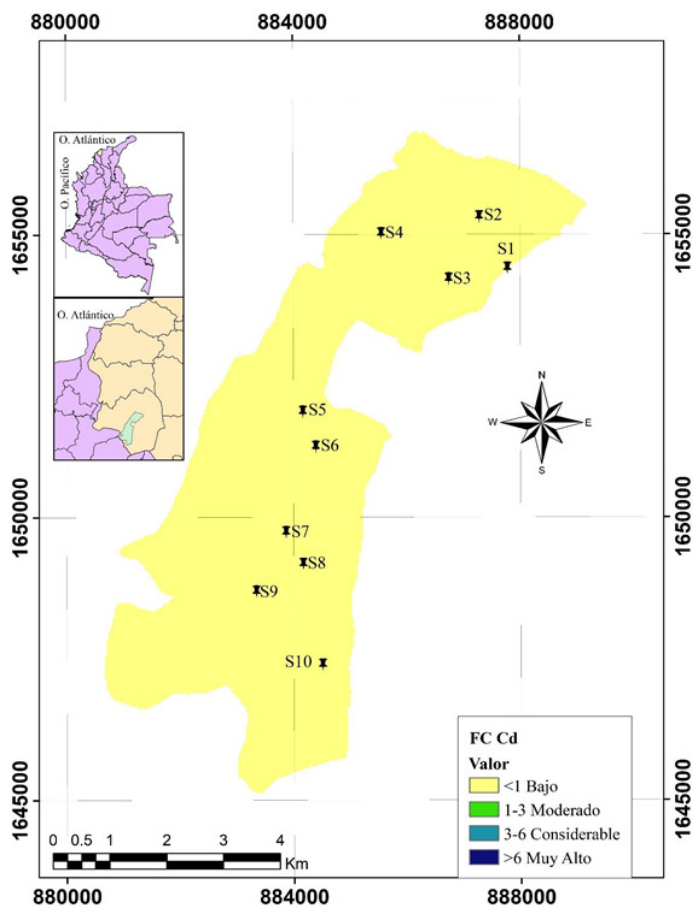


Figura 20. Factor de Contaminación del Cd en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

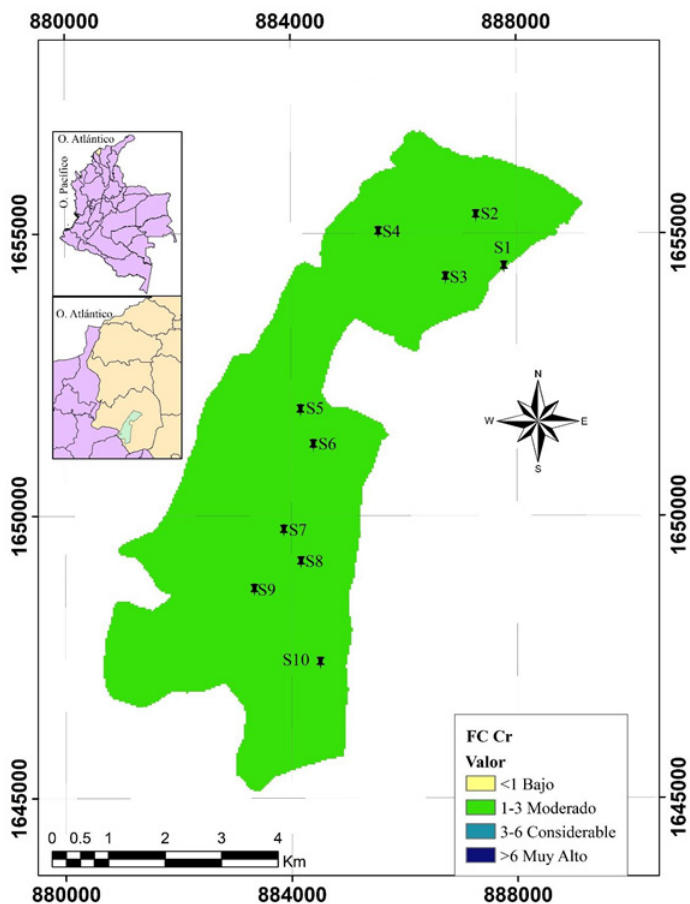


Figura 21. Factor de Contaminación del Cr en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

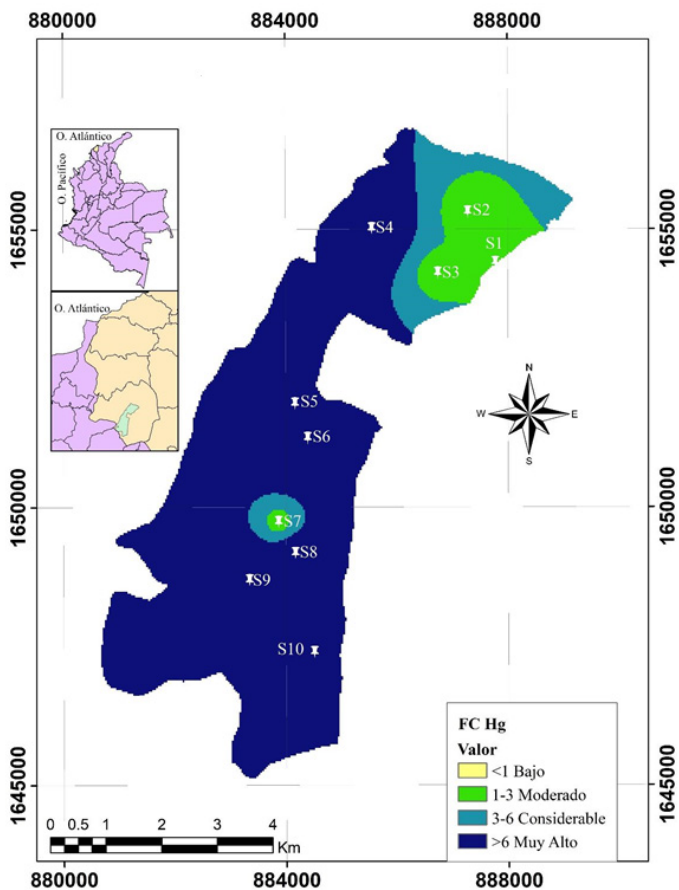


Figura 22. Factor de Contaminación del Hg en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

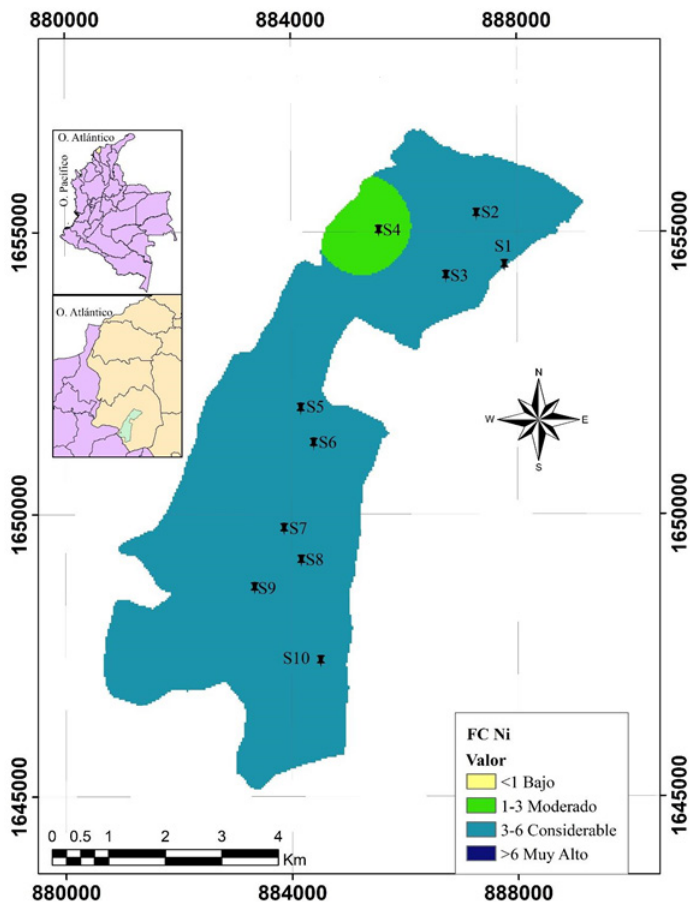


Figura 23. Factor de Contaminación del Ni en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

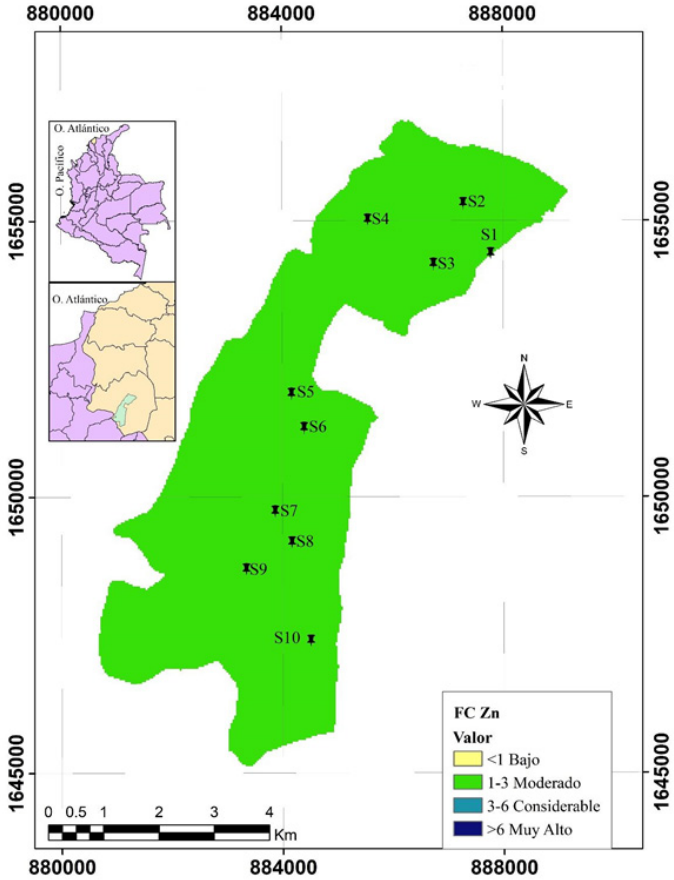


Figura 24. Factor de Contaminación del Zn en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

### Índice de carga de contaminación (ICC)

A partir de los metales pesados evaluados en los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón, el índice de carga de la contaminación que se presenta en la Tabla 12, indica que los suelos se encuentran contaminados, el valor promedio encontrado fue 1,31. La variación en el ICC en las estaciones de muestreo ( $S10 > S9 > S6 > S5 > S8 > S4 > S2 > S3 > S7 > S1$ ), indicó que la S10 presenta el mayor índice de carga de contaminación y la estación S1 el menor índice de carga de contaminación (Figura 25).

### Grado de Contaminación (GC)

El grado de contaminación de los suelos agrícolas del distrito de riego (Tabla 12) presentó variaciones (Figura 26). En la zona norte (estaciones S1, S2 y S3) y en la zona sur (estación S7), el grado de contaminación es moderado, con un promedio de 9,61. Por otra parte, en los otros puntos muestreados (S4, S5, S6, S8, S9 y S10), el grado de contaminación es considerable, con un promedio de 20,5. La variación en el GC se presentó  $S6 > S5 > S9 > S10 > S4 > S8 > S2 > S7 > S3 > S1$ , indicando que la S6 es la estación con mayor grado de contaminación y la estación S1 presenta menor grado de contaminación.



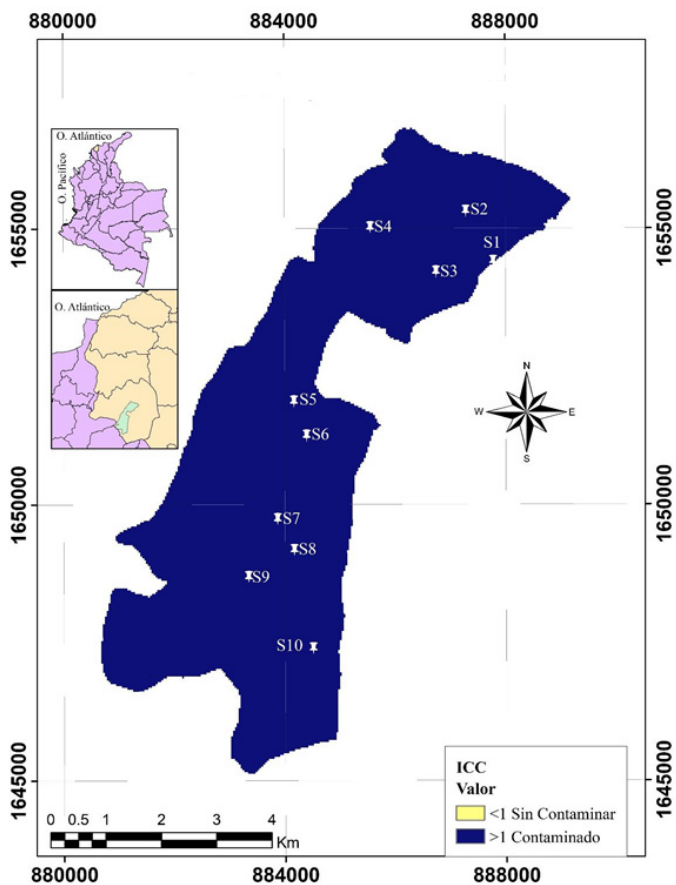


Figura 25. Índice de carga de contaminación de suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

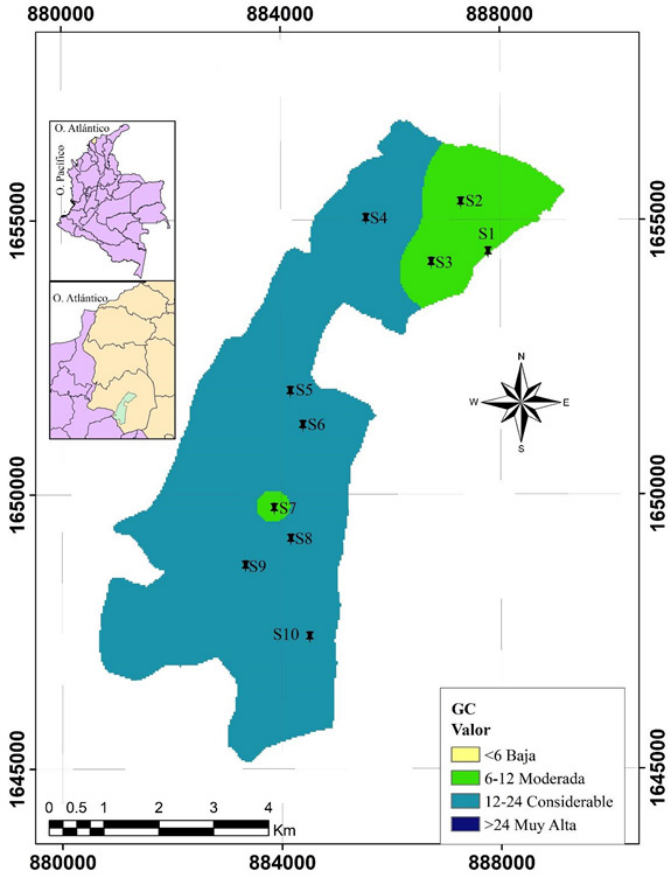


Figura 26. Grado de contaminación de suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

## Índice de Geoacumulación (Igeo)

El Igeo de los suelos agrícolas (Tabla 12), presentó una variación entre los metales pesados y los puntos de muestreo ( $Hg > Ni > Zn > Cr > Pb > Cd$ ). Las concentraciones de Pb, Cd, Cr y Zn (Figuras 27, 28, 29 y 32), las cuales no afectan la calidad del suelo, ya que no representan nivel de contaminación y el valor del Igeo fue cero. El contenido de Ni (Figura 31), en los diferentes suelos evaluados, mostró poca contaminación (Igeo = 1), a excepción del punto 4, donde el Igeo fue cero, por lo tanto, el suelo no está contaminado. Finalmente, el Hg (Figura 30), es el elemento que representa mayor contaminación. Aunque los puntos de muestreo 1, 2, 3 y 7 no se encuentran contaminados; los demás suelos evaluados presentaron un Igeo de 3 (el máximo índice de geoacumulación en todas las muestras de suelo); indicando que la calidad del suelo pudo ser afectada negativamente, debido a que se encuentran altamente contaminados con este metal.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

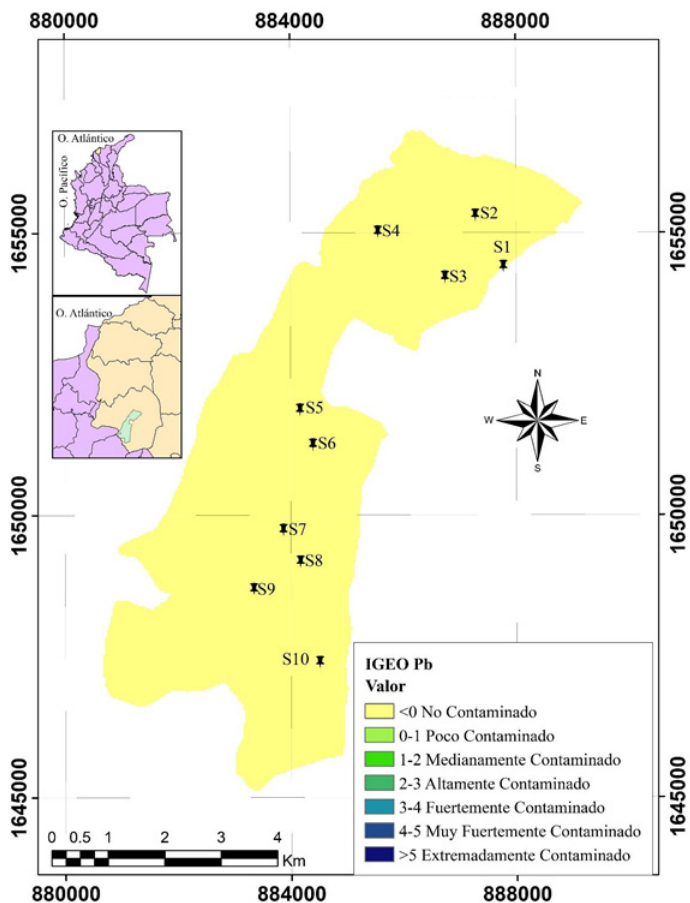


Figura 27. Índice de geoacumulación del Pb en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

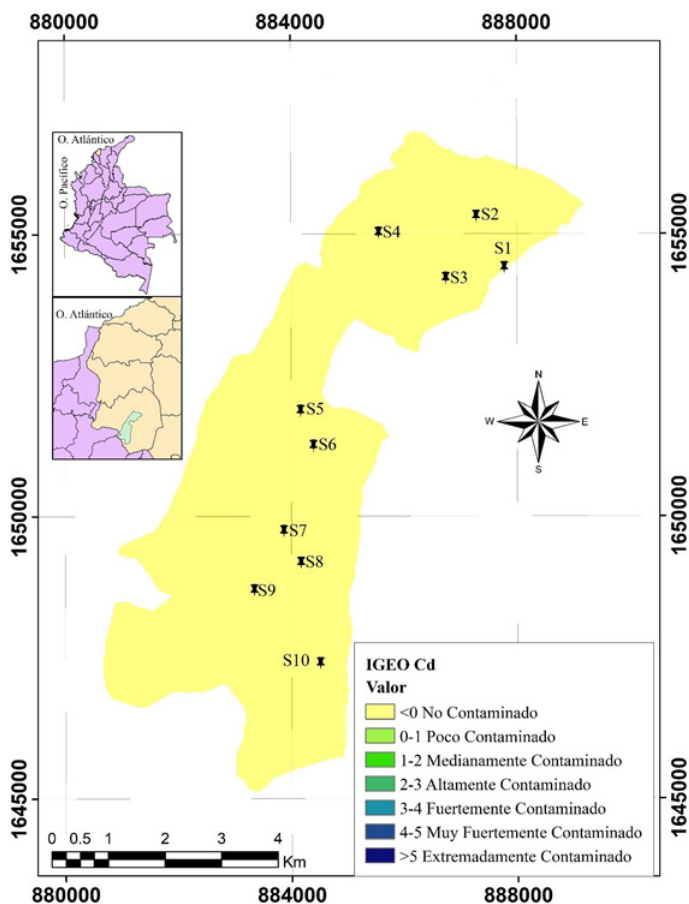


Figura 28. Índice de geoacumulación del Cd en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

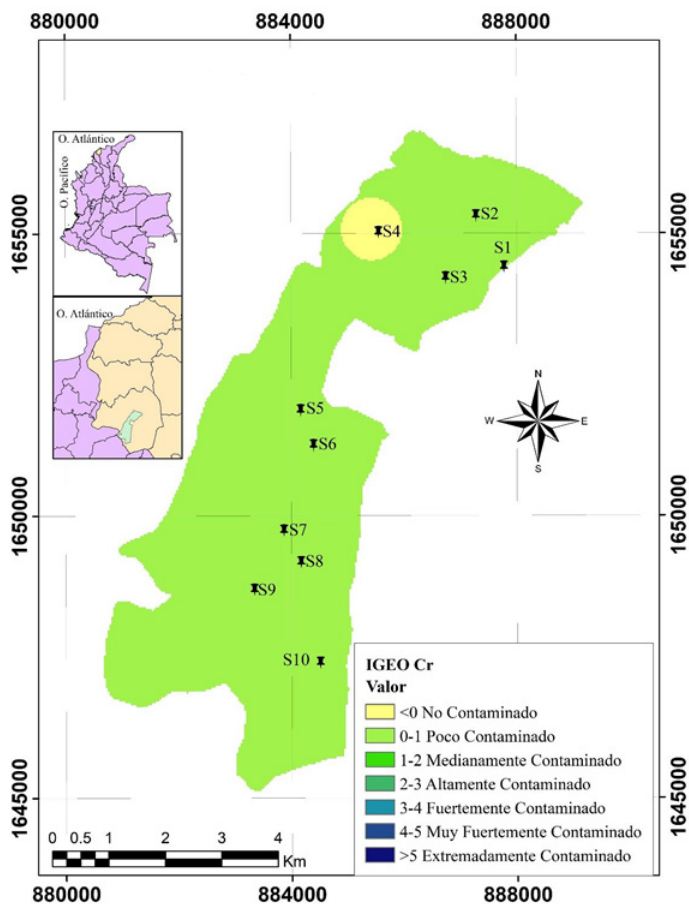


Figura 29. Índice de geoacumulación del Cr en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

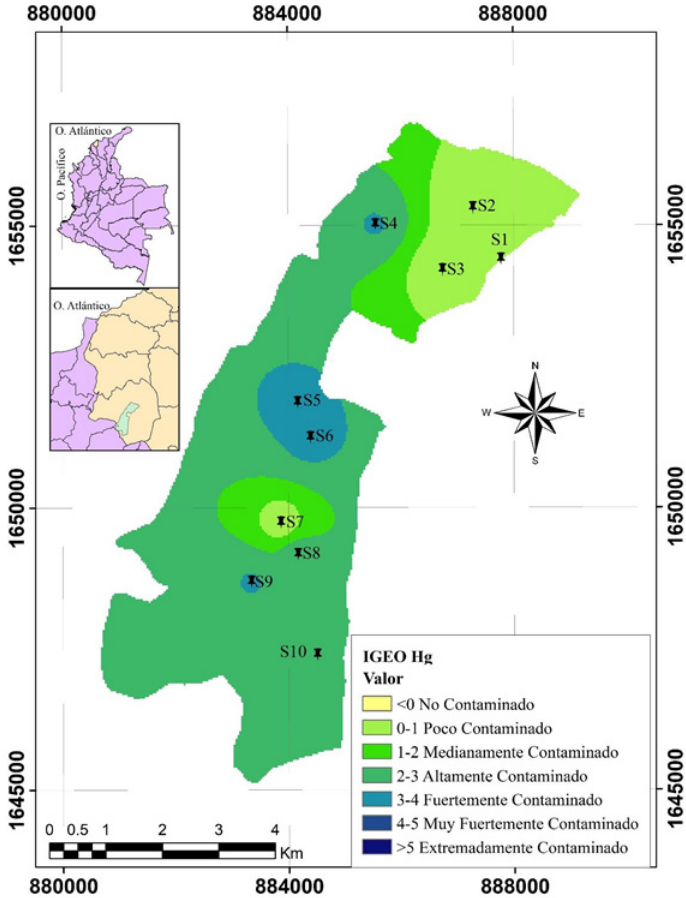


Figura 30. Índice de geoacumulación del Hg en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

# EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

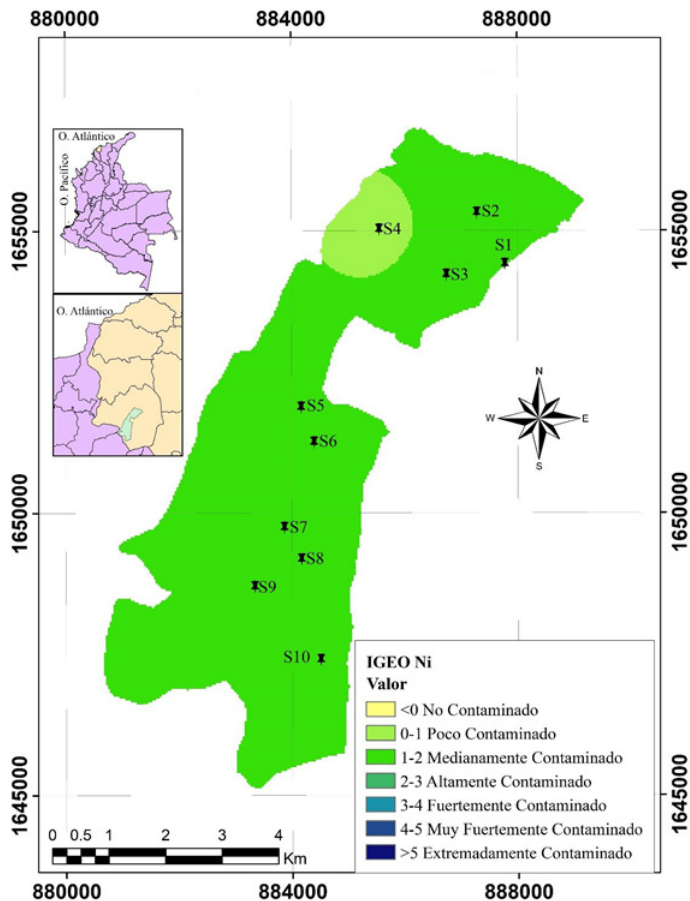


Figura 31. Índice de geoacumulación del Ni en suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.



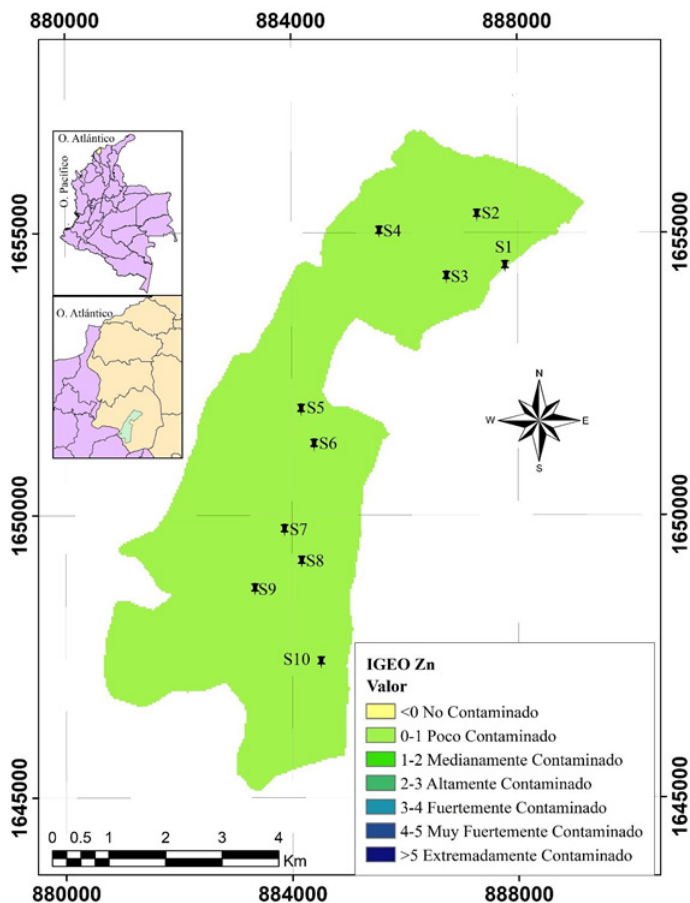


Figura 32. Índice de geoacumulación del Zn en suelos agrícolas en el Distrito de Riego de Repelón.

### Discusión de resultados de la distribución de plaguicidas y metales pesados

La ausencia de plaguicidas organoclorados posiblemente está asociada con tres factores: la disminución de la actividad agrícola a través de los años, las condiciones climáticas del municipio o la prohibición del uso de este tipo de plaguicidas. En el año 2016 por el fenómeno de El Niño, la actividad agrícola del municipio de Repelón disminuyó notoriamente, por lo tanto, no se desarrollaron prácticas agrícolas intensivas que pudieran generar contaminación en el suelo.

De igual manera, la disminución de actividades permite que el suelo descanse, reflejado en una mejora en sus propiedades fisicoquímicas. Garrido y Licona (2017), compararon propiedades fisicoquímicas de los suelos agrícolas del Distrito de Riego en las épocas sequía y lluvia, reportando diferencias estadísticas en el contenido de materia orgánica, nitrógeno del suelo y humedad.

Los mayores porcentajes de nitrógeno y materia orgánica se presentaron en la época de sequía, a excepción de la humedad, relacionada con las condiciones climáticas de la zona de estudio. El porcentaje de la materia orgánica varía significativamente respecto al contenido de humedad presente en el suelo. Al aumentar el contenido de agua en el suelo, se estimula el proceso de

degradación de compuestos húmicos provocando una disminución de esta misma. Incluso, se pueden presentar pérdidas por escorrentía (Rosas, 2001).

En el suelo, el comportamiento de los plaguicidas depende del contenido de materia orgánica y las partículas de arcilla ya que estos pueden adsorberlos (Cornejo y Jamet, 2000). En este contexto, las características del suelo, las propiedades de los plaguicidas y las condiciones climáticas influyen la actividad, estabilidad, degradación y persistencia de los plaguicidas en los suelos agrícolas (Aiyesanmi, Tomori y Owolabi, 2008).

Por otra parte, las condiciones climáticas del municipio varían drásticamente. Largos periodos de sequía y épocas de lluvia con precipitaciones que causan inundaciones, las inclemencias del clima y en específico del fenómeno del niño, ha golpeado ampliamente el departamento del Atlántico, de manera forzosa detuvo la actividad agrícola en la zona, lo que provocó el “abandono” de las tierras hasta el reinicio del periodo de lluvias (Ruíz y Pabón, 2013).

Repelón es el municipio que presenta mayores temporadas de sequía al igual que la radiación solar en el departamento del Atlántico (IDEAM, 2005). Estos aspectos son adecuados para un mayor grado de fotólisis de los plaguicidas (Narváez et al., 2012). Adicionalmente, las altas

temperaturas incrementan la evaporación de sustancias volátiles o semivolátiles facilitando la movilidad de compuestos como los plaguicidas organoclorados (Betancourt y Ramírez-Triana, 2005; Del Puerto et al., 2014).

De acuerdo con estas condiciones climáticas, en las zonas tropicales los plaguicidas como el dieldrin tienden a desaparecer más rápido de los suelos, con pérdidas hasta el 90% del producto en menos de un año (FAO, 2000). Por otra parte, las elevadas precipitaciones influyen en las formas en que los plaguicidas se transportan (Aguilar-Martínez, 2007; Agency for Toxic Substances y Disease Registry-ATSDR, 2002; Uzcátegui, Araujo y Mendoza, 2011).

Otro factor que pudo incidir en la ausencia de plaguicidas dentro del análisis de los suelos corresponde a la reglamentación del ICA-Instituto Colombiano Agropecuario. En la resolución 366 de 1987, y resoluciones 531, 540, 723, 724 y 874 de 1988 del ICA se cancelaron las licencias de venta de los insecticidas organoclorados que contenían los ingredientes activos: aldrin, heptacloro, dieldrin, clordano y canfecloro en su composición. La ausencia de estos compuestos podría indicar el cumplimiento en la reglamentación emitida por el ICA.

En los suelos agrícolas de Repelón, la presencia de metales pesados indicó que los suelos se encuentran contaminados (ICC = 1,31) con un

grado considerable ( $GC = 16,18$ ). Adicionalmente, el FC e Igeo indicaron que el metal en mayor cantidad en los suelos es Hg y los metales pesados que se encuentran en menor cantidad son Pb y Cr. El Pb y Hg tienden a acumularse en suelos agrícolas debido a la contaminación por las actividades de la industria y la minería (Millán, Carpena, Schmid, Sierra, Moreno, Peñalosa, Gamarra y Esteban, 2007; Prieto et al., 2009). En zonas aledañas al embalse El Guájaro se practican actividades mineras. El metal puede llegar al suelo por medio del distrito de riego ya que este se abastece del embalse.

Por otra parte, en los suelos contaminados con Pb se suele encontrar también Cd y Zn debido a la relación de semejanza que existe entre las propiedades y características de los metales. Similarmente, ocurre con los metales Fe, Ni y Co (Hettiarachchi y Pierzynski, 2002). Otro posible factor de contaminación con Pb y Ni está asociado con las aguas residuales. Las concentraciones de los metales aumentan con los años por el efecto del uso de aguas residuales en suelos agrícolas. Las mayores tasas anuales de acumulación la presentan Pb y Ni.

Aunque no se ha reportado que los suelos agrícolas de Repelón sean abastecidos con agua residual, la descarga de aguas residuales en arroyos (Herrera, Rodríguez, Coto, Salgado y Borbón, 2013) que finalmente conectan con el Embalse El Guájaro, podría asociarse con la

presencia de estos dos metales. Del mismo modo, los metales Cr y Zn son utilizados en fertilizantes. Los fertilizantes fosfatados aportan cantidades significativas de Cr y Zn. Por su parte, el Cr es un elemento que se presenta como impureza en la materia prima de los abonos inorgánicos (Alonso, Santos-frances, García-Sánchez y Alvarez-Ayuso, 2004; Zubillaga y Lavado, 2002). Adicionalmente, el Zn puede estar relacionada con la aplicación de estiércol a los cultivos (Kabata-Pendias, 2010).

Finalmente, otro factor que puede estar asociado con la presencia de los metales pesados en suelos fue la inundación de los municipios de Repelón, Manatí, Santa Lucía, Candelaria y Campo de la Cruz en el 2011 por el rompimiento del Canal del Dique. Las inundaciones por periodos relativamente prolongados pueden provocar una reducción de los sulfatos y generar la formación de ácidos volátiles, los cuales causan liberación y disponibilidad de metales pesados en los suelos (Marrugo-Negrete et al., 2017). La evaluación de la contaminación de metales pesados en los suelos agrícolas mostró que las concentraciones de Pb, Zn, Cr y Cd no representan contaminación en los suelos.

Sin embargo, se deben implementar regulaciones en las fuentes de contaminación, entre estas, el descargue de las aguas residuales en el arroyo el embrujo. Siebe (1994), afirma que los

metales pesados Pb, Zn, Cr y Cd introducidos en los suelos por medio de agua residual tienden acumularse en los suelos, principalmente en la capa arable y después de 80 años se encontrarán biodisponibles en cantidades moderadas para las plantas, representando riesgo al impactar la calidad del suelo e ingresar en la cadena trófica por medio de los alimentos. De igual manera, la disminución de actividad agrícola en la temporada seca en el municipio de Repelón podría ser otro factor que actualmente no contribuye al aumento de las concentraciones de los metales pesados en suelos.

La presencia de Ni y Hg en los suelos, de acuerdo con el Igeo se categorizaron como poco y altamente contaminado, respectivamente. Aunque hay plaguicidas que pueden contribuir con la presencia de Hg, Belmonte, Romero y Moreno (2010) afirman que la extracción de recursos mineros contribuye significativamente en el aporte de concentraciones de metales pesados. La deposición de grandes volúmenes de residuos de roca al sufrir procesos de oxidación libera grandes cantidades de metales pesados. Los procesos de meteorización, lixiviados de minerales y erosión del suelo transportan los metales a fuentes acuíferas (Galán y Romero, 2008). Para este estudio, es probable que los metales se incorporen al Embalse El Guájaro y posteriormente llegan a los suelos agrícolas por medio del Distrito de Riego de Repelón.

Las rocas ígneas que contienen minerales como olivina, auguita, hornblenda y biotita, entre sus constituyentes, contienen metales como Ni, Cu, Zn, Mn, Co y Pb, que son fácilmente alterables. Por lo tanto, se podrían asociar con fuentes de contaminación por la actividad de las canteras (White, 2006). Los suelos con características ácidas y neutras aumentan la movilidad y biodisponibilidad del Ni (Loska et al., 2004).

Por otra parte, el Hg está presente en rocas sedimentarias, proviene de los minerales metacinnabrita y cinabrita; al igual cantidades traza en sulfuros y antimonios. La disponibilidad del Hg depende del pH. La lixiviación de las formas orgánicas del metal: dimetilmercurio, metilmercurio y fenilmercurio se presenta en ambientes ácidos. Mientras que las formas inorgánicas: metal, óxidos de mercurio (catión mercúrico y catión mercurioso) tienden a lixiviar en ambientes alcalinos (White, 2006).

En tal sentido, los suelos de la zona de estudio se caracterizan por presentar un pH que varía entre ligeramente ácido (6,93) y neutro (7,01) (Garrido y Licona, 2017). Las alteraciones de pH en el suelo son una problemática común que genera por las actividades agrícolas intensivas. Por lo tanto, la actividad de las canteras en conjunto con los cambios de pH en el suelo, posiblemente son los factores que influyen en el incremento de las concentraciones de Ni y Hg en algunos puntos de muestreo.



## Conclusiones y Recomendaciones

La ausencia de los plaguicidas organoclorados heptacloro benceno, aldrín, endosulfán, dieldrín y endrín, posiblemente se encuentra asociada con las características climáticas del municipio como largas precipitaciones y extensos periodos de sequía. Estos parámetros ambientales influyen en la movilidad de plaguicidas organoclorados. Del mismo modo, durante el periodo de sequía no se realiza actividad agrícola intensiva, disminuyendo la presencia de estos compuestos químicos. También, durante esta época el suelo del Distrito de Riego de Repelón presenta altos contenidos de materia orgánica, facilitando la adsorción de los plaguicidas.

Con relación a los metales pesados, los suelos agrícolas están contaminados. El grado de contaminación es considerable. El factor de contaminación, al igual que el Igeo, exponen la concentración de los metales en el siguiente orden  $Hg > Ni > Zn > Cr > Pb > Cd$ . De acuerdo con el Igeo las concentraciones de los metales pesados Pb, Zn, Cr y Cd no representan contaminación en los suelos agrícolas. Por el contrario, la presencia de Ni y Hg en algunos suelos se caracterizaron como poco y altamente contaminado, respectivamente. Las altas concentraciones de estos dos metales posiblemente se encuentran asociadas con la actividad minera. Las rocas, entre sus constituyentes proporcionan Hg y Ni.

Estos metales llegan a los suelos a través del Distrito de Riego, el cual se abastece del embalse El Guájaro.

Se considera fundamental, la recomendación orientada a realizar prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente para mejorar las condiciones fisicoquímicas del suelo y evitar la movilidad o transporte Ni y Hg por procesos de erosión o lixiviación. La presencia de estos metales y su bioacumulación puede causar impactos negativos en el ecosistema. En este caso, la bioacumulación en los humanos genera efectos tóxicos en la salud.

## PLAGUICIDAS Y METALES PESADOS EN LAS AGUAS DEL EMBALSE EL GUÁJARO

En el presente apartado se analizan los resultados obtenidos a partir de la medición y monitoreo de plaguicidas y metales pesados presentes en las muestras de agua recolectadas en el embalse El Guájaro.

### Resultados obtenidos

No se detectó presencia de los plaguicidas evaluados en ninguna de las muestras de agua, tanto para la campaña de octubre como la campaña de diciembre, tal como se presentan detalladamente en la Tabla 13.

Durante la campaña de octubre se detectó Hg en las dos estaciones evaluadas. En la campaña de diciembre, se detectaron Hg, Cd, Pb y Zn (Tabla 14). La variación de la concentración de los metales presentó el siguiente orden  $Pb > Cd > Hg > Zn$ .

Tabla 13.  
*Plaguicidas evaluados en aguas superficiales del embalse El Guájaro*

Plaguicidas organoclorados	Plaguicidas organofosforados
4,4' - DDD	Azinfos Etil
4,4' - DDE	Azinfos Metil
4,4' - DDT	Clorpirifos
Aldrin	Cis-Clorfenvinfos
Alfa-Lindano	Diazinon
Beta-Lindano	Diclorvos
Cis-Clordano	Dimetoate
Cipermetrina	Dorsban
Delta-Lindano	Etil Paration
Dieldrin	Fenitrotion
Endosulfan I	Fention
Endosulfan I	Fosalone
Endosulfan II	Malation
Endosulfan II	Metil Bromofos
Endosulfan Sulfato	Metil Clorpirifos
Endrin	Metil Paration
Endrin Aldehido	Mevinfos
Endrin Cetona	Profetamfos
Gamma-Lindano	Triazofos
Heptaclor	Tridemofon
Heptaclor Epoxido	
Metoxiclor	
Trans-Clordano	
LDM = 10 µg/L	LDM = 5 µg/L

(LDM) = Límite de Detección del Método.

Tabla 14.  
Concentraciones de metales pesados en las aguas del embalse El Guájaro

Campañas	Estación de muestreo	Zn (LDM = 0,1)	Cr (LDM = 0,2)	Ni (LDM = 0,25)	Pb (LDM = 0,001)	Cd (LDM = 0,00032)	Hg (LDM = 0,00014)
CO	E5	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	0,00252
	E6	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	0,00112
CD	E1	<LDM	<LDM	<LDM	0,00111	0,00046	0,00150
	E2	0,14	<LDM	<LDM	0,00123	0,00032	0,00215
	E3	<LDM	<LDM	<LDM	0,00129	0,00906	0,00110
	E4	<LDM	<LDM	<LDM	0,01990	0,00868	0,00057
	E5	<LDM	<LDM	<LDM	0,00762	0,00341	0,00075
	E6	<LDM	<LDM	<LDM	0,01337	0,00341	0,00045
Decreto 1594/1984	Riego Agrícola (mg/L)	2	0,1	0,2	5	0,01	*
	Uso doméstico (mg/L)	15	0,05	*	0,05	0,01	0,002
NTC 813	Consumo Humano (mg/L)	5	0,05	*	0,01	0,005	0,001
OMS 2006	Consumo Humano (mg/L)	*	0,05	0,07	0,01	0,003	0,006

NOTA: Límites permisibles del Decreto 1594 de 1984, NTC 813 (normativas colombianas) y OMS de 2006.

(LDM): Límite de Detección del Método (mg/L).  
<L.D.: menor al límite de detección.  
CO: campaña de octubre.  
CD: campaña de diciembre.

<sup>3</sup> La reglamentación no ha propuesto ningún valor de referencia.

### Análisis de la distribución de metales pesados en el embalse El Guájaro

Durante la campaña de octubre no se detectó la presencia de los metales pesados Pb, Zn y Cd. Adicionalmente, los metales pesados Cr y Ni no se detectaron en ninguna de las dos campañas (octubre y diciembre).

Durante la segunda campaña realizada en el mes de diciembre, se detectaron valores para Hg, Cd, Pb y Zn. En el caso del Pb, se reportó para todas las estaciones con valores que van desde 0,00111 mg/L a 0,0199 mg/L, siendo este último la concentración más alta correspondiente a la E4 (Figura 33). De igual manera, se halló la presencia de Cd en todas las estaciones evaluadas con concentraciones desde 0,00032 mg/L a 0,00906 mg/L. El centro del embalse se presentó mayor concentración del metal pesado (Figura 35), en las E3 y E4 se hallaron los valores más altos con 0,00906 mg/L y 0,00868 mg/L, respectivamente.

En los resultados obtenidos del muestreo realizado en el mes de octubre, se detectaron únicamente valores de Hg en las E5 y E6 con concentraciones de 0,0025 mg/L y 0,0011 mg/L, respectivamente. El Hg también fue detectado en todas las estaciones evaluadas durante el mes de diciembre, se encontraron valores de 0,00045 mg/L a 0,00215 mg/L (Figura 37), la parte norte del embalse representa las concentraciones más altas (E1, E2, y E3).

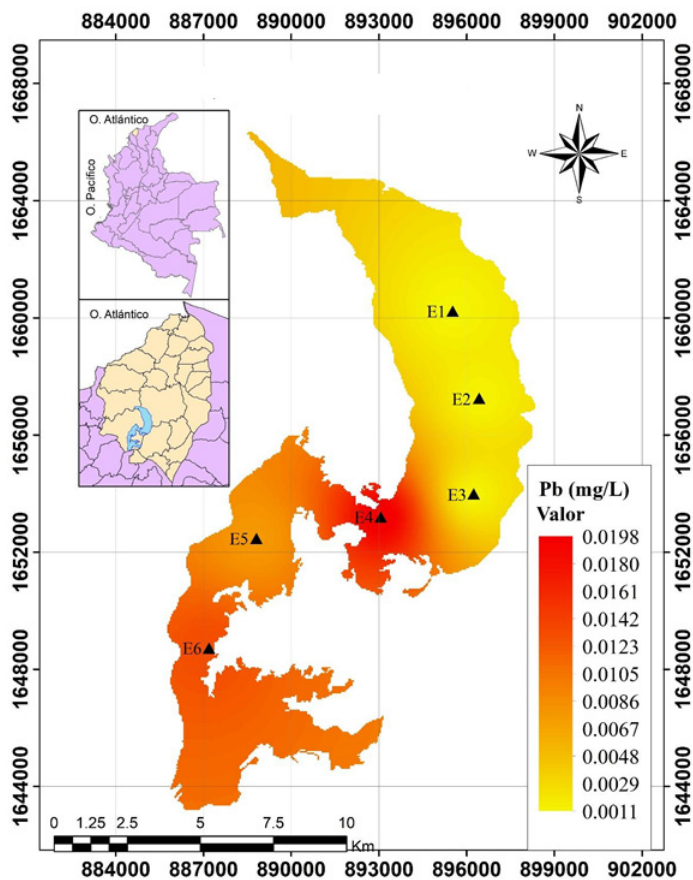


Figura 33. Distribución del Pb en el embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

Se compararon los niveles de concentraciones de Pb con respecto a los límites permisibles establecidos por la reglamentación colombiana (Decreto 1594 de 1984) y NTC 813 e internacional (OMS, 2006), tal como se ilustra en la figura 34.

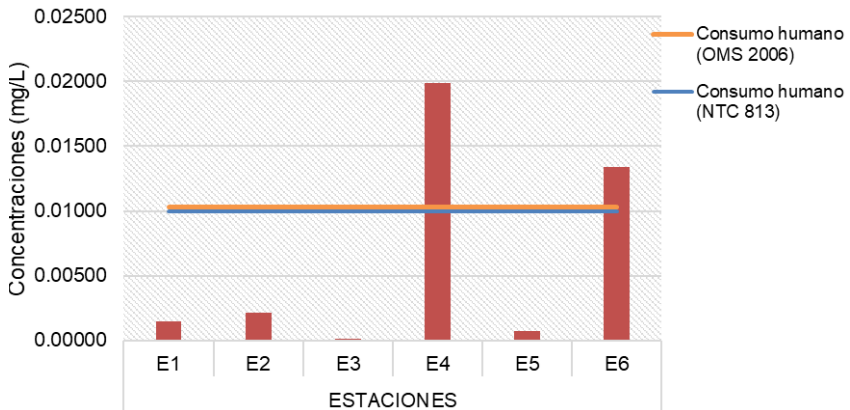


Figura 34. Valores del Pb en agua vs. valores de referencia según las normas.

Pb en los muestreos de octubre no se detectó en ninguna de las estaciones; mientras que en la campaña de diciembre Pb se detectó en todas las estaciones evaluadas. Los valores detectados de Pb superaron el límite permisible determinado por la normativa internacional (OMS) y la nacional NTC 813, establecido en 0,01 mg/L para consumo humano en las estaciones E4 y E6. Por el contrario, las concentraciones de Pb no



superaron los límites permisibles para riego agrícola (5 mg/L) y uso doméstico (0,05 mg/L) establecidos en el decreto 1594 de 1984.

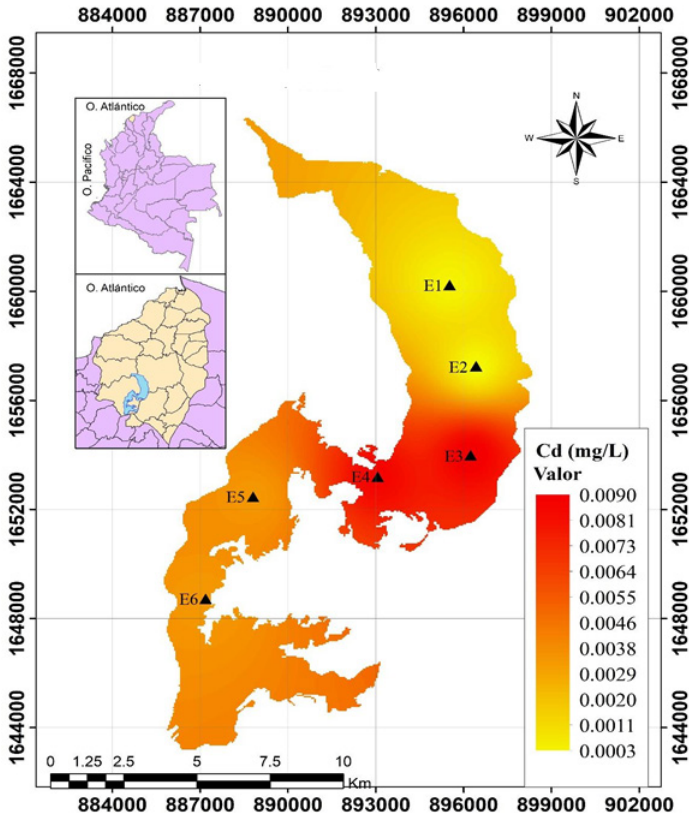


Figura 35. Distribución del Cd en el embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

Adicionalmente, se compararon los niveles de concentraciones de Pb con respecto a los límites permisibles establecidos por la reglamentación colombiana (Decreto 1594 de 1984) y NTC 813 e internacional (OMS, 2006), tal como se ilustra en la figura 36.

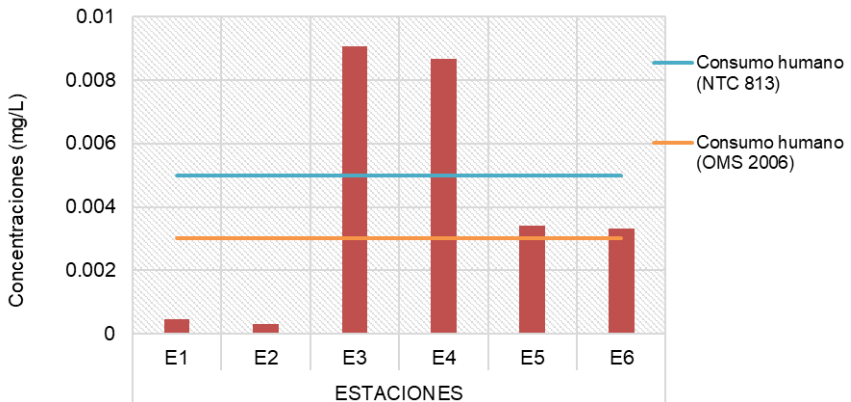


Figura 36. Valores del Cd en agua vs. valores de referencia según las normas.

El metal pesado Cd en los muestreos de octubre no se detectó en ninguna de las estaciones; mientras que en la campaña de diciembre el Cd se detectó en todas las estaciones evaluadas.

Los valores detectados de Cd superaron el límite permisible determinado por la normativa internacional (OMS) establecido en 0,003 mg/L para consumo humano en las estaciones E3, E4, E5 y E6.

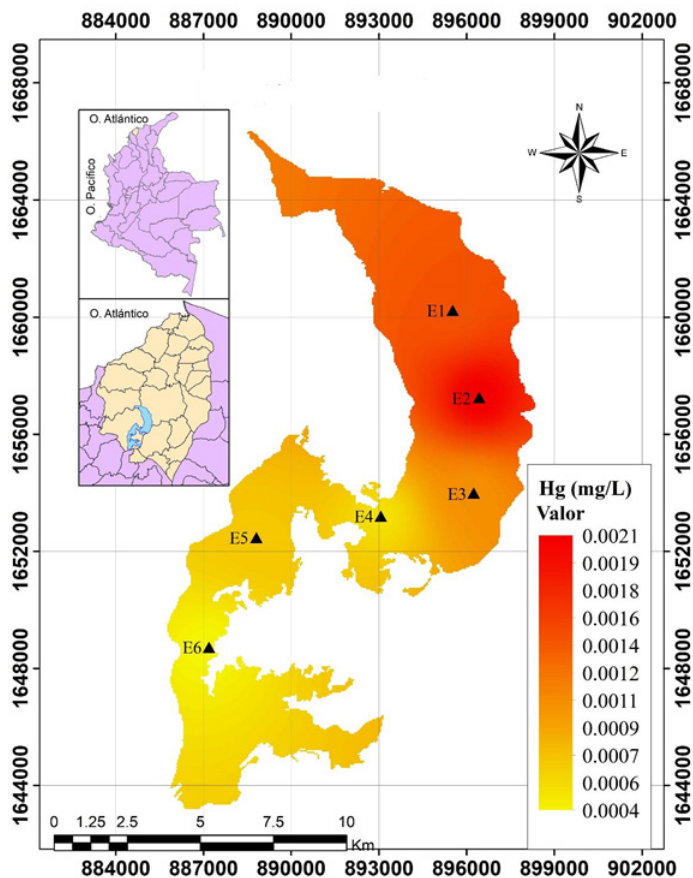


Figura 37. Distribución del Hg en el embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

De igual manera, se superaron los límites permisibles para la normativa nacional NTC 813, establecido en  $0,005 \text{ mg/L}$  para consumo humano en las estaciones E3 y E4. Por el contrario, los límites establecidos en el decreto 1594 de 1984 para riego agrícola y uso doméstico no fueron excedidos en ninguna de las estaciones muestreadas debido a que las concentraciones fueron menores a  $0,01 \text{ mg/L}$ , valor establecido en la normativa.

Por otra parte, se compararon los niveles de concentraciones de Pb con respecto a los límites permisibles establecidos por la reglamentación colombiana (Decreto 1594 de 1984) y NTC 813 e internacional (OMS, 2006), tal como se ilustra en la figura 38.

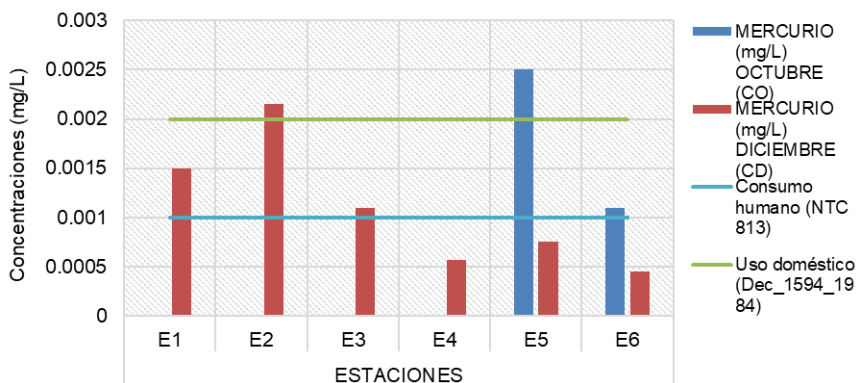


Figura 38. Valores del Hg en agua vs. valores de referencia según las normas.

En los muestreos de octubre se detectó Hg en las estaciones E5 y E6; adicionalmente, en la campaña de diciembre el Hg se detectó en todas las estaciones evaluadas.

Los valores detectados de Hg no superaron el límite permisible determinado por la normativa internacional (OMS) establecido en 0,006 mg/L, para consumo humano. Por el contrario, se superaron los límites permisibles para la normativa nacional NTC 813, establecido en 0,001 mg/L para consumo humano, en las estaciones E5 y E6 en la campaña de octubre y en las estaciones E1, E2 y E3 en la campaña de diciembre. De igual manera, los límites establecidos en el decreto 1594 de 1984 para uso doméstico fueron excedidos en la estación E5 en la campaña de octubre y E2 en la campaña de diciembre, debido a que las concentraciones mayores a 0,02 mg/L, valor establecido en la normativa.

El decreto 1594 de 1984 no ha propuesto ningún valor de referencia para los límites permisibles de Hg en riego agrícola.

## Niveles de Zinc

Con respecto al Zn, sólo se detectaron niveles de concentración en la estación E2, en la campaña de diciembre, con un valor de 0,14 mg/L (las concentraciones no se representaron en el mapa de distribución ya que su valor fue muy pequeño y sólo se detectó en una estación).

La concentración de Zn no superó los límites establecidos en las normativas nacionales ya que estos estuvieron por debajo de 5 mg/L para la NTC 813, al igual que en el Decreto 1594 de 1984 (15 mg/L para uso doméstico y 2 mg/L para riego agrícola). Con respecto a la normativa internacional, la OMS no ha propuesto ningún valor de referencia para los límites permisibles de Zn para consumo humano.

### Discusión de resultados

Los resultados obtenidos mediante los análisis de laboratorio, para las dos campañas de monitoreo, muestran que no se detectaron plaguicidas en las aguas superficiales del embalse El Guájaro. Esta condición puede atribuirse a varios factores, iniciando con la dinámica hidrobiológica del embalse donde se transportan 60.000 ton/año de sedimentos por el flujo de agua a través de las compuertas del embalse y 50.000 ton/año, provenientes del río Magdalena por el canal del Dique.

Adicionalmente, las inundaciones por la ruptura del Canal del Dique ocurridas en el año 2010, agravó el problema de sedimentación que venía presentado el embalse por la erosión laminar de los suelos en la cuenca (CRA, 2014a). Estos eventos podrían haber provocado que los plaguicidas usados durante los años siguientes fueran arrastrados por escorrentía al cuerpo de

agua y se adhirieron a las partículas en suspensión (Rodríguez, Robledo, Jáuregui, Quintero, Ramírez, Tovar y Espinosa, 2008).

Complementariamente, se debe tener en cuenta la poca actividad agrícola en la zona en los últimos años, en cierta parte por la sequía e inundaciones. Durante el año 2010 no hubo cosecha principalmente como consecuencia al fenómeno del niño. Cabe recordar que el primer periodo del año 2014 trajo consigo una larga temporada de sequía impidiendo la siembra de los cultivos, por tal motivo, se presentó una considerable disminución en la aplicación de productos químicos.

Por otro lado, la persistencia de los plaguicidas en un compartimiento ambiental depende de la eficiencia de los procesos de degradación natural (Narváez et al., 2012). El comportamiento de un plaguicida en el medio, como por ejemplo el Lorsban 4E que fue el más aplicado, según su ficha técnica, su densidad relativa es de 1,076 g/mL (a 20°C) y de acuerdo a los reportes de Quinchía, Gómez, Palencia y Giraldo (2006) se presentaba baja solubilidad en el agua. Adicionalmente, la densidad depende en gran parte de la temperatura: la solubilidad del plaguicida aumentará si la temperatura es mayor, y de acuerdo a los datos tomados *in situ*, la temperatura en el embalse fue relativamente alta, es decir, este factor ayuda al plaguicida a disolverse mucho más rápido.

En relación con la contaminación por metales pesados en aguas, es muy difícil de detectar a través del monitoreo medio ambiental. Estas concentraciones suelen ser más bajas que las encontradas en los sedimentos, o en las especies de fauna y flora presentes en los cuerpos de agua, por esto en ocasiones un nivel bajo de contaminación en la columna de agua no necesariamente indica contaminación baja (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006).

La presencia de metales pesados en el embalse El Guájaro puede atribuirse al vertido de aguas residuales sin previo tratamiento (Herrera et al., 2013). También, el uso de plaguicidas y abonos en las actividades agrícolas cuyos residuos pueden ser arrastrados hasta el embalse y a las aguas de escorrentías formadas en la época lluviosa (Fuentes, Rojas, Díaz y Martínez, 2010).

Los sedimentos provenientes de la explotación de canteras en Luruaco, Rotinet y Arroyo de Piedra, también pueden ser arrastrados y este comportamiento se ha estimado con niveles entre el 10% y el 15%, frente al total de otros sedimentos aportados (CRA, 2014a). Por su parte, Padilla (2015), reportó que el total del caudal de aguas residuales que se vierte al embalse es de alrededor de 1,05 ( $m^3/s$ ) y la CRA (2014a) afirman que existen cerca de 45 explotaciones mineras en todo el territorio de la zona de estudio; de las cuales 20 se encuentran activas.



De igual forma, también se presenta la minería de subsistencia sobre los cauces de los arroyos.

Con relación a las labores agrícolas y, en particular la utilización de compuestos metálicos como productos fitosanitarios en el Distrito de Riego de Repelón, se establece que han supuesto una fuente común de contaminación ambiental (Blanco, Gutiérrez, Jiménez, Santiago y Manzano, 1998), afectando cuerpos de agua cercanos a las zonas de aplicación de dichos contaminantes, en especial del embalse El Guájaro que recibe aguas residuales provenientes de estas actividades (CRA, 2014a).

El transporte de ciertos contaminantes se incrementa cuando los períodos de flujo de agua de un río son altos, entonces es posible que la presencia de metales pesados en el embalse se deba al período de lluvias que se presentó entre los meses de agosto-noviembre, lo cual ocasiona un mayor arrastre de constituyentes químicos (orgánicos e inorgánicos) provenientes de fuentes de contaminación (Gómez, Villalba, Acosta, Castañeda y Kamp, 2004). Complementariamente, los efluentes domésticos que contienen desechos metabólicos y productos de consumo (jabones y detergentes) contribuyen con cantidades apreciables de Cu, Cd, Cr, Pb, Zn, entre otros (Gómez et al., 2004).

Colombia durante los años 2010 y 2011, afrontó una de las temporadas invernal de mayor

impacto y entre los departamentos más afectados fue el Atlántico. Se pueden atribuir los niveles de metales pesados a este suceso, puesto que las fuertes lluvias ocasionaron el aumento del caudal del río Magdalena y del embalse El Guájaro (Yacomelo-Hernández, 2014).

Estas concentraciones de metales pesados cuantificadas en los suelos, se presume que también provienen del resultado de las continuas actividades mineras (extracción de oro y plata) e industriales, realizadas alrededor del Río Magdalena en el transepto de Magangué a Calamar. Lo anterior, constituye un elemento clave en el presente análisis, teniendo en cuenta que las demás minerías existentes desde la desembocadura del Río Magdalena depositan sus sedimentos en los humedales de la Mojana (el río Magdalena desemboca en Bocas de Cenizas en Barranquilla), ya que se trata de un delta interior donde concluyen grandes cantidades de agua y sedimento (Yacomelo-Hernández, 2014).

Adicionalmente, la incineración de residuos urbanos libera entre 0,4 g y 3,5 g Hg/ton residuo. Teniendo en cuenta las deficiencias en el manejo de residuos sólidos en municipio de Repelón, es posible que la mayor parte de la población incinere los residuos domésticos, ocasionando la liberación de Hg al aire, columnas de agua y suelo.

Por otro lado, los parámetros fisicoquímicos pueden influenciar fuertemente el comportamiento de los metales pesados (Gómez et al., 2004). La disminución del pH en el sustrato puede causar toxicidades metálicas, incluso si no se ha añadido metal adicional al sistema, puesto que este ejerce un efecto sobre la biodisponibilidad de la mayoría de los metales pesados al afectar el equilibrio entre la especiación metálica, solubilidad, adsorción e intercambio de iones (Reichman, 2002). Teniendo en cuenta que en el agua analizada en el embalse se encontraron valores de pH de neutros a alcalinos (7,64 a 8,88 respectivamente), se puede afirmar que los metales pesados están menos disponibles, puesto que un porcentaje importante se ha precipitado como hidróxidos insolubles, carbonatos y complejos orgánicos (Mancilla-Villa, Ortega-Escobar, Ramírez-Ayala, Uscanga-Mortera, Ramos-Bello y Reyes-Ortigoza, 2012; Silveira-Azevedo et al., 2003)

No obstante, Hg, Cd y Pb, a diferencia del Zn, fueron los metales pesados que sobrepasaron los límites máximos permisibles en agua para consumo humano, según la normativa internacional (OMS) y la nacional NTC 813. Posiblemente, estas se encuentran asociados con partículas suspendidas del agua, que tienden a estar menos disponibles a pH alcalinos.

Con respecto al agua para uso de riego, las concentraciones de los metales analizados están por

debajo de los límites máximos permisibles, por lo cual, el agua puede ser utilizada sin riesgo. Sin embargo, de acuerdo con este mismo decreto se debe tener restricción del agua para uso doméstico.

### Conclusiones y Recomendaciones

La ausencia de plaguicidas en las aguas superficiales del embalse El Guájaro, puede atribuirse a muchos factores: iniciando con las inundaciones por la ruptura del Canal del Dique, lo cual pudo haber provocado que los plaguicidas usados durante los años siguientes fueran arrastrados por escorrentía al cuerpo de agua y se adhirieran a las partículas en suspensión o en su defecto a los sedimentos, debido a la afinidad de los plaguicidas con estas partículas. Además, se debe tener en cuenta la poca actividad agrícola en la zona en los últimos años lo que está relacionado con la disminución en la aplicación de los plaguicidas; por otro lado, la temperatura en el embalse es relativamente alta, y el *pH* es alcalino, estos dos factores ayudan al plaguicida a degradarse mucho más rápido. Finalmente, otra posible causa de la no detección de plaguicidas en agua puede relacionarse al límite de detección del laboratorio al cual se enviaron las muestras para su estudio, puesto que los límites están entre 5,0  $\mu\text{g/L}$  y 10,0  $\mu\text{g/L}$ , y estos contaminantes en ocasiones se encuentran en concentraciones menores.

De otra parte, cabe anotar que fue posible la detección de metales pesados tales como Hg, Cd, Pb y Zn. Los metales pesados Hg, el Cd y el Pb, superaron los límites máximos permisibles en agua para consumo humano; con respecto al agua para uso de riego, las concentraciones de los metales analizados están por debajo de los límites máximos permisibles. Sin embargo, se debe tener restricción del agua para uso doméstico, debido a que dos muestras de agua superaron el límite permisible de Hg, mientras que las concentraciones para los otros metales se presentaron por debajo del límite máximo permisible para uso doméstico.

Los anteriores hallazgos, ameritan una revisión por parte de los entes reguladores, dado que es posible que la población que consume productos de la zona (peces, camarones, entre otros) está en contacto directo o indirecto con estos metales pesados.

Estos resultados brindan evidencia y confirman la creciente preocupación por la polución de las fuentes hídricas en el departamento del Atlántico, lo cual resalta la necesidad de generar información sobre el grado de contaminación existente; para coadyuvar a determinar su origen y desarrollar estrategias adecuadas dirigidas a reducir el escurrimiento de sustancias tóxicas a esta región, con el especial fin de proteger la calidad del agua, la vida de los organismos acuáticos y la salud de la población de las comunidades locales.

**PLAGUICIDAS Y METALES  
PESADOS EN SEDIMENTOS  
SUPERFICIALES DEL EMBALSE  
EL GUÁJARO**

Este apartado final contiene el análisis de los principales hallazgos derivados de la medición y monitoreo sobre la presencia de plaguicidas y metales pesados, presentes en las diferentes muestras de sedimentos superficiales en el embalse El Guájar. Inicialmente se presentan los resultados generales, posteriormente se estiman los índices de concentración para metales pesados identificados en el análisis de sedimentos superficiales, con sus correspondientes niveles de carga, contaminación y geoacumulación, para finalmente ser integrados en la discusión y formulación de conclusiones y recomendaciones.

## Resultados obtenidos

Los resultados de la evaluación de la concentración de plaguicidas organoclorados y organofosforados en los sedimentos del embalse el Guájaro (Tabla 15), manifiestan el hallazgo de clorpirifos en los puntos de muestreo evaluados en la campaña de octubre (E5: 0,01578 mg/Kg y E6: 0,01308 mg/Kg) y cipermetrina sólo en tres puntos de la campaña de diciembre (E1: 0,02098 µg/Kg, E2: 0,03053 mg/Kg y E5: 0,04689 mg/Kg).

Tabla 15.  
*Plaguicidas detectados en los sedimentos del embalse el Guájaro.*

Campañas	Estaciones de muestreo	Plaguicidas	
		Clorpirifos (LDM = 0,005)	Cipermetrina (LDM = 0,010)
CO	E5	0,01578	ND
	E6	0,01308	ND
CD	E1	ND	0,02098
	E2	ND	0,03053
	E3	ND	ND
	E4	ND	ND
	E5	ND	0,04689
	E6	ND	ND

ND: No detectado.  
(LDM): Límite de Detección del Método (mg/Kg).  
CO: Campaña de Octubre,  
CD: Campaña Diciembre

Cabe resaltar que la presencia de estos contaminantes coincidió con el inicio de la siembra en la zona aledaña al embalse, puesto que este proceso lo realizan durante el periodo de lluvias (Tabla 15).

Los metales pesados totales (Hg, Pb, Zn, Cr, Ni y Cd) en los sedimentos del embalse El Guájaro, durante las dos campañas de muestreo se detectaron en su totalidad. Los resultados correspondientes a la campaña de diciembre fueron representados a través de mapas de distribución espacial elaborados en ArcGis 10 para detectar las zonas de mayor o menor concentración.

En general, los metales pesados Hg (Figura 39), Pb (Figura 41) y Ni (Figura 47) presentaron mayores concentraciones en las zonas centro y sur de los sedimentos del embalse El Guájaro. Adicionalmente, los metales pesados Cr (Figura 45) y Zn (Figura 49) presentaron las mayores concentraciones y estas se distribuyeron en todas las estaciones muestreadas, con excepción de la E3, la cual se encuentra en la zona centro del embalse. Finalmente, Cd se encontró en mayores concentraciones en la zona sur (Figura 13). La Tabla 16 muestra los resultados de las concentraciones de los metales pesados en los sedimentos del embalse El Guájaro.



Tabla 16.  
Metales pesados detectados en los sedimentos del embalse El Guájaro.

Campañas	Estaciones de muestreo	Metales pesados					
		Hg (LDM = 1,0)	Pb (LDM = 0,007)	Zn (LDM = 5,0)	Cr (LDM = 3,0)	Ni (LDM = 5,0)	Cd (LDM = 0,001)
CO	E5	0,106	11,720	111,280	75,510	42,480	4,110
	E6	0,091	8,800	92,560	64,780	37,140	3,810
CD	E1	0,018	7,315	135,370	62,110	40,850	1,676
	E2	0,062	7,645	122,370	55,210	38,960	1,211
	E3	0,057	3,755	96,260	ND	30,920	0,591
	E4	0,058	9,548	116,900	46,270	40,830	1,867
	E5	0,109	13,863	119,160	81,850	58,280	1,945
	E6	0,102	18,067	137,387	73,330	48,810	5,628
	NOAA <sup>4</sup>	0,051	17	38	13	99	0,3
CEQG	ISQG	0,174	35	123	37,3	18	0,596
	PEL	0,486	91,3	315	90	36	3,5

ND: No detectado.

LDM: Límite de Detección del Método (mg/Kg).

<sup>4</sup> Límites permisibles propuestos por la NOAA (Buchman, 2008).

<sup>5</sup> CEQG (Canadian Environmental Quality Guidelines) Límites permisibles propuestos por la Canadian Council of Ministers of the Environment in Sediment quality guidelines for the protection of aquatic life (Australian y New Zealy y Conservation Environment Council y Agriculture y Resource Management Council of Australia y New Zealy, 2000; Buchman, 1999).

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

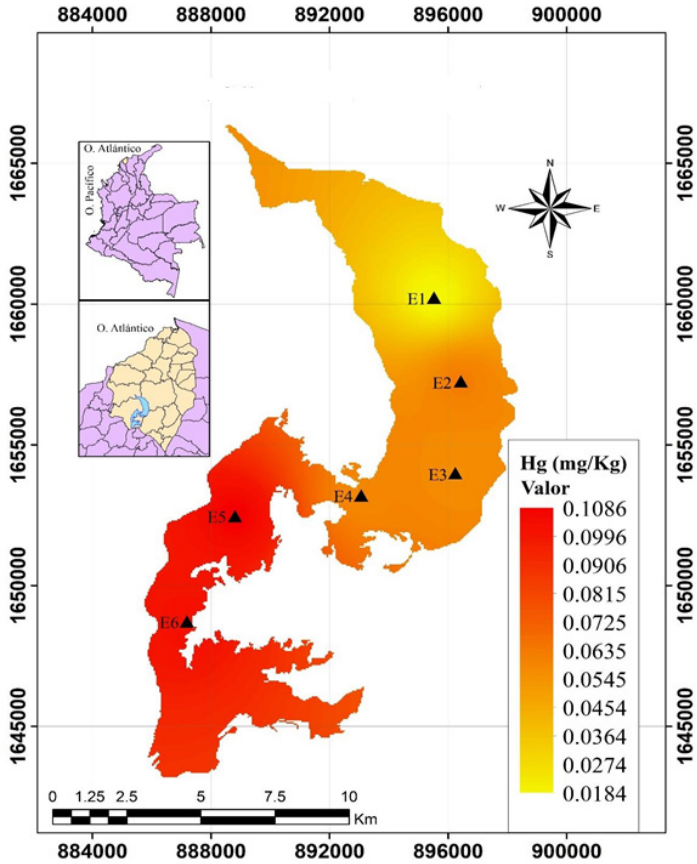


Figura 39. Niveles del Hg en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

Al comparar las concentraciones con las normativas, con excepción de la E1 las concentraciones del metal pesado Hg en los sedimentos supera los límites exigidos por la NOAA (0,051 mg/Kg), (Buchman, 2008). Por el contrario, las concentraciones de Hg en los sedimentos cumplen las normativas de la CEQG donde ISQG (0,174 mg/Kg) y PEL (0,486 mg/Kg) no superaron los límites propuestos por las normativas durante ambas campañas (Figura 40).

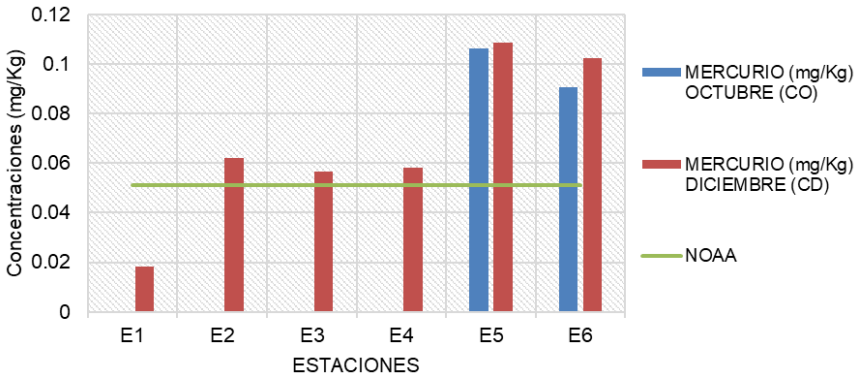


Figura 40. Niveles del Hg en los sedimentos del embalse El Guájaro vs. valores de referencia según la NOAA e CEQG.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

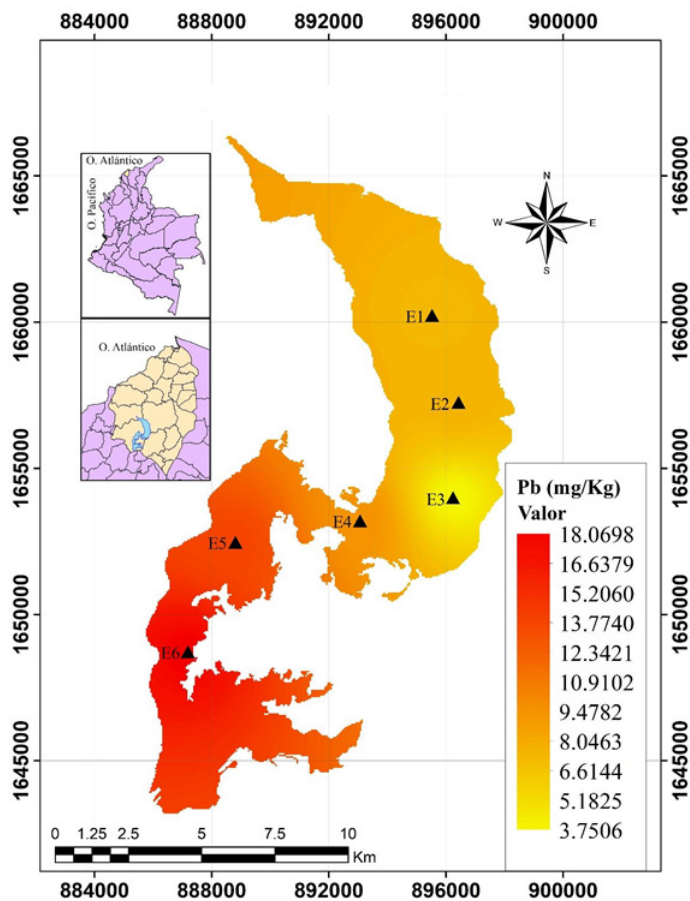


Figura 41. Niveles del Pb en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

Durante las campañas realizadas, se presentaron valores cuantificables de Pb todas las estaciones. En la campaña de octubre la concentración mínima encontrada correspondió a 8.800 mg/Kg en la E6 y máxima de 11.720 mg/Kg para E5. Durante la campaña de diciembre, los valores fluctuaron de 3.755 mg/Kg en E3 a 18.067 mg/Kg en E6 lo que indica un aumento en las concentraciones del Pb (Figura 42).

Por otra parte, al comparar las concentraciones con las normativas, la E6 en la campaña de diciembre, supera los límites permisibles de la NOAA (17 mg/Kg), (Buchman, 2008). Por el contrario, las concentraciones de Pb en los sedimentos cumplen las normativas de la CEQG donde ISQG (35 mg/Kg) y PEL (91,3 mg/Kg) no superaron los límites propuestos por las normativas durante ambas campañas (Figura 42).

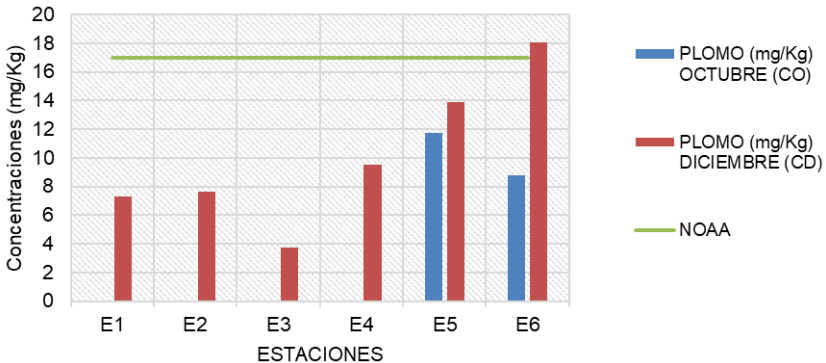


Figura 42. Niveles del Pb en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro vs. valores de referencia según la NOAA e CEQG.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

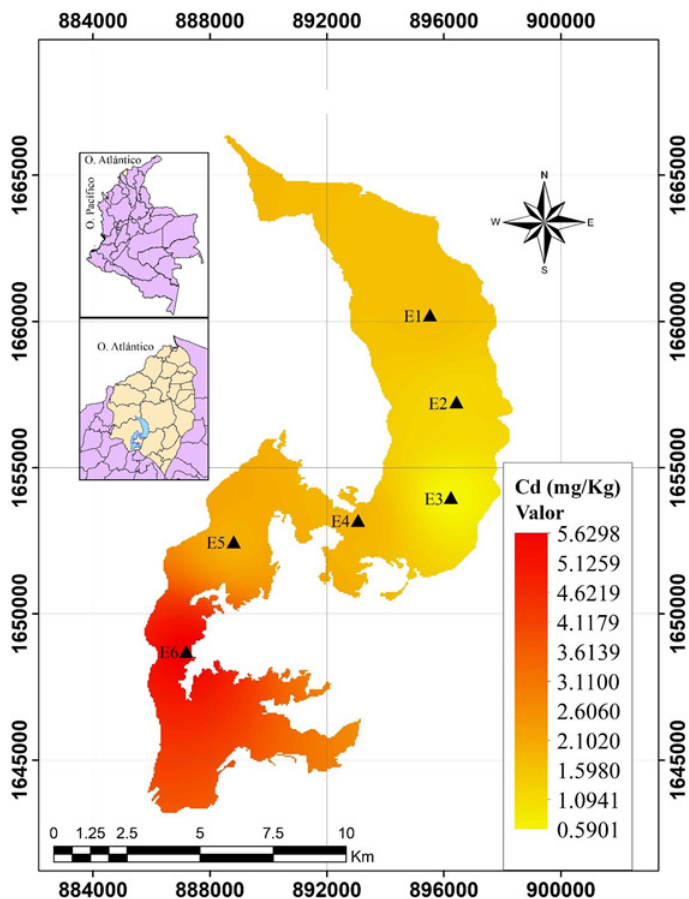


Figura 43. Niveles del Cd en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

El Cd fue encontrado en todas las estaciones evaluadas en las campañas de octubre y diciembre. Con excepción de la E3, las concentraciones de este metal sobrepasan los límites permisibles por la NOAA (0,3 mg/Kg) e ISQG (0,596 mg/Kg) durante las dos campañas de muestreo, (Buchman, 2008). Adicionalmente, las concentraciones de las E5 y E6 de octubre y la concentración de la E6 de diciembre, superaron los límites permisibles de la normativa PEL (3,5 mg/Kg), tal como se ilustra a continuación en la figura 44.

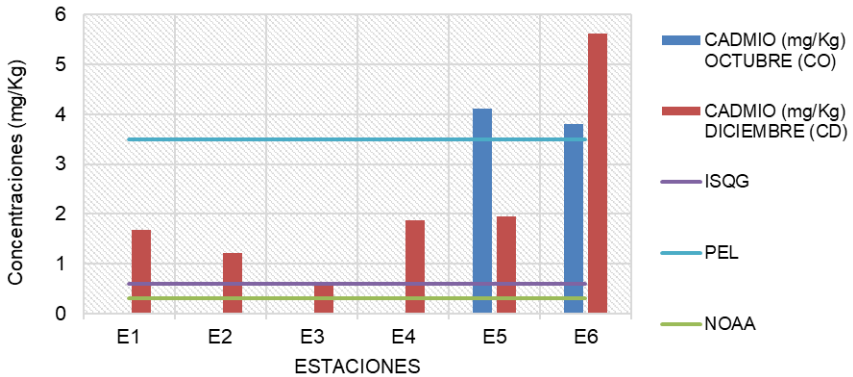


Figura 44. Niveles del Cd en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaró vs. valores de referencia según la NOAA e CEQG.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

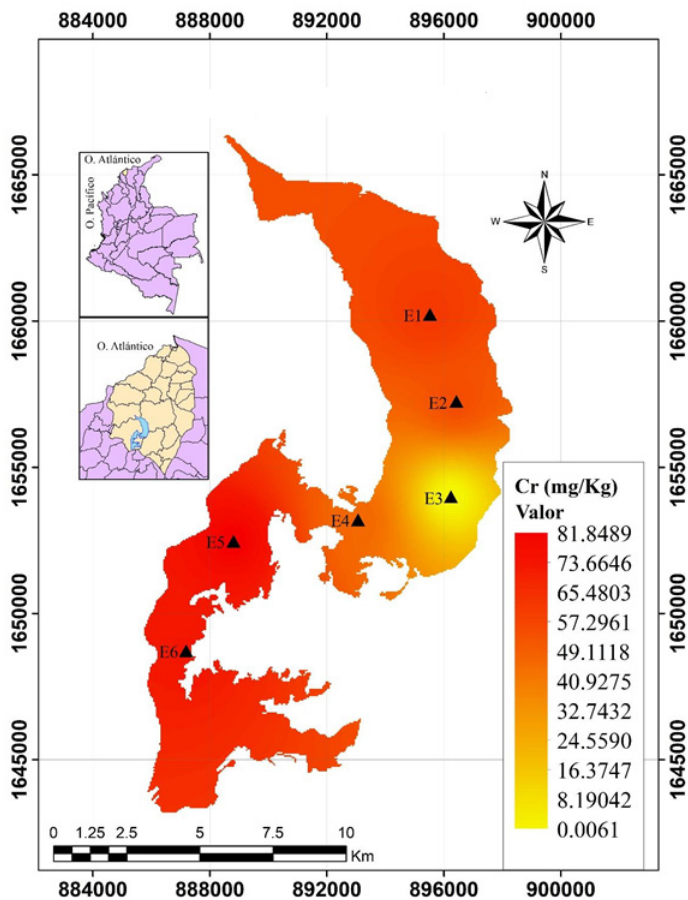


Figura 45. Niveles del Cr en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.



Al comparar las concentraciones con las normativas, todas las estaciones evaluadas durante las dos campañas superan los límites permisibles de la NOAA (13 mg/Kg), tomando como referencia a Buchman (2008) e ISQG (37,3 mg/Kg). Por el contrario, las concentraciones de Cr en los sedimentos cumplen las normativas de la PEL (90 mg/Kg) debido a que no superaron los límites propuestos durante ambas campañas, tal como se ilustra a continuación en la figura 46.

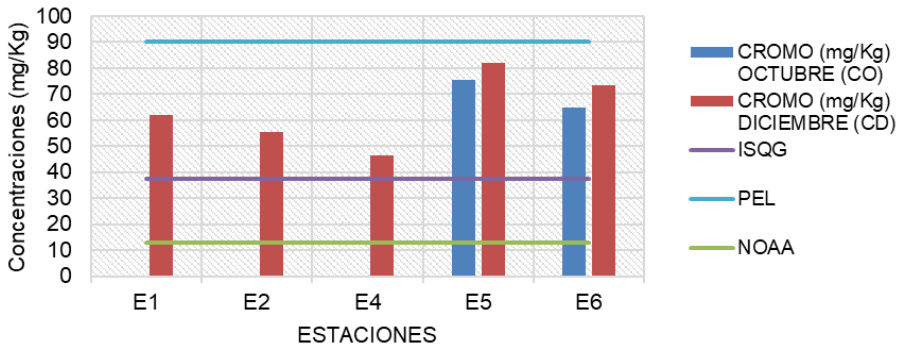


Figura 46. Niveles del Cr en los sedimentos del embalse El Guájaro vs. valores de referencia según la NOAA e CEQG.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

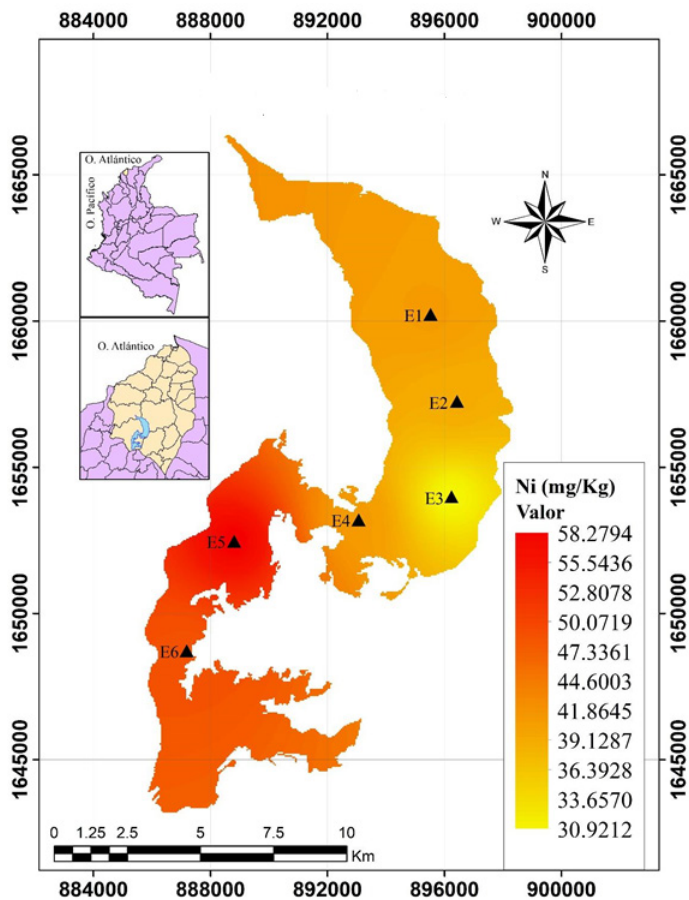


Figura 47. Niveles del Ni en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

Cabe resaltar que el Ni se encontró en todas las muestras evaluadas durante las dos campañas. Se hallaron concentraciones que sobrepasaron los rangos que establecen la NOAA (9,9 mg/Kg), (Buchman, 2008); ISQG (18 mg/Kg) y PEL (36 mg/Kg). Sólo en la estación E3 la concentración de Ni no supera los límites permisibles de PEL, tal como se evidencia con la figura 48.

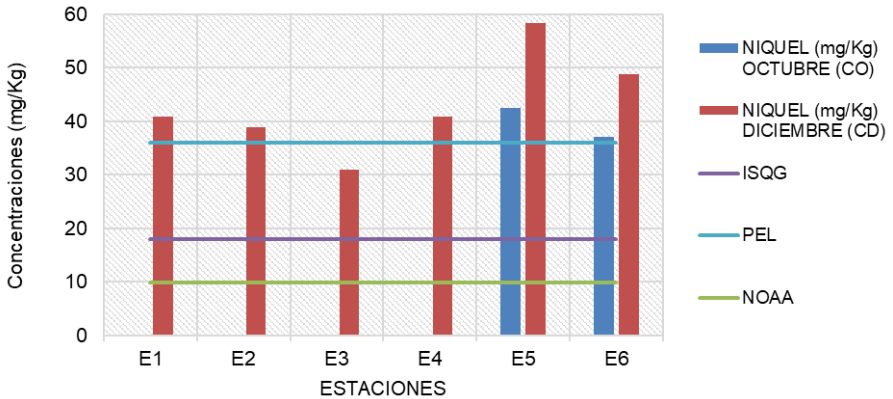


Figura 48. Niveles del Ni en los sedimentos del embalse El Guájaro vs. valores de referencia según la NOAA e CEQG.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

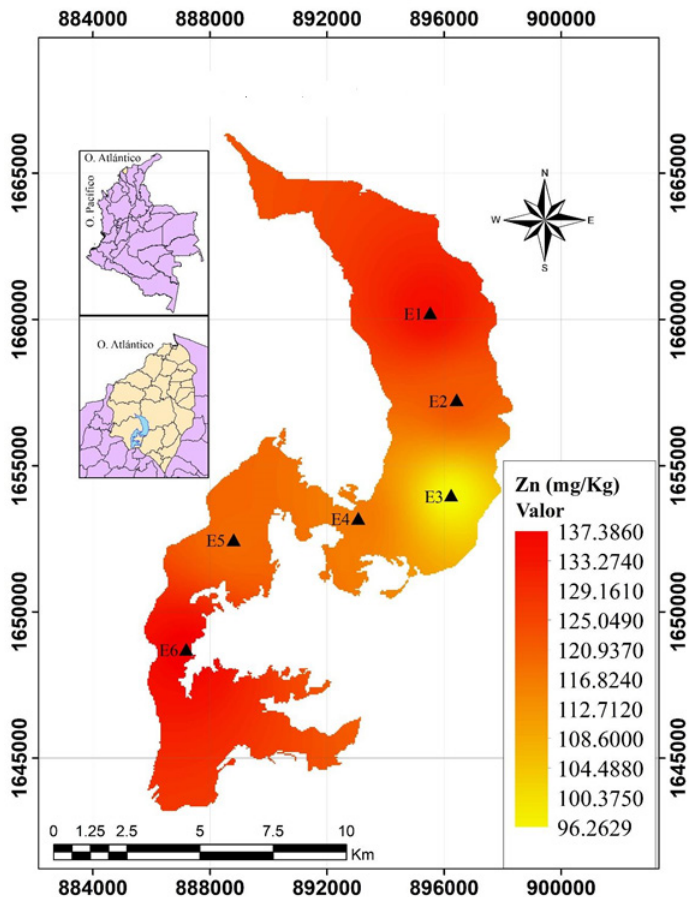


Figura 49. Niveles del Zn en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

Los valores de Zn se presentaron en todas las muestras evaluadas durante las dos campañas de muestreo. Se hallaron concentraciones que sobrepasaron los rangos que establecen la NOAA (38 mg/Kg), (Buchman, 2008). Para la normativa ISQG (123 mg/Kg) se encontró que las estaciones E1 y E6 de la campaña diciembre no cumplen con los límites permisibles. Finalmente, se cumplen con los valores establecidos por la normativa PEL (315 mg/Kg) en todas las estaciones evaluadas durante las dos campañas, tal como se puede comparar gráficamente con la figura 50.

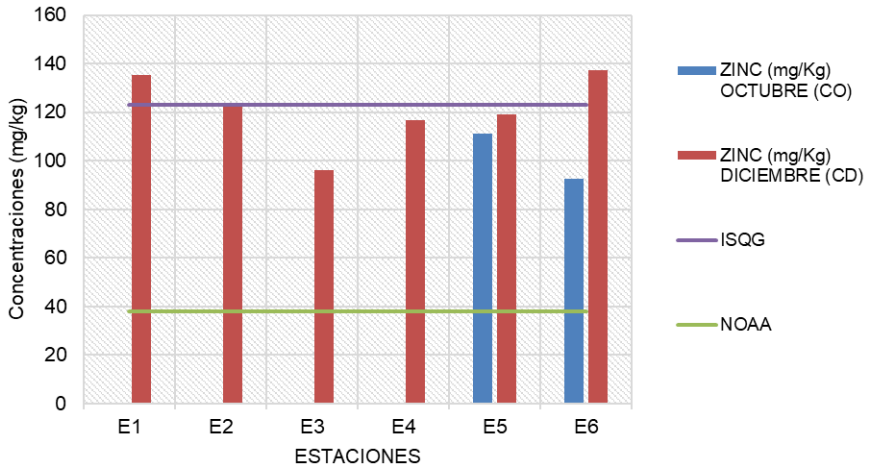


Figura 50. Niveles del Zn en los sedimentos del embalse El Guájaró vs. valores de referencia según la NOAA e CEQG.

## Índices para metales pesados en sedimentos superficiales

Para efectuar los cálculos de los índices, se emplearon como referencia o concentración natural de un elemento con poca o mínima intervención antropogénica, los límites permisibles propuestos por la NOAA (Buchman, 2008). Los resultados obtenidos se registran en la Tabla 17.

Tabla 17  
Índices de metales pesados en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro.

Campaña	Estación	FC							ICC	GC	Igeo					
		Hg	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd	Hg			Pb	Zn	Cr	Ni	Cd	
CO	E5	2,09	0,69	2,93	5,81	4,29	13,70	3,36	29,50	0,48	-1,12	0,97	1,95	1,52	3,19	
	E6	1,78	0,52	<u>2,44</u>	4,98	3,75	12,70	2,85	26,17	0,25	-1,53	<u>0,20</u>	1,73	1,32	3,08	
CD	E1	<u>0,36</u>	0,43	3,56	4,78	4,13	5,59	1,98	18,85	-2,05	-1,80	1,25	1,67	1,46	1,09	
	E2	1,22	0,45	3,22	4,25	3,94	4,04	2,22	17,11	-0,30	-1,74	1,10	1,50	1,39	1,43	
	E3	1,11	0,22	2,53	NC	3,12	<u>1,97</u>	<u>1,31</u>	<u>8,96</u>	-0,44	-2,76	0,76	NC	<u>1,06</u>	<u>0,32</u>	
	E4	1,14	0,56	3,08	<u>3,56</u>	4,12	6,22	2,38	18,69	-0,39	-1,42	1,04	<u>1,25</u>	1,46	2,05	
	E5	<b>2,13</b>	0,82	3,14	<b>6,30</b>	<b>5,89</b>	6,48	3,31	24,75	<b>0,51</b>	-0,88	1,06	<b>2,07</b>	<b>1,97</b>	2,11	
	E6	2,00	<b>1,06</b>	<b>3,62</b>	5,64	4,93	<b>18,76</b>	<b>3,99</b>	<b>36,01</b>	0,42	<b>-0,50</b>	<b>1,27</b>	1,91	1,72	<b>3,64</b>	
Promedio		1,48	0,59	3,06	5,04	4,27	8,68	2,67	22,50	-0,19	-1,47	1,02	1,73	1,49	2,23	
NOAA		0,051	17	38	13	9,9	0,3			0,051	17	38	13	9,9	0,3	

Los resultados en negrilla obedecen a los máximos valores y los subrayados a los valores mínimos.

- CO: campaña octubre.
- CD: campaña diciembre.
- NC: No calculado.
- FC: Factor de Contaminación.
- GC: Grado de Contaminación.
- ICC: Índice de Carga de Contaminantes.
- Igeo: Índice de Geoacumulación

## Factor de contaminación (FC)

Los resultados de factor de contaminación de metales pesados en los sedimentos del embalse El Guájaro organizados en orden descendente corresponde a  $Cd > Cr > Ni > Zn > Hg > Pb$ , indicando que el Cd fue más abundante en comparación con los otros metales, mientras que el Pb presentó las concentraciones más bajas.

Específicamente, el FC del Pb en promedio fue de (0,59), lo cual brinda evidencia de la existencia de un enriquecimiento bajo, con excepción de la E6 de la campaña de diciembre con un valor de (1,06) que se considera moderado (Figura 51). El FC del Cr y Cd, presentaron oscilaciones comprendidas entre (3,56 y 6,30) y (1,97-18,76) comprendiendo rangos considerablemente muy altos, así como de nivel moderado a muy alto respectivamente.

Cabe resaltar que en la E3 no se fue posible calcular este índice para Cr porque no se detectó el elemento (Figura 53 y 52). El FC para el Hg arrojó moderado sin incluir a la E1 de la campaña de diciembre que resultó con un FC moderado (Figura 54). Los resultados del FC para el Ni fueron considerables porque variaron de 3,12 a 5,89 (Figura 55). El FC del Zn osciló entre 2,44 y 3,62; lo cual representa un rango moderado a considerable sin incluir la E3 que arrojó un índice moderado (Figura 56).

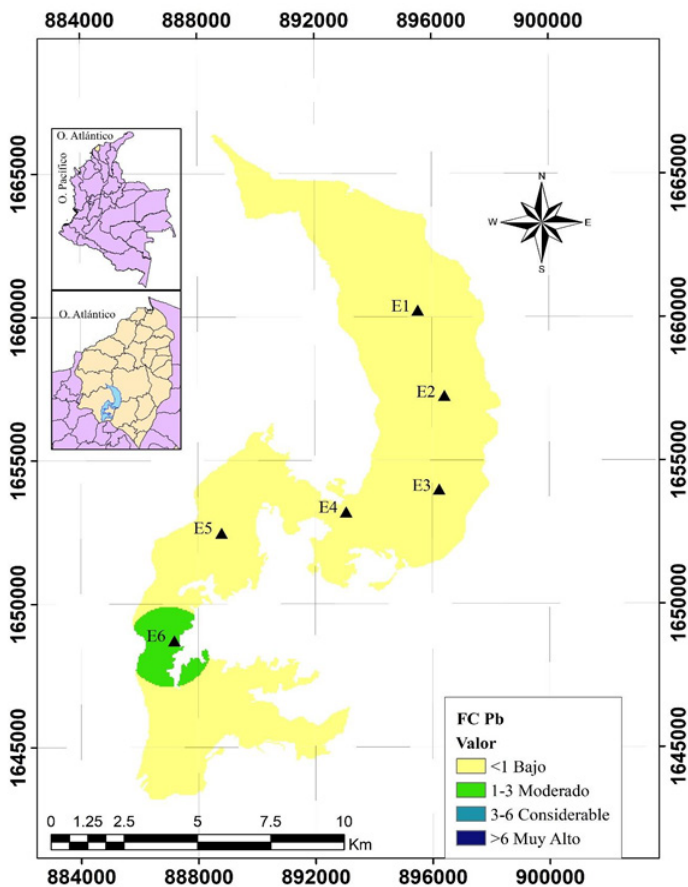


Figura 51. Factor de contaminación del Pb en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre.



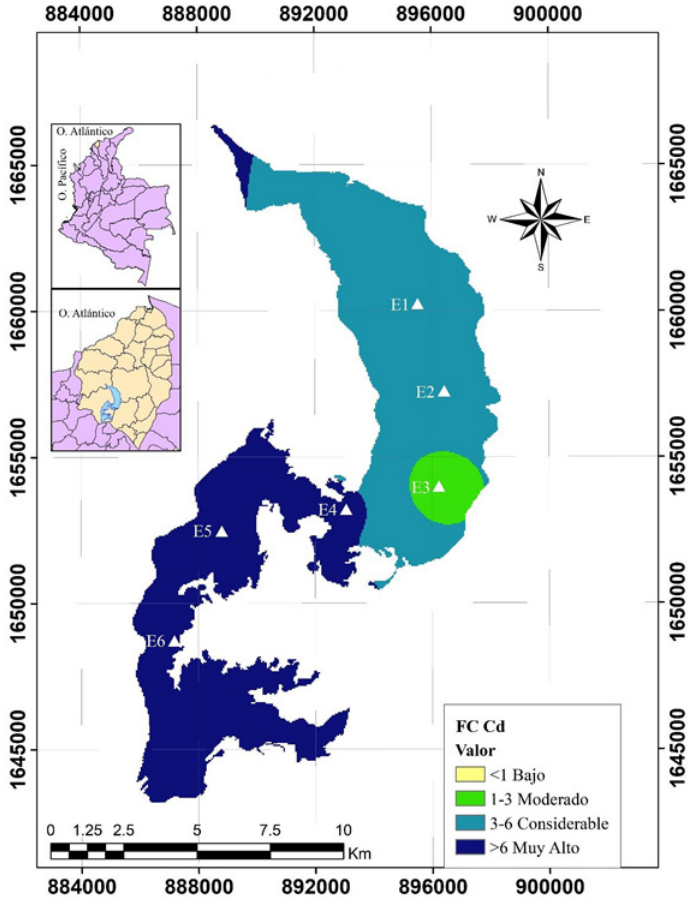


Figura 52. Factor de contaminación del Cd en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

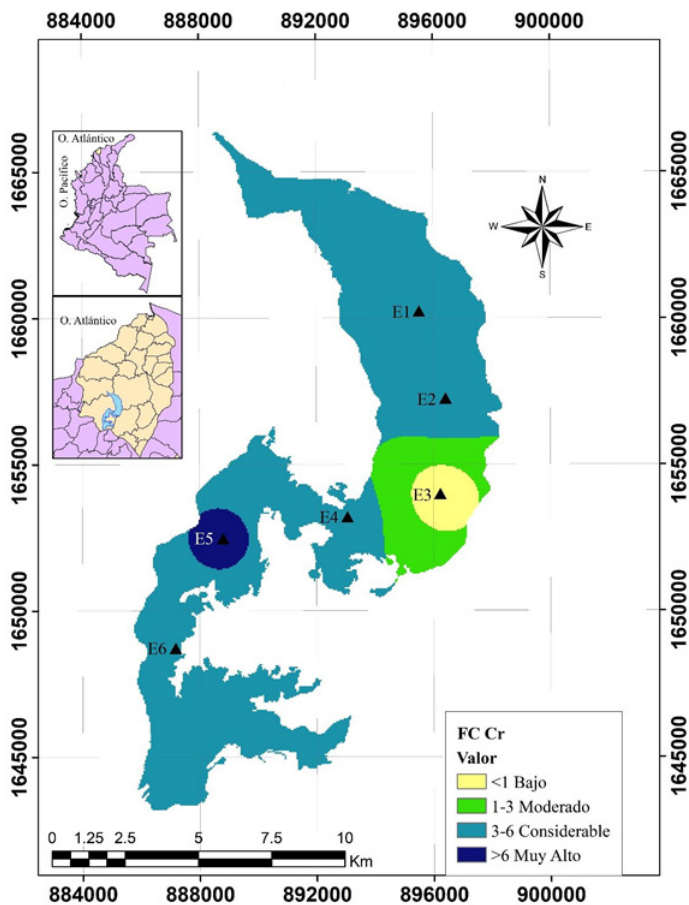


Figura 53. Factor de contaminación del Cr en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

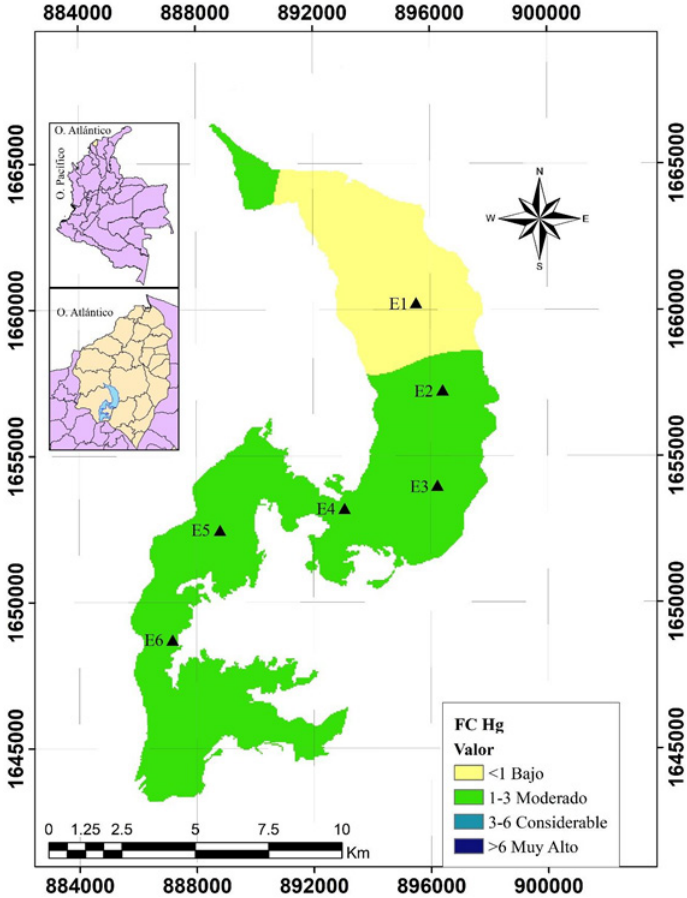


Figura 54. Factor de contaminación del Hg en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

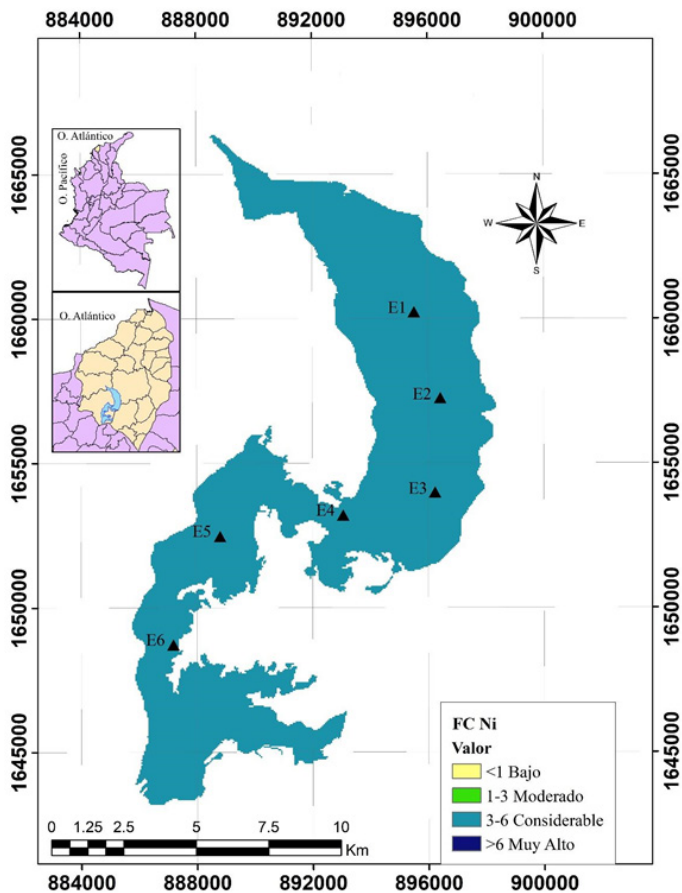


Figura 55. Factor de contaminación del Ni en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

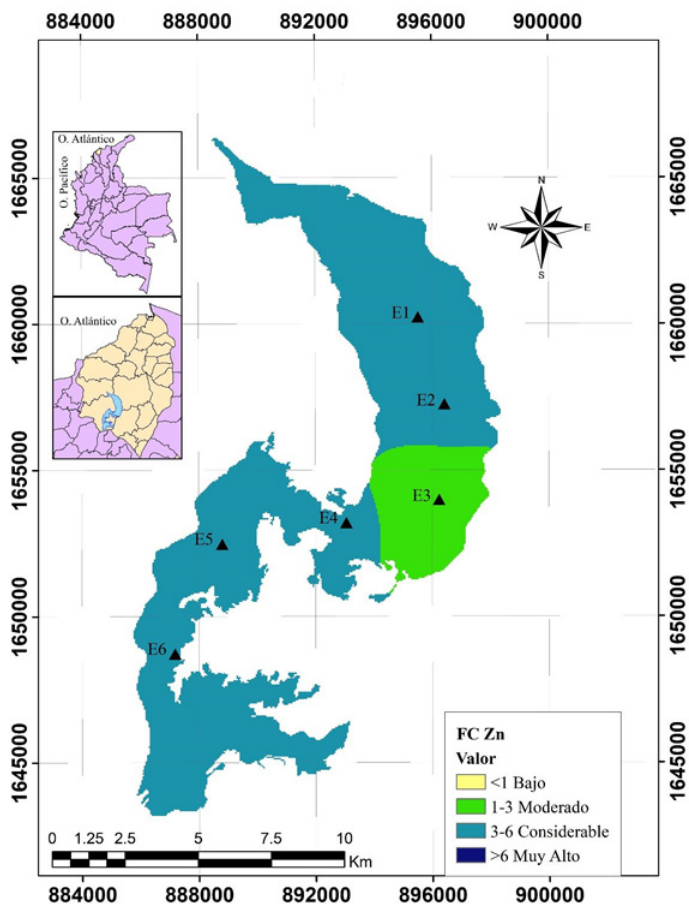


Figura 56. Factor de contaminación del Zn en los sedimentos superficiales del embalse El Guájaró durante la campaña de diciembre.

### Índice de carga de contaminación (ICC)

De acuerdo con el Índice de Carga de Contaminación (Figura 57), las estaciones más afectadas en orden descendente corresponden a  $E6 > E5 > E4 > E2 > E1 > E3$  indicando que el sur del embalse es la zona de mayor concentración de metales en el sedimento. Los resultados presentaron un rango de variación comprendido entre (1,31 y 3,99), es decir, con valores superiores a uno, categorizándose así el embalse El Guájaro, como una zona contaminada.

### Grado de Contaminación (GC)

El Grado de Contaminación mostró que la E3 con un resultado de (8,96) fue de categoría moderada, en las E2, E4 y E1 con concentraciones de (17,11; 18,69 y 18,85) respectivamente, perteneciendo a un GC considerable y las E5 y E6 al GC muy alto con valores para la campaña de octubre de (29,50 y 26,17), como en la campaña de diciembre de (24,75 y 36,01) en el mismo orden. Estos datos se ilustran detalladamente en la figura 58.

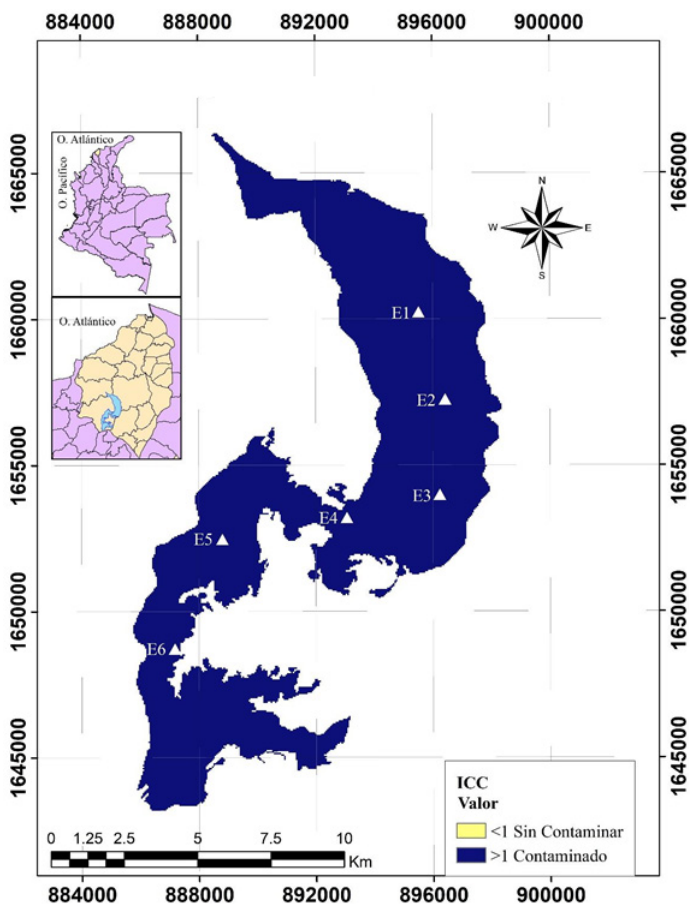


Figura 57. Índice de carga de contaminación en los sedimentos del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

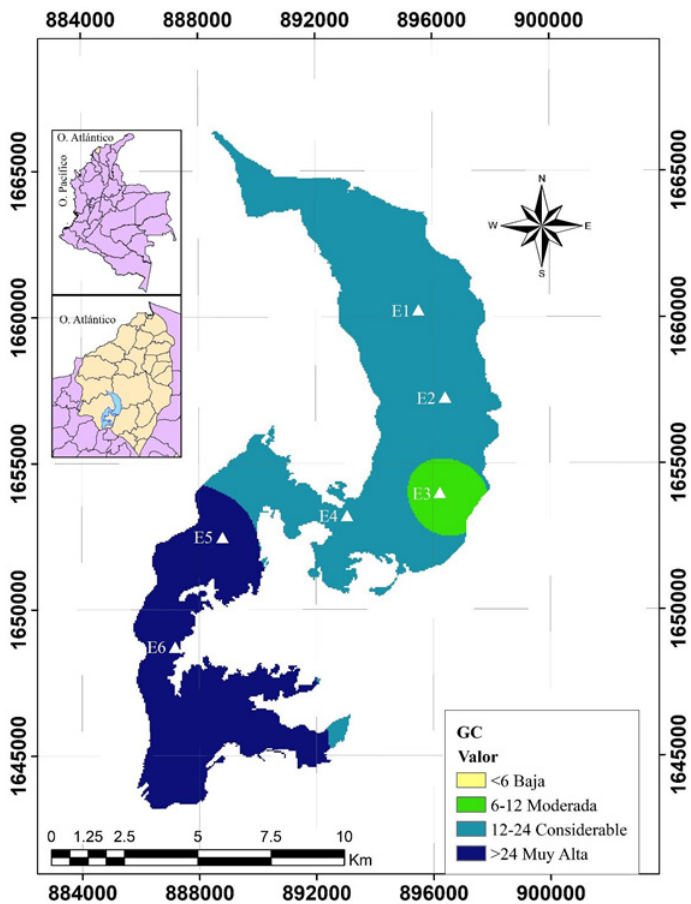


Figura 58. Grado de contaminación en los sedimentos del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.



## Índice de Geoacumulación (Igeo)

Los índices de geoacumulación, indicaron que para Pb en ninguna de las estaciones se presentaron valores positivos, por lo cual es una zona de categoría 0: no contaminado (Figura 59). En relación al Hg, el índice de geoacumulación varió de -2,51 a 0,51; donde solo para las estaciones E5 y E6, se presentaron valores considerándose categoría 2: medianamente contaminado mientras que en las estaciones restantes como no se hallaron valores positivos, fueron de categoría 0, lo cual se ilustra en la figura 60.

Para efectos del análisis del Zn, los Igeo oscilaron entre 0,70-1,27 lo que clasifica a la zona en la categoría 1 (poco contaminado) y categoría 2 (Figura 61). El Cr y Ni se obtuvieron valores de 1,25-2,07 y 1,06-1,97 equitativamente, mostrando categoría 2 sin incluir la E5 de la campaña de diciembre para el Cr, donde alcanzó una categoría 3: altamente contaminado y categoría 1 en la E3 del Cr donde no fue detectado el elemento, a partir de los datos ilustrados en las figuras 62 y 63.

Finalmente, para el análisis del Cd, se encontraron valores que incluyen la categoría 1 en la E3: 0,39 en la categoría 2: en la E1: 1,90 y E2: 1,43 de la categoría 3: altamente contaminado en la E4: 2,05 y E5 (campaña de diciembre): 2,11 y la categoría 4 o fuertemente contaminado en la E5 (campaña de octubre): 3,19 para la E6 (campaña de octubre): 3,08 y E6 (campaña de diciembre): 3,64 para tal como se evidencia en la figura 64.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

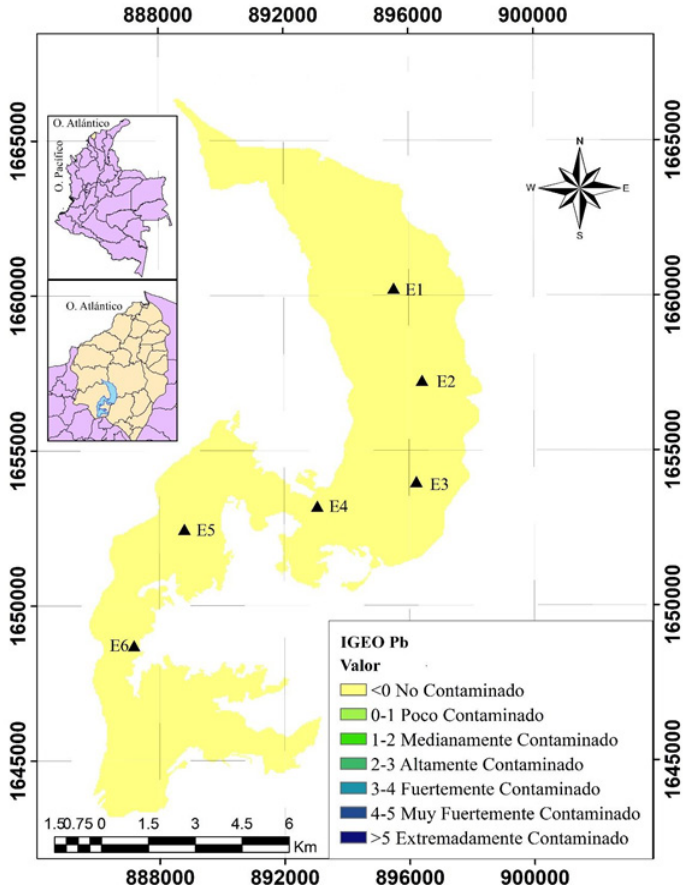


Figura 59. Índice de geoacumulación del Pb en los sedimentos del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

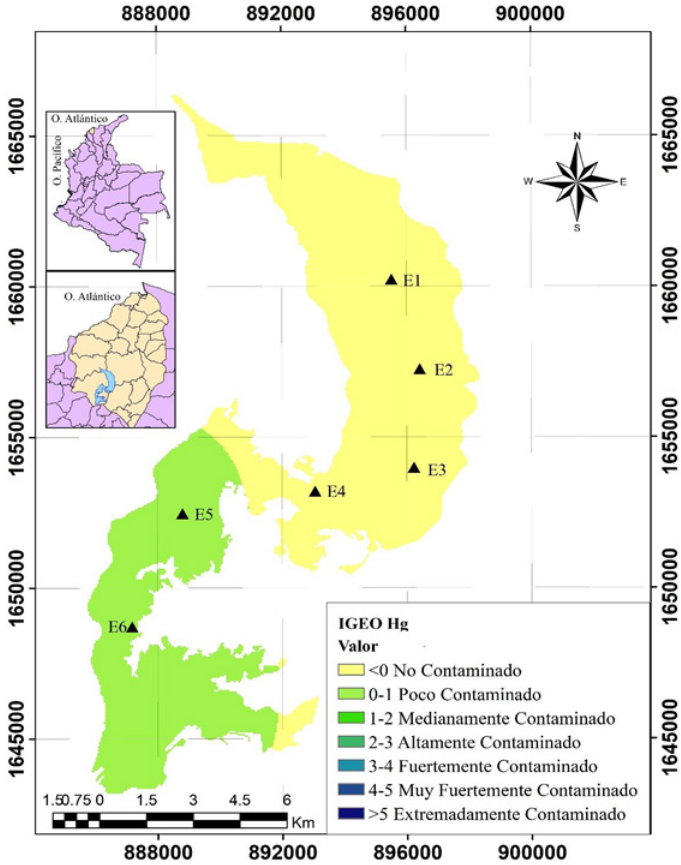


Figura 60. Índice de geoacumulación del Hg en los sedimentos del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

# EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

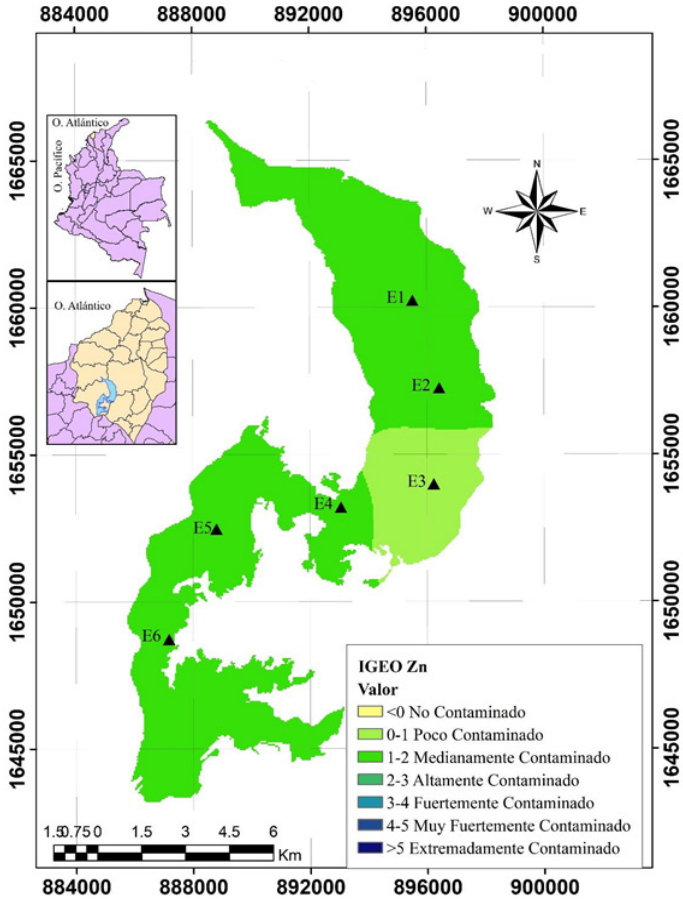


Figura 61. Índice de geoacumulación del Zn en los sedimentos del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

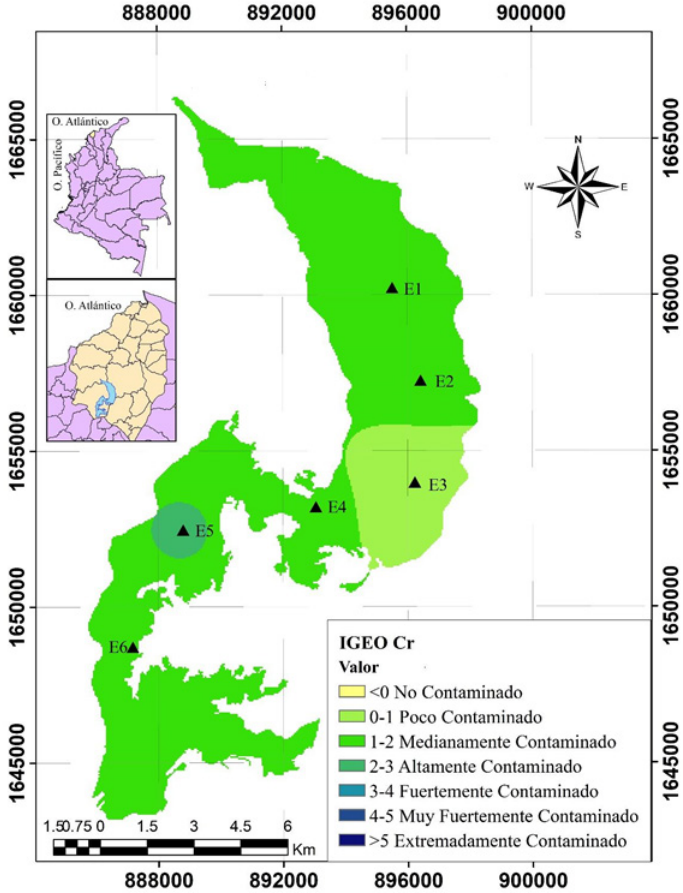


Figura 62. Índice de geoacumulación del Cr en los sedimentos del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

## EL DISTRITO DE RIEGO REPELÓN

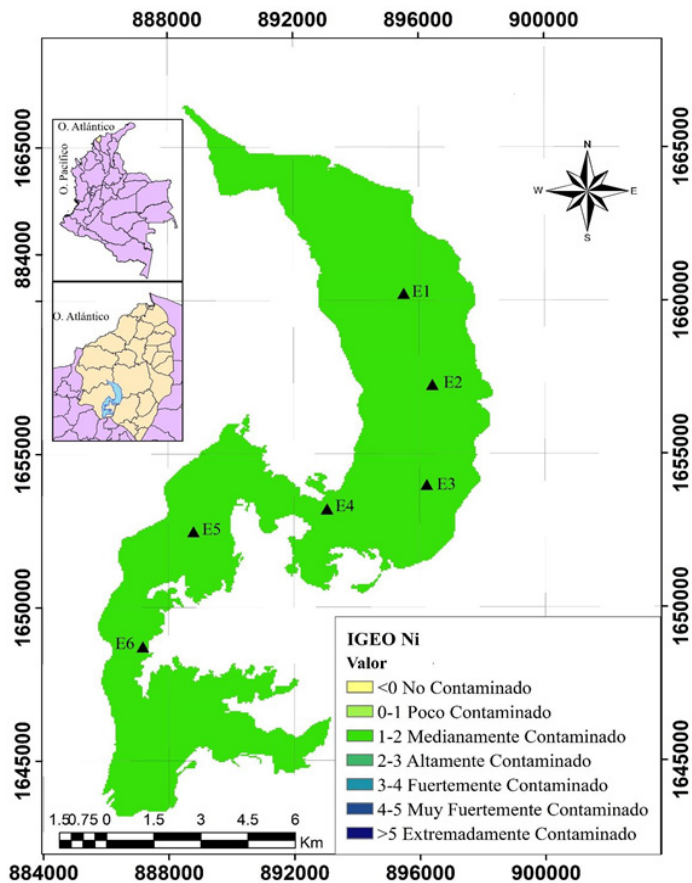


Figura 63. Índice de geoacumulación del Ni en los sedimentos del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

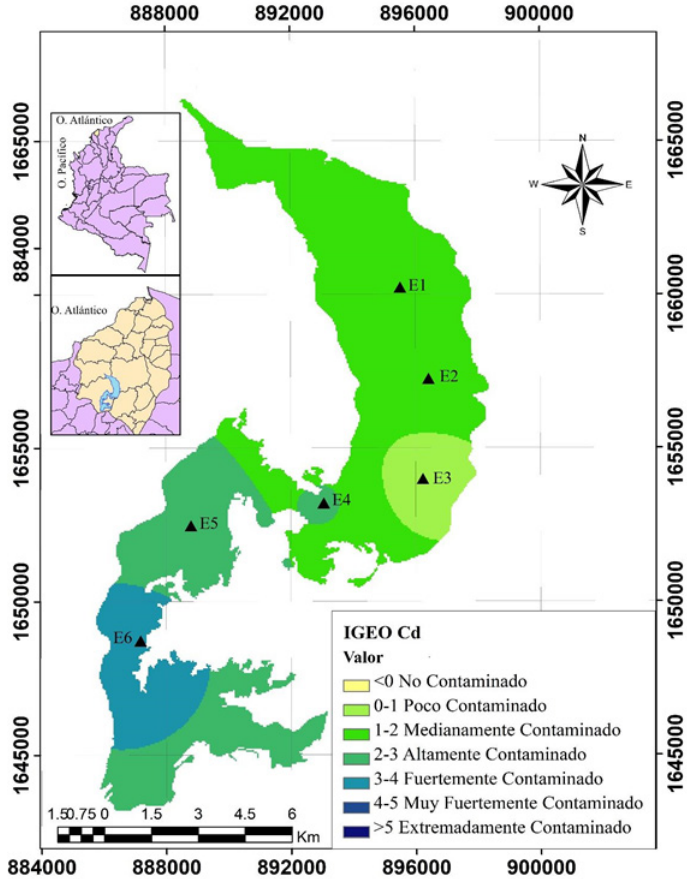


Figura 64. Índice de geoacumulación del Cd en los sedimentos del embalse El Guájaro durante la campaña de diciembre.

### Discusión de resultados

Los plaguicidas demoran un lapso de tiempo para llegar hasta los sedimentos de los sistemas hídricos, cuando éstos son liberados al medio por aplicaciones directas en los cultivos agrícolas, derrames accidentales, deposición inadecuada de contenedores, entre otros (Tiryaki y Temur, 2010). En tal sentido, se generan diferentes interacciones no solo con los componentes bióticos sino con los abióticos, lográndose transportar al aire por volatilización, permanecer en el suelo, vegetación u otras superficies y subsistir cerca del sitio de deposición por adherencia del compuesto. También pueden ser degradados por la acción microbiana y/o moverse con el suelo erosionado por escorrentía o vientos, ser disuelto en el agua y ser absorbidos por las plantas, trasladarse por precipitaciones, arrastre de aguas o lixiviado llegando hasta corrientes superficiales y subterráneas (Niño, 2010; Tiryaki y Temur, 2010).

De este modo sufren transformaciones en su estructura y concentración a medida que se trasladan en el ecosistema. Estas rutas del desplazamiento en el ambiente están estrechamente definidas por factores como las propiedades físicas y químicas del plaguicida, el clima, las condiciones geomorfológicas, hidrogeológicas y meteorológicas de la zona (Del Puerto et al., 2014).



Lo anterior sustenta las razones por las cuales no fue posible la detección de más compuestos y en grandes proporciones: en primera instancia, el traslado del plaguicida a la atmósfera después de su aplicación es la volatilización, que se refiere al cambio de estado gaseoso del plaguicida y se favorece de las temperaturas cálidas que se manejan en el departamento, cuyo ritmo depende de la presión de vapor, temperatura, la volatilidad intrínseca y la velocidad de difusión hacia la superficie de evaporación (González, 2016).

En segunda instancia, se encuentra el análisis del fenómeno de lixiviación en el suelo, que a su vez va estrechamente relacionado con las propiedades químicas del plaguicida, las propiedades fisicoquímicas del suelo y dinámica del agua, dado que, los compuestos aplicados al suelo tienden a desplazarse con el agua y lixiviarse a través del perfil alcanzando las capas más profundas y acuíferos cercanos. El tipo de suelo donde se ha aplicado el plaguicida, influye sobre el equilibrio de adsorción debido al papel de las arcillas y la materia orgánica por ser coloides y, tener altas cantidades de intercambio catiónico, por lo tanto, contienen carga negativa y los plaguicidas al ser catiónicos, son retenidos (Niño y Torres, 2009). Adicionalmente, pueden darse los procesos de desorción y absorción o penetración del compuesto en plantas, animales y microorganismos

dejándolos disponibles para transporte y degradación (Esteve, 2007).

Por su parte, los terrenos agrícolas de Repelón presentan condiciones variadas de acuerdo a la intensidad agrícola y el manejo adecuado de recuperación del suelo, realizado por los agricultores una vez se obtienen las cosechas. De acuerdo con la CRA (2014a), la intensidad de uso del suelo es de carácter alto, incidiendo negativamente las prácticas de mecanización del suelo debido a que las tierras agrícolas se vuelven gradualmente menos productivas por la degradación en la estructura del suelo, la disminución de la materia orgánica y sus nutrientes, en conjunto con la adición de agroquímicos y la carencia de tecnificación de la zona, se deteriora el ecosistema.

La degradación de los suelos por la agricultura y por la falta del recurso hídrico, permite pensar que, pese a que el suelo es arcilloso, la adsorción en el suelo podría reducirse, aumentando que el plaguicida se degrade por otros medios, es decir, por medio de la descomposición química, cuya degradación parcial o total, da lugar a compuestos de toxicidad menor (inactivación o detoxificación) incluso a compuestos inorgánicos por ejemplo el agua, dióxido de carbono, haluros, fosfatos y amonio.

Pese a esta situación relacionada con la degradación de los suelos, en las zonas donde se ha-

llaron plaguicidas pudo ocurrir lo contrario, es decir, la transformación de productos de mayor toxicidad que la sustancia original (activación). Otras viables rutas son la descomposición fotoquímica, que es producida por la luz solar (Cabildo, 2013) y la degradación mediada por la dinámica microbiana, que probablemente sea el mayor receptor de los plaguicidas en el medio porque estos compuestos químicos constituyen una adecuada fuente de carbono y son donadores de electrones para ciertos microorganismos del suelo (Torres-Rodríguez, 2003).

En tercera instancia se incluyen los procesos desplegados al ingresar los residuos fitosanitarios al embalse arrastrados por escorrentías, son adsorbidos por la gran carga de sólidos en suspensión del cuerpo de agua hasta alcanzar la masa suficiente que favorezca su sedimentación, e igualmente la difusión dado que regularmente las sustancias pueden moverse zonas de mayor a menor concentración, haciendo posible que a lo largo, en el área de estudio se dé la presencia específica de éstos compuestos.

No obstante, la degradación de un plaguicida en los campos de cultivo no se rige por un solo fenómeno, sino por la acción simultánea de varios, más las interacciones con la amplia gama de agentes degradantes cuya cinética varía con la estructura molecular y concen-

tración del agrotóxico (Doan, Van Den Berg, Houbraken y Spanoghe, 2015; González, 2016).

Los niveles de metales pesados en los sistemas continentales como los embalses incrementan conforme avanzan las actividades de desarrollo e industrialización del área de influencia (Dhivert, Grosbois, Courtin-Nomade, Bourrain y Desmet, 2016). Su presencia en sedimentos se asocia a procesos de origen natural y por la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales (Saleem, Iqbal y Shah, 2015). En la zona de estudio los principales orígenes antropogénicos de metales pesados pueden ser agrupados en agropecuario (agrícola, ganadero, acuícola), industriales (minería) y domésticos.

Las actividades agrícolas tradicionales que se desarrollan en el Distrito de Riego de Repelón, suponen la adición directa durante largos periodos de tiempo de varios metales pesados asociados al empleo de fertilizantes, abonos y productos químicos que incluyen fungicidas, plaguicidas y herbicidas (Martí et al., 2002), cuyo contenido varía dependiendo del origen y producción (Sobrero, Ronco y Beltrano, 2010).

Por su parte, Mahecha-Pulido et al., (2015) identificaron que algunos metales pesados están directamente relacionados con fuentes

específicas como: fertilizantes (Cd, Cr, Pb, Zn), plaguicidas (Hg, Pb, Zn), compost y derivados de residuos sólidos convencionales (Cd, Ni, Pb, Zn) y del estiércol (Zn). Así mismo, los fertilizantes fosforados que son los compuestos organosintéticos más usados contienen Cr, Ni, Hg, Pb, Zn y elevados niveles de Cd (Beltrán, Pineda, Rodríguez y Gómez, 2015; Rojas, 2011).

Al norte del embalse en los municipios de Repelón y Luruaco se encuentran empresas encargadas de extraer materiales útiles para la construcción como arenas, piedra caliza, agregados para concretos, triturados, entre otros. Esta actividad es de alto riesgo debido a las consecuencias ambientales que trae consigo la extracción de gran cantidad de materiales estériles (Garzón, 2013). Su relación como fuente de metales pesados existe porque, pueden proceder de la roca madre, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones (Galán y Romero, 2008; Rastegari et al., 2017), y al efectuar trabajos de minería, este tipo de compuestos se liberan al medio.

Otra fuente importante de metales en los sedimentos, corresponde a la eliminación inadecuada de residuos urbanos alrededor del embalse en siete botaderos a cielo abierto (Alcaldía de Repelón, 2012). Una vez generada la disposición final de residuos, se inician procesos de transformación aerobios y anaerobios. La aci-

dogénesis, por ejemplo, es una etapa donde se produce ácido acético y dióxido de carbono de compuestos molecularmente complejos (lípidos, polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos) que han sido hidrolizados, lo que provoca una reducción del *pH*, facilitando la disponibilidad de los metales pesados (Jiménez, Chamorro y Hernández, 2016).

Por último, se añaden los efluentes no tratados procedentes de industrias y urbes que utilizan los cauces fluviales como vertederos, los procesos de depuración insuficientes, la mala disposición de los lodos provenientes de distintas plantas de tratamiento que podrían también atribuir metales pesados (Ali, Ali, Islam y Rahman, 2016).

Éstas situaciones también se presentan en el embalse dado que, los municipios en mención cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas tipo laguna de oxidación, cuyas aguas tratadas son conducidas por tubería cerrada hacia el embalse El Guájaro. De forma diferente, Repelón no cuenta con plan de saneamiento y manejo de vertimiento aprobado por la CRA, por no contar con los requerimientos mínimos requeridos. Otros municipios como Sabanalarga, adelantan las obras de mantenimiento y optimización del sistema, con el fin de lograr los niveles de remoción exigidos por la normatividad ambien-

tal y fijados en los acuerdos de metas (CRA, 2014b).

## Conclusiones y Recomendaciones

Dentro de las principales conclusiones y recomendaciones, cabe resaltar que los procedimientos adelantados en las diferentes mediciones y monitoreos, permitieron la determinación de la concentración de plaguicidas y metales pesados, y la distribución espacial solo para metales en los sedimentos superficiales de embalse el Guájaro, cuyas concentraciones fueron mayores en las estaciones próximas al Distrito de Riego de Repelón.

Existen 14 entidades que captan aguas del embalse El Guájaro desconociendo las concentraciones de plaguicidas y metales pesados que contienen. El problema consiste en que dichas entidades desarrollan actividades industriales como la acuicultura, minería, acueducto y alcantarillado que de una u otra forma afectan al ser humano.

De otra parte, se aclara que no fue posible llevar a cabo la comparación de metales pesados en sedimentos con guías colombianas, puesto que, el país no cuenta con un marco normativo. Colombia como país en vía de desarrollo, debería ampliar los estudios de los cuerpos de agua incluyendo la matriz de sedimentos para conocer

las realidades de los ecosistemas. Una vez, se detecten los compuestos tóxicos, convendría analizar los efectos adversos generados.

Finalmente, cabe resaltar que el grado de contaminación arrojó una visión general del estado actual del embalse por ser el resultado de la sumatoria de todos los factores de contaminación de cada metal. El promedio de todas las estaciones indica que los sedimentos están altamente contaminados. Se identificó que la principal fuente de contaminantes hacia los sedimentos del área de estudio es la agricultura, puesto que, esta actividad sugiere el empleo de plaguicidas que a su vez contienen metales pesados y son agregados al ecosistema provocando alteraciones al mismo.



## REFERENCIAS

- Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W. y Martínez, G. (2002). Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia*, 27(1). 686-690.
- Aiyesanmi, A., Tomori, W., Owolabi, B. (2008). Relative partitioning of some heavy metals in dumpsite soil using chemical speciation technique. *International Journal of Chemical Science*, 1, 96-104.
- Aguilar-Martínez, J. (2007). *Determinación de pesticidas organoclorados en Cyprinus carpio (Linnaeus, 1758) del lago de Tecocomulco, Hidalgo, México.* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo, México.
- Ali, M., Ali, M., Islam, S. y Rahman, Z. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water y sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring y Management*, 5(1). 27-35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
- Al-Saleh, I. (1994). Pesticides: a review article. *Journal of environmental pathology, toxicology y oncology: official organ of the international society for environmental toxicology y cancer*, 13(3), 151-61. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7722882>
- Alcaldía de Repelón. (2017). *Página Web Oficial.* Obtenido de <http://www.repelon-atlantico.gov.co/>

Alcaldía de Repelón. (2016). *Plan de Desarrollo Repelón Atlántico 2016-2019*.

Alcaldía de Repelón. (2012). *Plan de Desarrollo Repelón Atlántico 2012-2015*. Obtenido de [http://cdim.esap.edu.co/BancoConocimiento/R/repelon\\_atlantico\\_pd\\_2012-2015/repelon\\_atlantico\\_pd\\_2012-2015.asp](http://cdim.esap.edu.co/BancoConocimiento/R/repelon_atlantico_pd_2012-2015/repelon_atlantico_pd_2012-2015.asp)

Alloway, B. (2013). *Heavy metals in soils. Trace Metals y Metalloids in Soils y their Bioavailability* (3 ed.). Berlín: Springer. [http://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7\\_2](http://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_2)

Alloway, B. (1995). *Heavy metals in soils* (2 ed.). London: Blackie academic y professional.

Alonso, P., Santos-Frances, F., García-Sánchez, A. y Álvarez-Ayuso, E. (2004). Baseline Concentrations of Heavy Metals in Native Soils of the Salamanca y Valladolid Provinces, Spain. *Aridly research y management*, 18(3), 241-250. <http://doi.org/10.1080/15324980490451320>

APHA. (2005a). *Test Method 3030: Nitric acid-hydrochloric acid digestion of metal samples. Standard method for examination of water y wastewater* (21 ed.). American Public Health Association, Washington, DC.

APHA. (2005b). *Test Method 3112: Metals by cold-vapor atomic absorption spectrometry. Standard method for examination of water y wastewater* (21 ed.). American Public Health Association, Washington, DC.

APHA. (2005c). *Test Method 3111: Metals by flame atomic absorption spectrometry. Standard method for examination of water y wastewater* (21 ed.). American Public Health Association, Washington, DC.

Australian y New Zealy y conservation environment council y Agriculture y resource management council of Australia y New Zealy. (2000). *Australian y New Zealy Guidelines for Fresh y Marine Water Quality. The Guidelines*. (1 ed.). Recuperado de <http://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/resources/previous-guidelines/anzecc-armcanz-2000>

Azevedo, M., Ferracciú, L. y Guimarães, L. (2003). Biosolids y heavy metals in soils. *Scientia agricola*, 60(4), 793–806. <http://doi.org/10.1590/S0103-90162003000400029>

Blanco, Á., Gutiérrez, D., Jiménez, O., Santiago, M. y Manzano, B. (1998). Estudio de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas de la Provincia de Salamanca. *Revista española de salud pública*, 72(1), 53–65.

Bellingham, M., Fowler, P., Amezaga, M., Rhind, S., Cotinot, C., Mandon-Pepin, B., Sharpe, R. y Evans, N. (2009). Exposure to a complex cocktail of environmental endocrine-disrupting compounds disturbs the kisspeptin/GPR54 system in ovine hypothalamus y pituitary gly. *Environmental health perspectives*, 117(10), 1556–1562. <http://doi.org/10.1289/ehp.0900699>

- Belmonte, F., Romero, A. y Moreno, J. (2010). Contaminación ambiental por estériles mineros en un espacio turístico en desarrollo, la sierra minera de Cartagena-la Unión (sureste de España). *Cuadernos de turismo*, 25(1), 11-24.
- Beltrán, E., Pineda, M., Rodríguez, M. y Gómez, A. (2015). Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. *Revista Investigación, Innovación e Ingeniería*, 2(2), 82-112.
- Bergues, P. (2011). Evaluación de metales pesados en los suelos del coto minero manganesífero Cristo-Barrancas. *Minería y Geología*, 27(3), 43-57
- Betancourt, J. y Ramírez-Triana, G. (2005). Estudio de los procesos relacionados con la presencia de plaguicidas organoclorados de la Ciénaga Grande de Santa Marta. *Boletín de investigaciones marinas y costeras - Invermar*, 34(1), 121-139.
- Bonet, J. (1999). La agricultura del Caribe colombiano, 1990-1998. *Documentos de trabajo sobre economía regional*, (12), 73. Recuperado de <https://ideas.repec.org/p/bdr/region/12.html>
- Bonilla, J., Peinado, J., Urdaneta, M. y Carrascal, E. (2000). *Informe nacional sobre el uso y manejo de plaguicidas en Colombia, tendiente a identificar y proponer alternativas para reducir el escurrimiento de plaguicidas al Mar Caribe*. Bogotá D.C.: Ministerio de Medio Ambiente, Proyecto PNU-MA-UCR/CAR.

- Bruinsma, J. (2003). *World agriculture: towards 2015/2030 an FAO perspective*. Earthscan: Londres.
- Buchman, M. (2008). *Screening Quick Reference Tables (SQiRTs)*. Recuperado de <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/9327>
- Buchman, M. (1999). *Screening quick reference tables (No. Report 99-1)*. Recuperado de [https://www.lm.doe.gov/cercla/documents/rockyflats\\_docs/sw/sw-a-006011.pdf](https://www.lm.doe.gov/cercla/documents/rockyflats_docs/sw/sw-a-006011.pdf)
- Cabildo, M. (2013). Impacto de los compuestos orgánicos en el medio ambiente. En, E. Santos, P. Cornago, C. Escolastastico, C. López, D. Sanz y M. Cabildo. *Bases químicas del medio ambiente* (463-500). Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Centro Internacional de Agricultura Orgánica, Corporación para la Conservación del Medio Ambiente y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (1998). *Agricultura ecológica, inventario nacional: guía metodológica*. Bogotá D.C.: El Ministerio.
- Contexto ganadero. (2016, sept. 21). *Productores de Repelón piden soluciones definitivas a distrito de riego* [Regiones]. Recuperado de <http://www.contextoganadero.com/regiones/productores-de-repelon-piden-soluciones-definitivas-distrito-de-riego>

- Cornejo, J. y Jamet, P. (2000). *Pesticide soil interactions: some current research methods. Techniques et Pratiques*. Paris: Institut national de la recherche agronomique.
- Dalla, R., Gaspar, E., Carbo, L. y Ferreira, M. (2006). Dissipation of DDT in a heavily contaminated soil in Mato Grosso, Brazil. *Chemosphere*, 64(4), 549–554. <http://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2005.11.019>
- De León, V. (2015). *Guía de aprendizaje sobre efectos nocivos de plaguicidas químicos y sus efectos dañinos al ambiente en el área de ciencias naturales dirigido a estudiantes del Instituto Nacional de Educación Básica, municipio de Pajapita, departamento de San Marcos* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/07/07\\_6478.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/07/07_6478.pdf)
- Del Puerto, A., Suárez, S. y Palacio, D. (2014). Effects of pesticides on health y the environment. *Revista cubana de higiene y epidemiología*, 52(3), 372–387.
- Dhivert, E., Grosbois, C., Courtin-Nomade, A., Bourrain, X. y Desmet, M. (2016). Dynamics of metallic contaminants at a basin scale—Spatial y temporal reconstruction from four sediment cores (Loire fluvial system, France). *Science of the total environment*, 541(1). 1504–1515. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.146>

- Doan, K., Van Den-Berg, F., Houbraken, M. y Spanoghe, P. (2015). Volatilisation of pesticides after application in vegetable greenhouses. *Science of the total environment*, 505, 670–679. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.036>
- El-Amier, Y., Elnaggar, A. y El-Alfy, M. (2017). Evaluation y mapping spatial distribution of bottom sediment heavy metal contamination in Burullus Lake, Egypt. *Egyptian journal of basic y applied sciences*, 4(1), 55–66. <http://doi.org/10.1016/j.ejbas.2016.09.005>
- Emoyan, O., Ogban, F. y Akarah, E. (2006). Evaluation of heavy metals loading of river Ijana in Ekpan-Warri, Nigeria. *Journal of applied sciences y environmental management*, 10(2), 121–127. <http://doi.org/10.4314/jasem.v10i2.43690>
- Esteve, F. (2007). *Preparación de muestras para el análisis de plaguicidas mediante microondas y fluidos presurizados* (Tesis de doctorado). Universidad de Valencia. Recuperado de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10251/estev.pdf;sequence=1>
- FAO. (2006). *Riego y Drenaje*. Recuperado de [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/Profile\\_segments/COL-IrrDr\\_esp.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/Profile_segments/COL-IrrDr_esp.stm)
- FAO. (2003). *International code of conduct on the distribution y use of pesticides* [Online] (172 ed.). Roma: Agricultura y protección al consumidor. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/y4544e/y4544e00.htm>

- FAO. (2000). *Evaluación de la contaminación del suelo*. Manual de Referencia. Roma: FAO.
- Farrera, R. (2004). Acerca de los plaguicidas y su uso en la agricultura. *Revista digital del centro nacional de investigaciones agropecuarias de Venezuela*, 33(1). 13-16.
- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por plaguicidas. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26(1). 155-171. <http://doi.org/10.4321/S1137-66272003000200009>
- Flores-Céspedes, F., González-Pradas, E., Fernández-Pérez, M., Villafranca-Sánchez, M., Socías-Viciano, M. y Ureña-Amate, M. (2002). Effects of dissolved organic carbon on sorption y mobility of imidacloprid in soil. *Journal of environmental quality*, 31(3), 880-888. <http://doi.org/10.2134/jeq2002.0880>
- Fuentes, M., Rojas, L., Diaz, A. y Martínez, G. (2010). Distribución de metales pesados en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, Sucre, Venezuela. *Revista de biología tropical*, 58(3), 129-140.
- Galán, E. y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Macla*, 10(1), 48-60.
- García-Gutiérrez, C. y Rodríguez-Meza, G. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra ximhai*, 8(3b), 1-10.



- García, I. y Dorronsoro, C. (2005). *Contaminación del suelo*. Granada: Universidad de Granada.
- Garrido, J. y Licona, M. (2017). *Caracterización físico-química de los suelos agrícolas del Distrito de Riego del municipio de Repelón, Atlántico* (Tesis de pregrado). Corporación Universidad de la Costa, CUC. Barranquilla, Colombia.
- Garzón, N. (2013). *Análisis preliminar de los impactos ambientales y sociales generados por la minería de arcillas a cielo abierto en la vereda de Mochuelo Bajo, ciudad Bolívar, Bogotá D.C., estudio de caso* (Tesis de pregrado). Universidad Javeriana. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12467/GarzonTovarLigiaNathalya2013.pdf?sequence=1>
- Gilden, R., Huffling, K. y Sattler, B. (2010). Pesticides y Health Risks. *Journal of obstetric, gynecologic y neonatal nursing*, 39(1), 103-110. <http://doi.org/10.1111/j.1552-6909.2009.01092.x>
- Gómez, A., Villalba, A., Acosta, G., Castañeda, M. y Kamp, D. (2004). Metales pesados en el agua superficial del Río San Pedro durante 1997 y 1999. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 20(1), 5-12.
- González, M. (2016). *Eliminación de herbicidas y metales pesados en aguas mediante el uso de hidróxidos dobles laminares* (Tesis de doctorado). Universidad de Córdoba. Montería, Colombia.

- Granados, J. (2012, feb. 21). *Listo diagnóstico de distritos de riego y drenaje* [Redacción]. Recuperado de <https://www.elheraldo.co/local/listo-diagnostico-de-distritos-de-riego-y-drenaje-57717>
- Guzmán, L. (2016). *Monografía sobre la determinación de plaguicidas en la microcuenca Santa Emilia ubicada en el municipio de Beén de Umbria (Risarcaldá) por la técnica de cromatografía de gases* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, 14(8), 975-1001. [http://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](http://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
- Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, J., Salgado, V. y Borbón, A. (2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en marcha*, 26(1), 27-36. <http://doi.org/10.18845/tm.v26i1.1119>
- Hettiarachchi, G. y Pierzynski, G. (2002). In situ stabilization of soil lead using phosphorus y manganese oxide. *Journal of environment quality*, 31(2), 564-572. <http://doi.org/10.2134/jeq2002.0564>
- Icontec. (1994a). *Gestión ambiental. Suelo. Toma de muestras de suelo para determinar contaminación*. (Norma Técnica Colombiana NTC-3656). Recuperado de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3656.pdf>

Icontec. (1994b). *Norma oficial para la calidad del agua*. Norma Técnica Colombiana NTC-813 (Segunda actualización).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC. (2008). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Atlántico*. Bogotá D.C.: IGAC.

Iqbal, J., Saleem, M. y Shah, M. (2016). Spatial distribution, environmental assessment y source identification of metals content in surface sediments of freshwater reservoir, Pakistan. *Chemie der erde-geochemistry*, 76(1), 171-177. <http://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.02.002>

Jamioy, D. (2011). *Propuesta de indicadores de calidad edafológicos para valorar la influencia de los sistemas productivos sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos oxisoles del piedemonte llanero colombiano* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/7169/1/7009004.2011.pdf>

Jaramillo, B., Bermudez, A. y Tirado-Ballestas, I. (2016). Organophosphorus pesticides degrading bacteria present in contaminated soils. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*, 25(3), 13-22. <http://doi.org/10.13140/rg.2.2.20023.73126>

Jarup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British medical bulletin*, 68(1), 167-182. <http://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>

- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M. y Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro*, 25(1), 47-56. <http://doi.org/1316-3361>
- Jiménez, S., Chamorro, C. y Hernández, R. (2016). *Alternativas para generación de energía eléctrica a partir de biogás procedente de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos* (Tesis de pregrado). Universidad de Valladolid. Valladolid, España. Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/22117/1/TFG-P-503.pdf>
- Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils y Plants* (3 ed.). Boca Raton: CRC Press LLC. Recuperado de <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Trace-Elements-in-Soils-y-Plants.pdf>
- Leal, S., Valenzuela, A., Gutiérrez, M., Bermúdez, M., García, J., Aldana, M., Grajeda, P., Silveira, M., Meza, M., Palma, S., Leyva, G., Camarena, B. y Valenzuela, C. (2014). Residuos de plaguicidas organoclorados en suelos agrícolas. *Terra Latinoamericana*, 32(1), 1-11.
- Loska, K., Wiechuła, D. y Korus, I. (2004). Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment international*, 30(2), 159-165. [http://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00157-0](http://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00157-0)

- Mahecha-Pulido, J., Trujillo-González, J. y Torres-Mora, M. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región Ariari, Departamento de Meta. *Orinoquia*, 19(1), 108-122. <https://doi.org/10.22579/20112629.345>
- Mancera-Rodríguez, N. y Álvarez-León, R. (2006). Estado del conocimiento de concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuicola de Colombia. *Acta biológica colombiana*, 11(1), 3-23.
- Mancilla-Villa, Ó., Ortega-Escobar, H., Ramírez-Ayala, C., Uscanga-Mortera, E., Ramos-Bello, R. y Reyes-Ortigoza, A. (2012). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(1), 39-48.
- Marrugo-Negrete, J., Pinedo-Hernández, J. y Díez, S. (2017). Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution y origin in agricultural soils along the Sinú River Basin, Colombia. *Environmental research*, 154, 380-388. <http://doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.021>
- Martí, L., Burba, J. y Cavagnaro, M. (2002). Metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos. *Revista de la facultad de ciencias agrarias uncuyo*, 16(2), 43-48. Recuperado de [http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/2829/martiagrarias2-34-02.pdf](http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2829/martiagrarias2-34-02.pdf)

- Martínez-Mera, E., Valencia, E. y Cuevas, H. (2016). Evaluación del rendimiento de maíz dulce (*Zea mays* cv. Suresweet) con leguminosas cobertoras mucuna enana (*Mucuna pruriens*) y crotalaria (*Crotalaria juncea* cv. Tropic sun) en un oxisol de Puerto Rico. *Journal of agriculture of the university of Puerto Rico*, 100(1), 57-70.
- Martínez-Valenzuela, C. y Gómez-Arroyo, S. (2007). Riesgo genotóxico por exposición a plaguicidas en trabajadores agrícolas. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 23(4), 185-200. Recuperado de <http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/21636>
- Millán, R., Carpena, R., Schmid, T., Sierra, M., Moreno, E., Peñalosa, J., Gamarra, R. y Esteban, E. (2007). Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: estrategias aplicables en la zona minera de Almadén. *Ecosistemas*, 16(2), 56-66.
- Molina-Larrahondo, M. (1992). *Avances en el manejo y aprovechamiento acuícola de embalses en América Latina y el Caribe*. Colombia: FAO.
- Müller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine river. *Geological Journal*, 2(3), 108-118.
- Narváez, J., Palacio, J. y Molina, F. (2012). Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: Una revisión de los procesos de degradación natural. *Gestión y ambiente*, 15(3), 27-38.

Niño, L. y Torres, N. (2009). *Determinación de la característica de toxicidad del endosulfan por medio de la técnica toxicity characteristic leaching procedure* (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/hyle/10185/14004/T41.09\\_N622d.pdf?sequence=1](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/hyle/10185/14004/T41.09_N622d.pdf?sequence=1).

Niño, Y. (2010). *Determinación del nivel de exposición a plaguicidas por consumo de agua de pozo y la relación con los posibles efectos en la salud de la población residente en la vereda chorrillos del sector rural de suba* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3968/1/598233.2011.pdf>

OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable* (3 ed., Vol. 1). Recuperado de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowsres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf)

Padilla, J. (2015). *Modelación hidrodinámica y de la calidad de agua para la gestión sostenible del embalse El Guájaro* (Tesis de pregrado). Corporación Universidad de la Costa, CUC. Barranquilla, Colombia. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1833.6088>

Papagiannis, I., Kagalou, I., Leonardos, J., Petridis, D. y Kalfakakou, V. (2004). Copper y zinc in four freshwater fish species desde Lake Pamvotis (Greece). *Environment international*, 30(3), 357-362. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2003.08.002>.

- Prieto, J., González, C., Román, A. y Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical y subtropical agroecosystems*, 10(1), 29–44.
- Quinchía, A., Gómez, F., Palencia, K. y Giraldo, C. (2006). Evaluación de la resistencia de un aislado bacteriano nativo compatible con *Pseudomona SP* al insecticida Lorsban 4EC. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia* 3(1). Medellín, Colombia. <https://doi.org/10.24050/reia.v3i5.151>
- Rastegari, M., Keshavarzi, B., Moore, F., Sharifi, R., Lahijanzadeh, A. y Kermani, M. (2017). Distribution, source identification and health risk assessment of soil heavy metals in urban areas of Isfahan province, Iran. *Journal of african earth sciences*, 132, 16–26. <http://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.04.026>
- Reichman, S. (2002). *The responses of plants to metal toxicity: a review focusing on copper, manganese and zinc*. Melbourne: Australian Minerals y Energy Environment Foundation.
- República de Colombia. Minagricultura. CRA. (2014a). *Diagnóstico inicial para el ordenamiento del embalse del Guájaro y la ciénaga de Luruaco*. Barranquilla: CRA Atlántico.
- República de Colombia. Minagricultura. CRA. (2014b). *Informe de gestión 2014*. Barranquilla, Atlántico. Recuperado de [http://www.crautonomia.gov.co/documentos/Planes/2014/Informe final 2014.pdf](http://www.crautonomia.gov.co/documentos/Planes/2014/Informe%20final%202014.pdf)



República de Colombia. Minagricultura. CRA. (Junio 12 de 2013). *“Por medio del cual se establece como obligatorio un plan de manejo ambiental y se otorga un premio de emisiones atmosféricas y un aprovechamiento forestal al señor Elías Rueda Gómez- Cantera OE9-16391, en el municipio de Sabanalarga-Atlántico”*. (Resolución 000303). CT: 000463. Recuperado de [http://www.craautonoma.gov.co/documentos/resoluciones/2213\\_resol\\_000303\\_de\\_2013.pdf](http://www.craautonoma.gov.co/documentos/resoluciones/2213_resol_000303_de_2013.pdf)

República de Colombia. Minagricultura. CRA. (2007). *Documentación del estado de las cuencas hidrográficas en el departamento del Atlántico*. Barranquilla: CRA Atlántico.

República de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR. (2006). *Plan frutícola nacional: desarrollo de la fruticultura en el Atlántico*. Recuperado de [http://asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca\\_98\\_Plan Nal frur-atlantico.pdf](http://asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_98_Plan_Nal_fru-atlantico.pdf)

República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Instituto de Hidrología- Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2005). *Atlas climatológico de Colombia* [Online]. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/atlas#\\_48\\_INSTANCE\\_xoDpvO7rh-D5O\\_%3Dhttp%253A%252F%252Fwww.ideam.gov.co%252FAtlasWeb%252Findex.html%253F](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/atlas#_48_INSTANCE_xoDpvO7rh-D5O_%3Dhttp%253A%252F%252Fwww.ideam.gov.co%252FAtlasWeb%252Findex.html%253F)

República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Instituto de Hidrología-Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2004). *Determinación de metales pesados totales con digestión acida y solubles por espectrofotometría de absorción atómica (TP0096 No. 2)*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Metales+en+agua+por+Absorci%25C3%25B3n+At%25C3%25B3mica.pdf/e233a63d-378c-4f83-9311-d9375043cf2a>

República de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente. ANLA. (junio 5 de 2015). *Por la cual se modifica el Permiso de Ocupación de Cauce para el dragado de mantenimiento del Canal Conector del Embalse el Guájaro, otorgado a través de la Resolución 679 del 26 de junio de 2014 a la Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA, y se toman otras determinaciones.* (Resolución 0648). DO: 17134. Recuperado de [http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/17134\\_res\\_0648\\_05062015.pdf](http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/17134_res_0648_05062015.pdf)

República de Colombia. Presidencia de la República. (2010). *Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.* (Decreto 3930). DO: 47873.

República de Colombia. Presidencia de la República. (junio 26 de 1984). "Por el cual se reglamenta el uso de agua y residuos líquidos". (Decreto 1594). D.O: 36700. Recuperado de [https://www.ani.gov.co/sites/default/files/decreto\\_1594\\_de\\_1984\\_usos\\_del\\_agua\\_y\\_residuos\\_liquidos.pdf](https://www.ani.gov.co/sites/default/files/decreto_1594_de_1984_usos_del_agua_y_residuos_liquidos.pdf)

Roberts, E., English, P., Grether, J., Windham, G., Somberg, L. y Wolff, C. (2007). Maternal residence near agricultural pesticide applications y autism spectrum disorders among children in the California Central Valley. *Environmental health perspectives*, 115(10), 1482-1489. <http://doi.org/10.1289/ehp.10168>

Rodríguez, I., Robledo M., Jáuregui, C., Quintero, B., Ramírez, S., Tovar, R. y Espinosa, M. (2008). Niveles de plaguicidas organoclorados en sedimentos superficiales de un tramo del río Mololoa. *Revista latinoamericana de recursos naturales*, 4(2), 146-154. Recuperado de <http://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v4-n2-15-niveles-de-plaguicidas-organoclorados.pdf>

Rojas, C. (2011). *Estudios de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro, previos a la construcción de una hidroeléctrica (P.H. Las Cruces) en Nayarit, México* (Tesis de pregrado). Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.

- Rosas, H. (2001). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat* (Tesis de doctorado). Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/hyle/2117/94296>
- Rueda, G., Rodríguez, J. y Madriñán, R. (2011). Methods for establishing baseline values for heavy metals in agricultural soils: prospects for Colombia. *Acta agronómica*, 60(3), 203–206. <http://doi.org/0120-2812>
- Ruíz, A. y Pabón, J. (2013). Efecto de los fenómenos del niño y la niña en la precipitación y su impacto en la producción agrícola del departamento del Atlántico, Colombia. *Cuadernos de geografía*, 22(2), 35–54.
- Ruvalcaba, J., Estrada, R., López, M., Vázquez, R. y Sánchez, D. (2016). Conocimiento y percepción respecto al impacto de vivir cerca de canales de aguas residuales. *Journal of negative and no positive results*, 1(4), 142–148. <http://doi.org/10.19230/jonnpr.2016.1.4.1038>
- Saleem, M., Iqbal, J. y Shah, M. (2015). Geochemical speciation, anthropogenic contamination, risk assessment y source identification of selected metals in freshwater sediments—A case study desde Mangla Lake, Pakistan. *Environmental nanotechnology, monitoring y management*, 4, 27–36. <http://doi.org/10.1016/j.enmm.2015.02.002>

- Sharma, H., Kaushik, A. y Kaushik, C. (2013). Organochlorine pesticide residues in fodder from rural areas of Haryana, India. *Toxicological y environmental chemistry*, 95(1), 69–81. <http://doi.org/10.1080/02772248.2012.748779>.
- Siebe, C. (1994). Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el Distrito de Riego 03, Tula, Hidalgo, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 10(1), 15–21.
- Smith, A. y Walker, A. (1989). Prediction of the persistence of the triazine herbicides atrazine, cyanazine, y metribuzin in Regina heavy clay. *Canadian journal of soil science*, 69(3), 587–595.
- Sobrero, M., Ronco, A. y Beltrano, J. (2010). Estudio de la fitotoxicidad de metales pesados y del herbicida glifosato en ambientes acuáticos. *Bioensayos con plantas vasculares como organismos diagnósticos* (Tesis de doctorado). Universidad de la Plata, Argentina. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/hyle/10915/5246/all-0001.pdf?sequence=1>.
- Tiryaki, O. y Temur, C. (2010). The fate of pesticide in the environment. *Journal of biology y environmental sciences*, 4(10), 29–38.
- Torres-Rodríguez, D. (2003). El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Ecosistemas revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 12(2), 1–5.

- U.S. ATSDR. (2002). *Toxicological profile for DDT, DDE, y DDD*. Recuperado de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp35.pdf>
- U.S. EPA. (2007a). *SW-846 Test Method 8081B: Organochlorine pesticides by gas chromatography*. Washington D.C.: EPA.
- U.S. EPA. (2007b). *SW-846 Test Method 8141B: Organophosphorus pesticides by gas chromatography*. Washington D.C.: EPA.
- U.S. EPA. (2007c). *SW-846 Test Method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, y oils*. Washington D.C.: EPA.
- U.S. EPA. (2007d). *SW-846 Test Method 7471B: Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)*. Washington D.C.: EPA.
- U.S. EPA. (2007e). *SW-846 Test Method 3035A: Solid-Phase Extraction (SPE)*. Revision 1. Washington D.C.: EPA.
- U.S. EPA. (2007f). *SW-846 Test Method 3550C: Ultrasonic Extraction*. Washington D.C.: EPA.
- U.S. EPA. (1993). *Method 1660: The Determination of Pyrethrins y Pyrethroids in Municipal y Industrial Wastewater*. Washington D.C.: EPA.
- Uzcátegui, J., Araujo, Y. y Mendoza, L. (2011). Residuos de plaguicidas organoclorados y su relación con parámetros físico-químicos en suelos del municipio Pueblo Llano, Estado Mérida. *Bioagro*, 23(2), 115-120.

- Ward, M., Colt, J., Metayer, C., Gunier, R., Lubin, J., Crouse, V., Nishioka, M., Reynolds, P., Buffler, P. (2009). Residential exposure to polychlorinated biphenyls y organochlorine pesticides y risk of childhood leukemia. *Environmental health perspectives*, 117(6), 1007-1013. <http://doi.org/10.1289/ehp.0900583>
- World Bank. (1967). Atlantico No. 3 Irrigation Project: Guarantee Agreement. Loan 0502. (Legal ISC Files). <http://documents.worldbank.org/curated/en/221661468261911897/Colombia-Atlantico-No-3-Irrigation-Project-Loan-0502-Guarantee-Agreement-Conformed>
- Wuana, R. y Okieimen, F. (2011). Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks y Best Available Strategies for Remediation. *International Scholarly Research Network*. 2011(1). 1-20. <http://dx.doi.org/10.5402/2011/402647>
- White, R. (2006). *Principles y practice of soil science: the soil as a natural resource*. (4 ed.). Hoboken: Wiley-Blackwell.
- Wu, G., Wu, J. Y. y Shao, H. B. (2012). Hazardous heavy metal distribution in Dahuofang Catchment, Fushun, Liaoning, an important industry city in China: a case study. *Clean-soil, air, water*, 40(12), 1372-1375. <http://doi.org/10.1002/clen.201000589>.

Yacomelo-Hernández, M. (2014). *Riesgo toxicológico en personas expuestas, a suelos y vegetales, con posibles concentraciones de metales pesados, en el sur del Atlántico, Colombia* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Zubillaga, M. y Lavado, R. (2002). Fertilización fosfata prolongada y contenido de elementos traza en un argiudol típico de la Pampa Ondulada. *Ciencia del suelo*, 20(2), 110-113.





M. Sc. Eliana Andrea Martínez Mera

Bióloga de la Universidad del Valle (Colombia) y Magister en Ciencias Agronómicas de la Universidad de Puerto Rico (Mayagüez). Se desempeña como docente en el Programa de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad de la Costa (CUC). Experiencia en evaluación de la calidad y salud del suelo, relación suelo-planta, establecimiento y producción en sistemas agroecológicos y conservación de recursos naturales.



M. Sc. Ana Carolina Torregroza Espinosa

Ingeniera Pesquera, Magíster en Acuicultura y Ecología Acuática Tropical de la Universidad del Magdalena (Colombia), con amplia experiencia en proyectos de conservación, manejo de recursos naturales, biogeoquímica y calidad de agua. Se desempeña como docente tiempo completo de la Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Agroindustrial de la Corporación Universidad de la Costa (CUC) desde el año 2014. Actualmente, cursa el segundo año del doctorado en Ciencias del Mar de la Universidad del Norte.



## M. Sc. Daniel Castañeda Valbuena

Ingeniero Pesquero, Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia. Experiencia en dirección de proyectos de extensión e investigación financiados por entes estatales. Las áreas de conocimiento en las que ha desarrollado la ejecución de los proyectos relacionados con la biotecnología, conservación de la biodiversidad, reforestación y establecimiento de áreas protegidas, así como en temáticas de aprovechamiento y transformación sostenible de recursos biológicos. En la actualidad desempeña las funciones de Director de Programa y docente tiempo completo en el programa de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de la Costa (CUC).



## M.B.A. Tito José Crissien Borrero

Administrador de Empresas del Colegio de Estudios Superiores de Administración (CESA), posteriormente realizó dos maestrías: una en Administración en la Universidad de Miami, Estados Unidos y otra en Educación, en la Universidad del Norte. Además es candidato a Doctor en Administración Estratégica de Empresas en la Pontificia Universidad Católica del Perú y Estudiante de doctorado en Ciencias de la Información en la Complutense de Madrid. Desde el año 2005 es Rector de la Universidad de la Costa en la ciudad de Barranquilla, investigador Senior conforme a Colciencias y líder del grupo de investigación Gestión Educativa. Igualmente es el presidente de la cátedra de Buen Gobierno, autor de libros sobre liderazgo organizacional y autor de diferentes artículos en educación y sostenibilidad.



## Dr. Franklin Manuel Torres Bejarano

Doctor en Ciencias del Instituto Mexicano del Petróleo (México), con estancia académica en la Universidad de Ciencias Aplicadas de Saarbrücken (Alemania). Maestría en Ingeniería (DEPFI) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), e Ingeniero Sanitario y Ambiental de la Universidad de la Costa, CUC (Colombia).

Desde el 2011 hasta el 2017 fue Profesor-Investigador del programa de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias Ambientales de la CUC, líder del Grupo de Investigación Gestión y Sostenibilidad Ambiental del 2012-2015. Actualmente, docente del Departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Córdoba y líder del Grupo de Investigación en Modelación y Evaluación de Sistemas Ambientales (GIMESA). Miembro activo de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, ACODAL. Ha participado en múltiples proyectos nacionales e internacionales en temas relacionados con la modelación hidrodinámica, evaluación de calidad del agua y el manejo del recurso hídrico en ecosistemas acuáticos superficiales costeros y continentales.