

TESIS DEFENDIDA POR

Araiza Delgado Esther

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Dr. Thomas Gunter Kretzschmar

Codirector del Comité

Dr. Luis Walter Daesslé Heuser

Codirector del Comité

Dr. Stephen Vaughan Smith

Miembro del Comité

Dra. Ana Denise Re Araujo

Miembro del Comité

Dra. Zayre Ivonne González Acevedo

Miembro del Comité

Dr. Antonio González Fernández

*Coordinador del programa de posgrado
en Ciencias de la Tierra*

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales

Director de Estudios de Posgrado

20 de Agosto de 2012.

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS DE LA TIERRA
CON ORIENTACIÓN EN GEOCIENCIAS AMBIENTALES**

Estudio hidrológico, sedimentario y químico de dos cuencas:
urbanizada y no urbanizada en Saint John, Islas Vírgenes, EE.UU.A.

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Presenta:

Esther Araiza Delgado

Ensenada, Baja California, México.

2012

RESUMEN de la tesis de **Esther Araiza Delgado**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en Ciencias de la Tierra con Orientación a Geociencias Ambientales. Ensenada, Baja California Agosto 2012.

Estudio hidrológico, sedimentario y químico de dos cuencas: urbanizada y no urbanizada en Saint John, Islas Vírgenes, EE.UU.A

Resumen aprobado por:

Dr. Thomas Gunter Kretzschmar

Codirector del Comité

Dr. Luis Walter Daesslé Heuser

Codirector del Comité

St. John es una de las Islas Vírgenes EE.UU.A ubicada en el Mar Caribe, el presente estudio investiga la sedimentología de los arroyos y suelos, así como las concentraciones de metales en suelo, sedimento y agua, con el objeto de determinar si existen diferencias significativas en las diferentes cuencas hidrológicas de la isla. Se colectaron muestras de suelo, sedimento en arroyos y agua de escorrentía de los mismos, durante temporada de lluvia. Se determinó la granulometría con un analizador láser de distribución de tamaño de partículas Horiba LA-910. Para el estudio de metales en la fracción de suelo y sedimento potencialmente biodisponible, se realizaron digestiones con HCl 5%, las cuales fueron analizadas mediante espectrometría de emisión atómica (ICP-AES). El mismo equipo fue usado para determinar las concentraciones de cationes mayores y metales traza en agua de los arroyos.

Los sedimentos de la cuenca urbanizada y no urbanizada son de arena muy finas, presentan simetría positiva, con formas platicúrticas y, la selección de grano es variada, originando grado de pobremente a muy pobremente seleccionadas. Las concentraciones de metales siguieron un patrón similar en todos los tipos de muestras: en el sedimento se encontró $Ca > Fe > Mg > Sr > Ba > Zn > V$, en muestras de agua filtrada de arroyos $Ca > Mg > K > Fe > Sr > Ba > V > Cu > Ni$ y, en las no filtradas $K > Mg > Ca > Fe > Sr > Cu > V > Ba > Ni$. Los metales son transportados mayormente en la fase particulada y se requieren de más estudios para identificar potenciales fuentes de contaminación que puedan afectar a la isla y al Parque Nacional de las Islas Vírgenes.

Palabras Clave: Cuenca, sedimentología, metales, agua, sedimento.

ABSTRACT of the thesis presented by **Esther Araiza Delgado** as a partial requirement to obtain the MASTER OF SCIENCE degree in degree in Earth Science With emphasis in Environmental Geosciences. Ensenada, Baja California, México August 2012.

St. John one of the Virgin Islands, U.S.A. is located in the Caribbean Sea. The present research project studies the sedimentology of streams and soils as well as the metal concentrations in soil, sediment and water. Our aim is to determine if there are significant differences between the hydrological basins in the island. Samples were collected during the rainy season from soil, stream sediments and runoff water. The granulometry of the samples was determined using a Horiba LA-910 laser particle size distribution analyzer. The study of potentially bioavailable metals in the soil and sediment fractions was carried out through digestions with HCL 5% and were analyzed by atomic emission spectrophotometry (ICP-AES). The same equipment was used to determine the major cation and trace metal concentrations in the stream water.

The sediments of the urbanized and non urbanized basins consisting in very fine sand show a positive symmetry, with platykurtic forms and with a varying grain selection making them poorly to very poorly selected. The metal concentrations followed a similar pattern in all the types of samples. In the sediment $Ca > Fe > Mg > Sr > Ba > Zn > V$ was found. In the filtered stream water samples the result was $Ca > Mg > K > Fe > Sr > Ba > V > Cu > Ni$. Whereas in the non filtered a $K > Mg > Ca > Fe > Sr > Cu > V > Ba > Ni$ sequence was found. The metals were transported mainly in particulate phase and more research is required to identify the potential pollution sources that could affect the island and the National Park of the Virgin Islands.

Keywords: Basing, sedimentology, metals, water, sediment.

Dedicatorias

A mis padres Margarita Delgado Aguilera y Ubaldo Araiza Rodríguez, por dejarme llegar a su vida y realizar mis sueños con su apoyo y amor incondicional.

A mis hermanos Luz Elena, Antonio Alejandro, Ricardo, Ubaldo, Yesenia y María Dolores, por las peleas, el apoyo ante todo y ejemplo de hermandad.

A mis sobrinos por dar alegría a mi vida.

A todos los que me brindaron su amor, amistad y compartieron conmigo alegrías y tristezas a todos ustedes gracias.

A mis profesores a lo largo de mi vida por inculcarme el amor hacia el aprendizaje.

Agradecimientos

Dr. Luis Walter Daessle Heuser y Dr. Thomas Gunter Kretzschmar por dirigir y realizar este trabajo con toda su paciencia, confianza y sus adecuados consejos muchas gracias.

Dr. Stephen Vaughan Smith, Dra. Ana Denisse Re Araujo y Dra. Zayre González por sus comentarios para mejorar este trabajo.

Dra. Sarah C. Gray por brindarme la oportunidad de realizar este estudio.

Oc. Patricia Alvarado Graef por la amistad incondicional brindada siempre.

Oc. Gabriel Rendón Márquez por su ayuda y adecuados comentarios.

Dr. Oscar González Yajimovich por su apoyo en la elaboración de los análisis de carbono.

M.C. César García Gutiérrez por su ayuda, apoyo y amistad para la realización de este trabajo.

M.C. Mario Vega Aguilar por su amistad y la realización de los análisis de ICP-AES y sus adecuadas asesorías.

L.I. Humberto Benítez por su amistad y ayuda incondicional para la realización de este trabajo.

Dr. Michael Schneider de Freie Universität Berlin por el apoyo en la estancia en esta Institución.

Al personal y profesores del CICESE por facilitar la educación necesaria para el desarrollo y término del presente trabajo.

CONACYT Por financiar mis estudios y estancia en la maestría, con el número de becario 236250.

Contenido

	Página
Resumen español	i
Resumen inglés	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	v
Lista de Figuras	ix
Lista de Fotografías	xiii
Lista de Tablas	xiv
Capítulo I Introducción	1
I.1 Climatología	3
I.2 Influencia de factores ambientales en la geoquímica de suelos y aguas	3
I.2.1 Contaminación ambiental en suelos	3
I.2.1.1 Fuentes de riesgos y contaminación	4
I.2.1.2 Calidad de suelo y valores de referencia	5
I.2.2 Contaminación ambiental en aguas superficiales	6
I.2.2.1 Fuentes de contaminación	6
I.2.2.2 Factores ambientales que controlan la composición de las aguas naturales	7
I.2.2.3 Distribución de las especies metálicas en solución	7
I.3 Trabajos previos	8

Contenido (continuación)

	Página
I.4 Justificación,	10
I.4.1 Hipótesis	11
I.4.2 Objetivo general	11
I.4.3 Objetivos particulares	11
I.5 Área de estudio	11
I.5.1 Características geológicas de la zona	12
I.5.2 Parques Nacionales y Monumentos de las Islas Vírgenes	14
I.5.3 Cuenca hidrológica	15
I.5.4 Datos Climáticos de la zona	16
I.5.5 Fisiografía	17
Capítulo II Materiales y Métodos	20
II.1 Trabajo de campo	20
II.1.1 Colecta de muestras de sedimento, suelo y agua	20
II.2 Métodos de análisis en laboratorio	24
II.2.1 Liofilización de muestras	24
II.2.2 Análisis granulométrico	25
II.2.3 Análisis de carbono orgánico (COrg), inorgánico (CInorg) y total (CT)	28
II.2.4 Contenido de metales en suelo y sedimento	30
II.2.4.1 Calibración y preparación de soluciones estándar	31
II.2.4.2 Calibración del ICP-AES	32
II.2.5 Análisis químico del agua	32

Contenido (continuación)

	Página
II.2.5.1 Filtrado y acidificación	32
II.2.5.2 Elementos analizados	33
II.2.5.3 Precisión analítica y tratamiento estadístico	33
Capítulo III Resultados	36
III.1 Análisis sedimentológico	36
III.1.1 Media (Tamaño de grano medio)	37
III.1.2 Desviación Estándar (Selección)	38
III.1.3 Kurtosis (Distribución de tamaños)	39
III.1.4 Asimetría (Positiva y negativa)	40
III.1.5 Clasificación	41
III.2 Componentes Orgánicos	42
III.2.1 Carbono total (CT), orgánico (COrg.) e inorgánico (CInorg.)	42
III.3 Contenido de elementos traza y mayores en suelo y sedimento	45
III.3.1 Concentración de elementos traza	46
III.3.2 Concentración de elementos mayores	52
III.4 Contenido de elementos traza y mayores en agua	59
III.4.1 Concentración de elementos traza disueltos y totales	59
III.4.2 Concentración de elementos mayores disueltos y totales	67
Capítulo IV. Discusión	77
IV.1 Sedimentología	77

Contenido (continuación)

	Página
IV.2 Carbono orgánico (COrg.) e inorgánico (CInorg.)	78
IV.3 Elementos traza en suelo y sedimento	78
IV.4 Elementos traza y mayores en agua	80
Capítulo V. Conclusiones	83
Bibliografía	84
Apéndice A Tablas de parámetros texturales	90
Apéndice B Tablas de concentraciones (%) de carbono total, orgánico e inorgánico	93
Apéndice C Tablas de concentraciones (ppm) de cationes en muestra de	95
Apéndice D Tablas de concentraciones (ppm) de cationes en muestra de agua	97
Apéndice E Tablas de valores de toxicidad en sedimento y agua	98

Lista de Figuras

Figura		Página
1	Mapa del área de estudio St. John Islas Vírgenes EE.UU.A. Escala 1:65,000, zonas azules representan cuerpos de agua.	12
2	Mapa de la geología de las cuencas Lameshur y Coral Bay en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A. (Water Island Formation ‘Lower Cretaceous’) (Rankin, 2002).	14
3	Sitio de muestreo de sedimento en suelo de las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A. donde la zona de manglar es el círculo (verde), Coral Bay pentágono (rojo), Great Lameshur Bay estrella (negra) y, Little Lameshur Bay es el triángulo (morado).	22
4	Sitio de muestreo de sedimento en arroyos de las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A. Donde la zona de Manglar la representa el círculo (morado), Coral Bay pentágono (verde) y Little Lameshur Bay es el triángulo (azul).	23
5	Sitio de muestreo en las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A. Donde los metales totales (muestras no filtradas, representadas por estrellas) y metales disueltos en agua (muestras filtradas, por círculos).	24
6	Liofilizador Virtis Genesis 25ES.	25
7	Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-910.	26
8	La gráfica (A) muestra curvas de distribución normal con distintas formas; la curva 1 es una curva leptocúrtica (picuda), la 2 es una curva mesocúrtica y la 3 es una curva platicúrtica (plana). En general se acepta que una curva muy leptocúrtica (gráfica A, curva 1) tiene mucho mejor grado de selección que una curva platicúrtica (gráfica A, curva 3). Y curvas de distribución de frecuencia que reflejan distintas características de acuerdo a su forma; (B) curva con asimetría negativa (hacia los finos), (C) curva simétrica, (D) curva con asimetría positiva (hacia los gruesos).	28
9	Coulómetro (UIC, Inc. Model CM440-036).	29
10	ICP-AES Liberty 110	31
11	Contenido porcentual del sedimento de las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.	37
12	Contenido de tamaño de grano promedio (Media Mz), (Wentworth, 1922), calculado por el Sys Gran 3.0 de las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.	38
13	Grado de selección (Std), (Folk & Ward, 1957) calculado por el Sys Gran 3.0 de las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.	39
14	Valores del Kurtosis (kg), (Folk, 1980; Friedman, 1962), la cual es una medida de cuan picuda es una curva de distribución y mide la concentración de la muestra alrededor del valor central, este es calculado por el Sys Gran 3.0 en las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.	40

Lista de Figuras (Continuación)

Figura		Página
15	Grafico de valores de asimetría (Sk), calculado por el Sys Gran 3.0 de las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.	41
16	Diagrama de composición textural para los sedimentos St. John. De las 36 muestras analizadas ninguna tiene como composición principal partículas tamaño limo y arcilla. Este diagrama es de composición textural y es independiente del origen. Modificado de (Shepard, 1954).	42
17	Concentración (%) de carbono total respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).	43
18	Concentración (%) de carbono orgánico respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).	44
19	Concentración (%) de carbono inorgánico respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).	45
20	Valores de concentración (ppm) de Sr de las muestras de suelo y arroyos; en las cuencas de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	47
21	Concentración (ppm) de Sr respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).	48
22	Valores de concentración (ppm) de Ba en las muestras de suelo y arroyo; de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	49
23	Concentración (ppm) de Ba respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).	50
24	Valores de concentración (ppm) del Zn en las muestras de suelo y arroyo; en las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	51
25	Concentración (ppm) de Zn respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).	52

Lista de Figuras (Continuación)

Figura		Página
26	Valores de concentración (%) de Fe en las muestras de suelo y arroyo; de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	53
27	Concentración (%) de Fe respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).	54
28	Valores de concentración (%) de Mg en las muestras de suelo y arroyo de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	55
29	Concentración (%) de Mg respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).	56
30	Valores de concentración (%) de Ca en las muestras de suelo y arroyo; de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	57
31	Concentración (%) de Ca respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).	58
32	Valores de concentración (ppm) de Ni en las muestras de agua, donde los círculos verdes representan los metales disueltos y el círculo rojo es de metales totales en las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.	60
33	Concentración (ppm) de Ni disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$). Y las siglas son las cuencas donde LL=Little Lameshur, GL=Great Lameshur y CB=Coral Bay.	61
34	Valores de concentración (ppm) de Sr en las muestras de agua, donde los círculos morados representan los metales disueltos y el círculo verde es de metales totales; en las cuencas de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	62
35	Concentración (ppm) de Sr disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).	63
36	Valores de concentración (ppm) de Ba en las muestras de agua, donde los círculos morados representan los metales disueltos y los círculos azules son de metales totales; de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	64

Lista de Figuras (Continuación)

Figura		Página
37	Concentración (ppm) de Ba disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).	65
38	Valores de concentración (ppm) de Cu en las muestras de agua, donde los círculos azules representan los metales disueltos y el círculo rojo es de metales totales; en las cuencas de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	66
39	Concentración (ppm) de Cu disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).	67
40	Valores de concentración (ppm) de Fe en las muestras de agua, donde los círculos tintos representan los metales disueltos y el círculo rojo es de metales totales; de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	68
41	Concentración (ppm) de Fe disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).	69
42	Valores de concentración (ppm) de Mg en las muestras de agua, donde los círculos amarillos representan metales disueltos y el círculo verde es de metales totales; de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	70
43	Concentración (ppm) de Mg disuelto respecto a las cuencas de St. John, Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).	71
44	Valores de concentración (ppm) de K en las muestras de agua, donde los círculos cafés representan los metales disueltos y el círculo verde es de metales totales; en las cuencas de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	72
45	Concentración (ppm) de K disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).	73
46	Valores de concentración (ppm) de Ca en las muestras de agua, donde los círculos azules representan los metales disueltos y el círculo verde es de metales totales; en las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	74
47	Concentración (ppm) de Ca disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).	75

Lista de Fotografías

Fotografía		Página
1	Cuencas topográficas de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A. Donde la fotografía A es de una cuenca urbanizada y la B cuenca no urbanizada.	16
2	Cuenca urbanizada (Coral Bay) de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	18
3	Cuenca urbanizada (Coral Bay) de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	18
4	Cuencas no urbanizadas (Lameshur entre otras) en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	19
5	Toma de muestras de suelo y sedimento de arroyos en las subcuencas no urbanizadas (Lameshur) y, urbanizadas (Coral Bay) en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	21
6	Toma de muestras de agua de arroyos en las subcuencas no urbanizadas (Lameshur) y, urbanizadas (Coral Bay) en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	21

Lista de Tablas

Tabla		Página
I	Valores de tamaño promedio (MZ), (Wentworth, 1922)	27
II	Límites para los valores del Grado de Selección (Std), (Folk & Ward, 1957)	27
III	Límites para los valores de Kurtosis (Sk), (Folk, 1980)	27
IV	Límite de detección calculado con agua corriente por el ICP-AES. Donde N.M son valores no medidos.	32
V	Calibración del ICP-AES. Los valores que se encuentran en negritas son utilizados para el cálculo de la concentración del metal, de las muestras en las cuencas de St. John.	32
VI	Replicas de muestras de sedimento (ppm), para la cuantificación de metales en St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A. Donde I.D. es la forma de identificación en laboratorio y, (*) son los elementos que presentaron error mayor al 10 % los cuales no se analizaron en los resultados.	34
VII	Replicas de muestras de agua, para la cuantificación de metales disueltos (ppm) en St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A. Donde I.D. es la forma de identificación en laboratorio y, (*) son los elementos que presentaron error mayor al 10 % los cuales no se analizaron en los resultados.	35
VIII	Valores de máximo, mínimo, media, mediana y desviación estándar de los diferentes elementos traza (ppm) y mayores (%), obtenidos de muestras de suelo y sedimento de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A. N.D. son valores no detectables.	58
IX	Valores de máximo, mínimo, media, mediana y desviación estándar de los diferentes elementos traza y mayores obtenidos en muestras de agua para metales disueltos en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	75
X	Valores de máximo, mínimo, media, mediana y desviación estándar de los diferentes elementos traza y mayores obtenidos en muestras de agua para metales totales en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	76

Lista de Tablas (Continuación)

Tabla		Página
XI	Concentración de elementos de la corteza continental, por (Hans, 1995), (Wedepohl, 1995) y, de suelo, por (Reimann & De Caritat, 1998), (Para referencias ver las notas) y los encontrados en suelo de las cuencas de St. John.	80
XII	Concentración de elementos químicos en el ambiente de sedimento, por (Reimann & De Caritat, 1998). (Para referencias ver las notas) y los encontrados en el sedimento de arroyos en las cuencas de St. John.	80
XIII	Concentración de elementos químicos en agua (mg/L), por (Reimann & De Caritat, 1998). (Para referencias ver las notas) y, los encontrados en las cuencas de St. John.	82
XIV	Contenido en porcentaje del tamaño del sedimento de St. John 2010.	90
XV	Contenido porcentual y de tamaño en sedimento arrojados por el Horiba LA-910, en mm y phi de St. John 2010.	90
XVI	Contenido del porcentaje de grano arrojados por el Horiba LA-910 de suelo y sedimento de las cuencas en St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.	91
XVII	Contenido del tamaño de grano promedio (Media Mz) (Wentworth, 1922), en las diferentes muestras de suelo y sedimento de las cuencas en St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.	92
XVIII	Distribución de los límites para los valores del Grado de Selección (Std), (Folk & Ward, 1957), para las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.	92
XIX	Valores de Kurtosis (Kg), (Folk, 1980; Friedman, 1962), la cual es una medida de cuan picuda es una curva de distribución y mide la concentración de la muestra alrededor del valor central; para las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.	92
XX	Concentración (%) de CT, COrg. y CInorg. en sedimento de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.	93

Lista de Tablas (Continuación)

Tabla		Página
XXI	Concentración (ppm) de los elementos traza, y (extracción parcial 5%) de elementos mayores, de cationes en suelo y sedimento en la Isla de St. John 2010.	95
XXII	Concentración (ppm) de elementos traza y mayores disueltos, en muestras de agua, St. John Islas Vírgenes, 2010.	97
XXIII	Concentración total (ppm) en elementos traza y mayores, en muestras de agua en la Isla de St. John 2010, donde N.C es valor no medido.	97
XXIV	Tabla de valores de toxicidad en sedimento (mg/kg peso seco) y agua ($\mu\text{g/L}$) tomados por sus siglas en Inglés de U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Donde b son elementos bioacumulables.	98

Capítulo I

Introducción

El agua es la sustancia más abundante sobre la faz de la tierra, es el principal constituyente de todos los seres vivos y es la mayor fuerza que constantemente esta esculpiendo la superficie terrestre. El suelo y agua son recursos naturales escasos y renovables, el primero de ellos en períodos de tiempo muy largos, que se ven afectados cada vez más por la actividad antropogénica.

La política de suelos y aguas se ha convertido en una prioridad en países donde la continua expansión urbana exige una garantía de calidad, tanto para la salud humana como para el ambiente. De ahí la necesidad de elaborar métodos y procedimientos que faciliten la investigación y evaluación de la calidad del suelo y agua.

Los parámetros texturales de un sedimento reflejan la fuente y el medio de transporte al que estuvieron sometidos.

Los contaminantes se clasifican como físicos, biológicos y químicos. Los contaminantes químicos del agua se pueden dividir en orgánicos como residuos de petróleos y sus derivados, y en inorgánicos como sales, ácidos y trazas de metales. El agua en su estado natural contiene diversas cantidades de sales y minerales.

Se entiende como contaminación la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el medio que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de la calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

Considerando que la contaminación de los suelos es consecuencia directa de la actividad humana, que da lugar a un incremento de los contenidos de determinadas sustancias en el suelo, así como la aparición de otras que naturalmente no están presentes, se hace inevitable determinar la situación inicial del suelo, esto es, aquella que no se ha visto afectada por dicha actividad.

A partir de los contenidos totales determinados en el material original del suelo sin contaminación (condición base), se puede estimar con éxito los aportes de las actividades antropogénicas en otros suelos de la zona, o en otros desarrollados sobre el mismo material y con características semejantes.

Macklin (1992), dice que los metales se liberan en el ambiente a través de procesos naturales y de meteorización. La especiación de metales, es de fundamental importancia para la toxicidad potencial y la movilidad de metales contaminantes liberados en el entorno fluvial por medio de procesos naturales o antropogénicos (Calmano & Förstner, 1983; Förstner et al., 1981). Teniendo en cuenta la importancia de la especiación de metales, ha sido ampliamente argumentado que la naturaleza de compartimentación de metal en el ambiente sedimentario puede ser de mayor importancia que las concentraciones totales de metales pesados (Barona, Aranguiz, & Elias, 1999; Ma & Rao, 1997). Mester y coautores (1998) argumentaron que la determinación del contenido total de metales pesados no es suficiente para evaluar el potencial impacto ambiental de los sedimentos contaminados. Esto es debido a que sólo una pequeña proporción del metal presente podrá participar en corto plazo en procesos biogeoquímicos y/o ser biodisponible (Förstner & Kersten, 1988).

A través del desarrollo de especializadas técnicas de disolución parcial, la mayoría de trabajos de la especiación para el sedimento asociado a los metales se han llevado a cabo operacionalmente (Davidson, Wilson, & Ure, 1999), mediante los cuales, debido a lo anterior las especies están definidas por los procedimientos utilizados para aislarlas. Tales procedimientos se conocen comúnmente como los procedimientos de extracción secuencial (SEPs) y en ellos participan sometiendo una muestra de sedimento a una serie más fuerte de reactivos específicos, bajo condiciones controladas (Nirel & Morel, 1990), dando

concentraciones de metales en un número que define operacionalmente fases físico-químicas.

Los procedimientos de extracción secuencial, por lo tanto, proporcionan una penetración en las asociaciones químicas de los metales con fase específica sedimentaria, mediante el cual la biodisponibilidad y movilidad ambiental de los metales pueden ser estimadas (Dawson & Macklin, 1998). Sin embargo, la extracción secuencial sigue siendo una técnica de gran alcance, sobre todo cuando se aplica comparativamente, y puede proporcionar importante información relativa a la movilidad y potencial de toxicidad de los metales contaminantes (Hursthouse, 2001).

Nölte (2003) dice que se realiza la valoración de los metales en el ICP el cual trabaja con altas temperaturas por medio de plasma (7000K), ionizando la muestra, y reduce el efecto de interferencia química debido a los enlaces moleculares los cuales no se destruyen mediante otra fuente de calor. En un ICP-AES, el plasma excita a los iones hasta emitir radiaciones electromagnéticas con longitudes características, las cuales son dirigidas a través de difractores ópticos a un detector que, midiendo longitud de onda e intensidad de la misma, permite determinar la identidad y la concentración de cada elemento.

I.1 Climatología

El clima juega un papel fundamental en los procesos de formación de la roca y minerales, en la evolución de la materia orgánica y en las migraciones: desplazamientos de elementos solubles o coloidales por influencia de corrientes de agua.

Influye en la alteración de minerales en el suelo, en la precipitación de metales procedentes del aire y en la movilización de metales en el perfil del suelo, en los ríos y lagos.

I.2 Influencia de factores ambientales en la geoquímica de suelos y aguas

I.2.1 Contaminación ambiental en suelos

La contaminación antropogénica puede afectar a la atmósfera, hidrósfera y litósfera. El suelo es un medio variable y complejo en su composición, tratándose de un sistema abierto

en el espacio y en el tiempo que evoluciona hasta alcanzar el equilibrio. Así, el suelo puede considerarse un sistema depurador capaz de degradar o inmovilizar sustancias contaminantes, actuando a) como fuente para los contaminantes, b) como filtro retardador del paso de dichos contaminantes a las aguas subterráneas o c) como biorreactor en el que los compuestos orgánicos pueden descomponerse.

Desgraciadamente, algunas acciones del hombre y/o desastres naturales influyen negativamente alterando el equilibrio ecológico y causando, a corto plazo, daños drásticos al sistema suelo que son, en muchos casos, irreversibles.

Entre los posibles elementos o sustancias contaminantes se encuentran los metales pesados, los cuales forman parte de la corteza terrestre como constituyentes naturales (contenido litológico) y se distribuyen por la atmósfera, hidrósfera, litósfera y biósfera a través de ciclos biogeoquímicos.

En suelos no contaminados los contenidos en metales están relacionados con los contenidos en el material original y se incrementan cuando existen aportes antropogénicos, pudiéndose alcanzar niveles de contaminación. Sin embargo, el riesgo que un elemento puede tener para el ambiente y la cadena alimenticia no depende sólo del contenido total sino también de la naturaleza y proporción de formas disponibles de dicho elemento.

I.2.1.1 Fuentes de riesgos y contaminación

El suelo es el mayor y más importante sumidero de elementos traza del medio terrestre. Sin embargo, el suelo tiene una capacidad finita de retención, por lo que aproximarse o excederse a esta capacidad podría dar lugar a consecuencias ambientales como, por ejemplo, un incremento en la movilidad del elemento, pudiendo causar biotoxicidad al sistema suelo-planta-animal.

Geoquímicamente hablando, un elemento introducido en el suelo puede encontrarse en una o más de las siguientes formas:

- Disuelto en la solución del suelo,

- Retenido en posiciones de intercambio de compuestos orgánicos e inorgánicos,
- Incluido o fijado dentro de los minerales del suelo,
- Precipitado independientemente o con otros compuestos del suelo e
- Incorporado al material biológico.

La actividad de los metales en la solución del suelo, generalmente, es resultado de su equilibrio con los minerales de arcilla, materia orgánica, hidróxidos de Fe y Al, complejos quelantes solubles, interviniendo el pH del suelo, que afecta intensamente este equilibrio (Lindsay, Mortvedt, & Giordano, 1972). Por otro lado, la salida del elemento contaminante del sistema puede llevarse a cabo por procesos de volatilización, drenaje, erosión o extracciones mediante cosechas.

Las fuentes contaminantes pueden ser endógenas o naturales y exógenas o antropogénicas. El material original o roca constituye la fuente natural de elementos traza en el suelo.

I.2.1.2 Calidad de suelo y valores de referencia

La calidad del suelo se establece como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat (Karlen et al., 1997).

En el sedimento los metales, son acumulados en el agua intersticial y en las partículas sedimentarias. La acumulación de metales en el sedimento está controlada principalmente por la tasa de sedimentación, el tamaño de grano, la deposición química, las actividades biológicas del ambiente y los distintos tipos de afluentes naturales y antropogénicos.

La forma de asociación de los elementos traza con la matriz de sedimento es diversa. Los cuales pueden ser adsorbidos a la superficie; incorporados a fases minerales o estar ocluidos en materiales amorfos (Villaescusa, 1996). Sin embargo, determinar la asociación específica sedimento-elemento traza es difícil debido a la amplia variedad de fases sólidas que pueden fijar metales pesados, su característica amorfa, y las bajas concentraciones de

metales involucrados (Rapin, Tessier, Cambell, & Cargnan, 1986). Debido a estas limitantes se han desarrollado métodos indirectos: el más común es el uso de extractantes parciales (o “selectivos”) como una aproximación para obtener información sobre las formas de asociación de los metales en sedimentos (Hirner, 1992; Kerstner & Försner, 1989; Rantala & Loring, 1985).

I.2.2 Contaminación ambiental en aguas superficiales

En los estudios por metales pesados en el ambiente acuático, los sedimentos constituyen un comportamiento importante. Entre las principales, se conoce que los sedimentos son un vehículo importante de elementos traza y una fuente hacia el agua, y los metales pesados tienden asociarse con el material particulado de tal forma que pueden llegar a concentrarse en los sedimentos hasta en cinco órdenes de magnitud con respecto a la fase disuelta (Villaescusa, 1996).

I.2.2.1 Fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación de un cuerpo de agua pueden ser difusas, como la acidificación por lluvia ácida o contaminación por nitrato debido al uso de fertilizantes; o localizadas, como son los vertederos y depósitos de residuos químicos, a partir de los cuales, compuestos orgánicos y metales pesados pueden llegar al agua superficial y después de un tiempo por infiltración al agua subterránea.

La contaminación de las aguas superficiales se produce principalmente por acción del hombre, directamente a través de la eliminación de residuos sanitarios no tratados y de compuestos químicos orgánicos o inorgánicos los cuales son vertidos a ríos y lagos.

Es importante entender ciertos procesos relacionados con los procesos naturales que controlan la calidad del agua para hacer frente a los mayores y crecientes problemas relacionados con la contaminación ambiental del agua. Así, por ejemplo, las aguas de ríos que se encuentran bien oxigenadas van a ser capaces de convertir residuos orgánicos en formas inocuas (Vázquez, 2007).

I.2.2.2 Factores ambientales que controlan la composición de las aguas naturales

El estudio de los factores ambientales relacionados con la composición de un agua, concierne sobre todo a hidrogeólogos y entre estos factores se encuentra el clima, efectos geológicos y factores bioquímicos.

La influencia del clima en la calidad del agua depende de procesos como la alteración de las rocas asociada a la temperatura y a la cantidad y distribución de lluvias.

Los factores geológicos se relacionan con la pureza y tamaño de cristal, textura de la roca y porosidad, estructura regional, grado de fisuramiento, etc. En el caso de aguas termales donde el contenido en solutos es generalmente mayor por la temperatura a que se encuentra expuesta, y las aguas superficiales se encuentran a temperatura ambiental.

Los factores bioquímicos hacen referencia a la influencia, en mayor o menor grado, de los procesos vitales de plantas y animales en la composición del agua.

Finalmente mencionar que algunos de los procesos formadores del suelo son los mismos que controlan la composición natural del agua y, por tanto existe una relación cercana entre la química del agua y la química del suelo.

I.2.2.3 Distribución de las especies metálicas en solución

El comportamiento de los elementos metálicos en aguas naturales condiciona su biodisponibilidad y, por tanto, su capacidad de incorporación a la biomasa, condicionando su efecto como macro o micronutriente esencial y su biotoxicidad.

Dentro de los macronutrientes esenciales se incluyen elementos metálicos como el Ca, K Mg y Na, importantes en funciones metabólicas o enzimáticas en microorganismos, animales y vegetales. La presencia de metales no esenciales como el Ag, As, Cd, Cr, Hg, Pb y Se, suele tener efectos tóxicos.

En aguas naturales no contaminadas el contenido de estos metales no esenciales es de trazas. Concentraciones anormalmente elevadas se asocian al estudio de los efectos tóxicos. Sin embargo, debe tenerse presente que una disminución de la concentración de los

elementos metálicos esenciales por debajo del óptimo necesario puede provocar también problemas (Drever, 1997).

Tradicionalmente, los límites de toxicidad se han establecido en función de los contenidos totales, tanto en aguas como en suelos. Estos contenidos totales, sin embargo, van a estar controlados por numerosos procesos de formación de complejos en solución, disolución, precipitación o coprecipitación, sorción y desorción (Drever, 1997).

I.3 Trabajos previos

La rápida degradación de los recursos costeros en todo el Caribe, como resultado de los impactos antropogénicos ha sido bien documentada en los últimos años (Gardner, Cote, Gill, Grant, & Watkinson, 2003; Nemeth & Nowlis, 2001; C. E. Ramos & MacDonald, 1998). El aumento en la tasa de sedimentación por la generación de caminos del suelo como consecuencia del desarrollo, ha recibido considerable atención, debido en parte a la presión ejercida sobre posteriores arrecifes de coral. Rogers (1979) comenta que los sedimentos suspendidos actúan como inhibidores de la penetración de la luz, reduciendo la fotosíntesis y crecimiento de los corales.

La erosión y los sedimentos son procesos naturales en las zonas de recepción de las aguas costeras, pero las tasas se incrementan por las actividades humanas como la deforestación, la urbanización y la agricultura. La eliminación de la vegetación natural y la construcción de caminos no pavimentados ha demostrado que en gran medida se intensifican las tasas de erosión en las Islas Vírgenes de EE.UU.A., y se han definido los vínculos entre la erosión y el consecuente incremento de sedimentos río abajo, que impacta el ambiente marino (Brooks, Devine, Larson, & Rood, 2007).

Stein (1991) nos dice que el análisis elemental permite determinar el carbono total y orgánico en el sedimento, el carbono total se determina a partir de una muestra de sedimento, mientras que para la determinación del carbono orgánico es necesario tener las muestras de sedimento libres de carbonato.

Es conocido que una proporción importante de metales pesados son movilizados en el ambiente, en forma natural o por actividades humanas llegan al océano vía descargas directas, transporte fluvial y transporte atmosférico (Salomon & Förstner, 1984). Estos elementos al encontrarse en el agua, son incorporados a los ciclos biogeoquímicos y finalmente alcanzan el fondo, donde llegan a ser parte del registro sedimentario. Sin embargo, los metales pesados no necesariamente permanecen fijos a los sedimentos sino que pueden ser reciclados por procesos químicos y biológicos tanto en los sedimentos como en el agua (Villaescusa, 1996).

El tamaño de grano es un factor principal, el cual controla la capacidad de retener elementos traza en la fase sedimentaria. Esto se debe a que generalmente se presenta una correlación inversa entre el tamaño de grano y la concentración de metales pesados en el sedimento. De acuerdo a Horowitz (1991), esta correlación resulta de una combinación de factores físicos (e.g. área superficial) y químicos (e.g. sustratos geoquímicos). Varios estudios han reportado la separación física en una amplia variedad de fracciones de tamaño de grano para reducir este efecto. La más utilizada para comparar concentraciones de metales en sedimentos, entre diferentes áreas, es la fracción $<63 \mu\text{m}$. Las razones del uso de esta fracción son: 1) los metales tienden a concentrarse en las partículas de tamaño limo/arcilla; 2) esta fracción se transporta casi enteramente en suspensión; 3) el tamizado no altera la concentración del metal; 4) hace posible comparar resultados entre muestras de diferentes características texturales y 5) existen numerosos estudios desarrollados en esta fracción (Förstner & Solomon, 1980; Horowitz, 1991).

La composición de un agua varía como consecuencia de una serie de reacciones que tienen lugar en el ambiente y, por tanto, puede dar información sobre la influencia del material litológico, edáfico y actividades antropogénicas con los que el agua ha estado en contacto.

La composición del agua superficial está determinada por su interacción con el sustrato rocoso de la cuenca, el suelo o zona no saturada, de dónde mayoritariamente extrae el agua sus componentes.

En un estudio realizado por Tucker, Alminas, & Rantala (1985) identificaron yacimientos de metales en St. John, los cuales se derivan de las intrusiones de lava fundida en la roca existente las cuales son ricas en metales, generando enriquecimiento de Co y Fe, donde la mayoría se centra en el parte aguas, extendiéndose hasta la costa, también nos dice que muchos de los arroyos que drenan el área son ricos en sedimentos Ag, Ba, Bi, Cu, Pb y Sb, en el cual comentan que estos pueden representar una amenaza potencial para los ecosistemas terrestre y marino.

Ramos y colaboradores (1989) midieron la concentración de Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni y Zn en agua de arroyo y de mar y, en sedimentos y tejido de organismos marinos en St. John. Sugiere que las concentraciones de metales siguieron un patrón similar en todos los tipos de muestras: $Mg > Fe > Mn > Cu > Cr > Ni > Zn$. Además, tuvieron concentraciones similares a las de lugares que no reciben contaminación antropogénica. Alminas y coautores (1995) encontraron elementos como Au, Sn Y Pb, los cuales se encuentran en los minerales pesados de las rocas de St. John.

I.4 Justificación, Hipótesis y Objetivos

La calidad del agua y la erosión de las cuencas es un problema relevante, ya que el sedimento es transportado a los ríos, lagos, estuarios y finalmente, a los océanos; impactando a la ecología del lugar.

Es importante obtener conocimientos detallados en el espacio y en el tiempo de los efectos hidrológicos de las cuencas, así como evaluar si existe o no contaminación por metales pesados, además de determinar si son originados por procesos antropogénicos o por la dinámica propia de las cuencas.

El principal problema ambiental en el Caribe, es el aporte de sedimento de los arroyos hacía la costa originando sedimento en suspensión que afecta a los arrecifes coralinos, es necesario un manejo y un ordenamiento integrado y sostenible de las zonas costeras así como también promover prácticas de ordenación de cuencas hidrográficas, para prevenir, controlar y reducir la degradación del medio marino. La experiencia acumulada en este

campo aparentemente no cuenta con ejemplos de manejo integrado de costas y cuencas hidrográficas.

I.4.1 Hipótesis

La composición de los elementos en suelo, sedimento y agua será similar en las cuencas con diferentes niveles de desarrollo urbano.

I.4.2 Objetivo general

Caracterizar la hidrogeoquímica y sedimentología de dos cuencas hidrológicas: Coral Bay (urbanizada) y Lameshur Bay (no urbanizada), en la isla de St. John, Islas Vírgenes de EE.UU.A.

I.4.3 Objetivos particulares

Descripción granulométrica en suelo y sedimentos, carbón orgánico, metales en suelo y sedimento (Ba, Ca, Fe, Mg, Sr, V y Zn) de ambas cuencas.

Determinación de metales traza y mayores en agua (Ba, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Ni, Sr y V) en ambas cuencas.

I.5 Área de estudio

Las Islas Vírgenes de los EE.UU.A se encuentran a lo largo del arco de la isla de las Antillas Mayores entre 60-90 km al este de Puerto Rico entre el Mar Caribe y el Océano Atlántico. Las islas principales son: St. Thomas, St. Croix y St. John (Fig. 1).

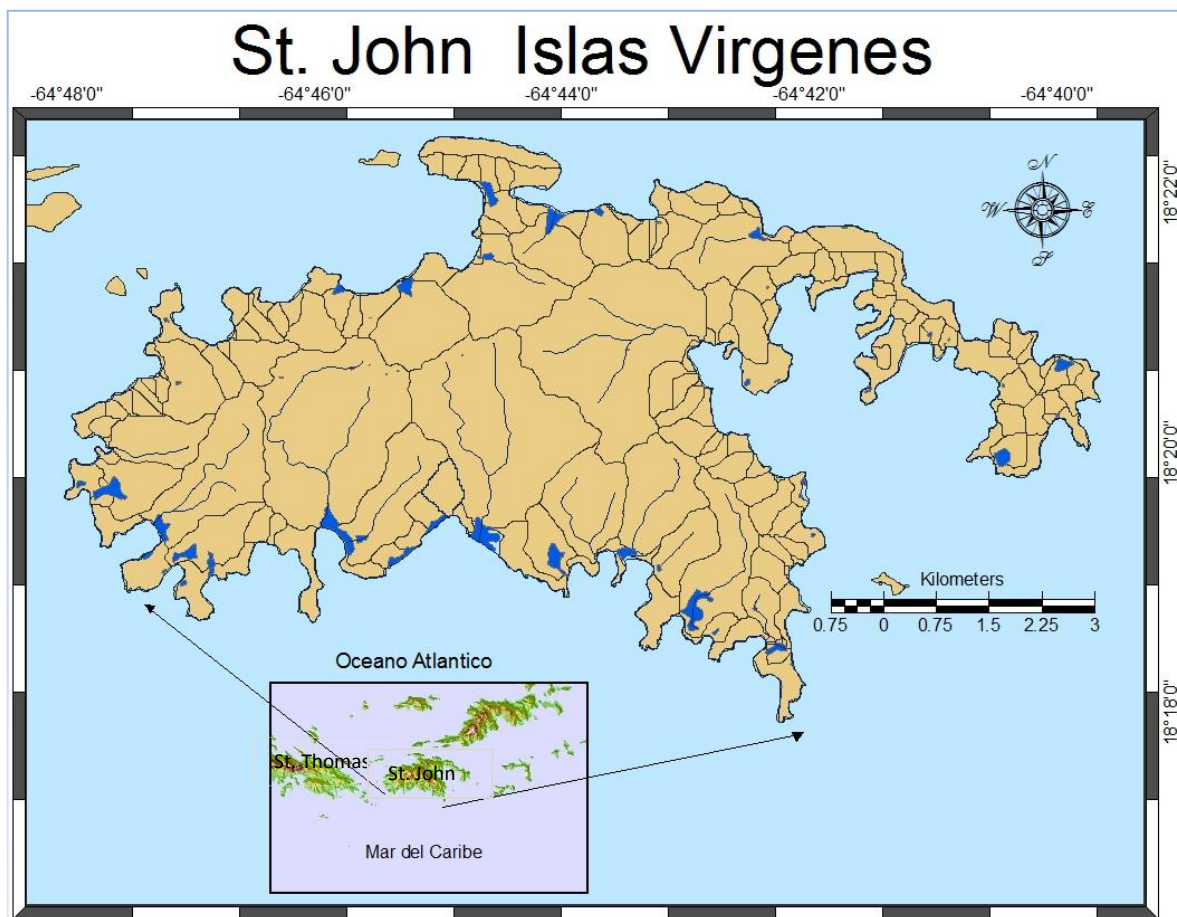


Figura 1. Mapa del área de estudio St. John Islas Vírgenes EE.UU.A. Escala 1:65,000, zonas azules representan cuerpos de agua.

St. John es la más pequeña de las tres islas principales de las Islas Vírgenes y es territorio de los Estados Unidos. Está localizada a 2,5 km al este de St. Thomas y a 2,5 km al sur de Tórtola. St. John tiene 11 km de largo y, en promedio 5 km de ancho, con una superficie de 54 km². Las coordenadas son 18° 20'N 64° 44'W. Cuenta con una población de 4,157 habitantes.

I.5.1 Características geológicas de la zona

En el lado oriental de la Placa del Caribe, St. John se encuentra en un límite de transformación hacia el noroeste del arco de islas Antillas Rallador (Rankin, 2002). Se conecta a St. Thomas por una plataforma que se extiende unos 32 km al norte de las islas

con profundidades de 300 m y, finalmente, cae en los 8000 m en la Fosa de Puerto Rico. Hay una caída de 4.000 m frente a unos 13 km al sur de la isla (una característica conocida como la Fosa de las Islas Vírgenes) que separa el St. John y St. Thomas. Las dos islas están sobre el Banco de Puerto Rico. Los tipos de rocas de St. John son principalmente metamórficas y volcánicas, con algunas calcáreas y pedernal (Rankin, 2002). Según Donnelly (1959, 1966) las rocas más antiguas en el área de estudio se producen a lo largo de la costa sur de la isla llamada Formación Water Island, las rocas más antiguas próximas son las rocas de la Formación Louisenhoj cubriendo la discordancia de la Formación Water Island. En la Formación Water Island se trata sobre todo de basalto cretácico, andesita, keratophyta y sus equivalentes volcánicos intrusivos hipabisales clásticas, plutones tonalíticos y diques máficos. Estas rocas dan testimonio de una historia que incluye el vulcanismo de subducción relacionado con la compresión durante la formación de las Antillas Mayores. Otros tipos de roca son gabro, volcánica, sílex de radiolarios, biotita, hornblenda, silita, y brechas (Rankin, 2002). La mayoría de las rocas están relacionadas con los procesos de la corteza oceánica (Fig. 2).

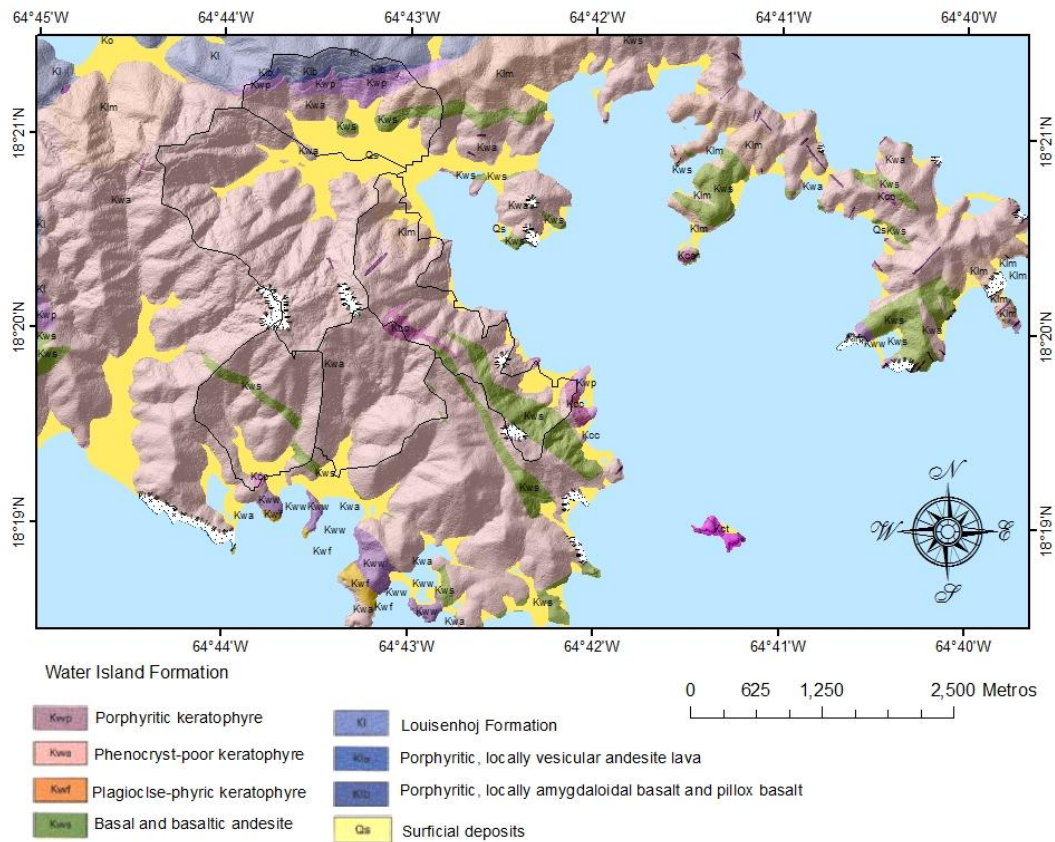


Figura 2. Mapa de la geología de las cuencas Lameshur y Coral Bay en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A. (Water Island Formation ‘Lower Cretaceous’) (Rankin, 2002).

I.5.2 Parques Nacionales y Monumentos de las Islas Vírgenes

Aproximadamente el 56% de St. John está dentro del Parque Nacional de la Isla Virgen, que fue donado originalmente por Laurence Rockefeller en 1956. En 2001, el Monumento Nacional de las Islas Vírgenes, fue creado por la proclamación presidencial para proteger a algunos de los hábitats marinos sensibles alrededor de la isla. Bosques húmedos y secos, matorrales, manglares y enlaces de lagunas de agua salada, praderas de pastos marinos y arrecifes de coral que rodean la isla. La mayoría de los arrecifes de coral en la isla son de poca profundidad, tipo franja que crecen en aguas de menos de 12 metros de profundidad (C. S. Rogers & Teytaud, 1988), pero también existen arrecifes de parche, es de gran

importancia el estudio de la cuenca, ya que el área de estudio se encuentra dentro del Parque Nacional y los cambios ocurridos en el lugar pueden afectar el hábitat del lugar y sobre todo repercutir en los arrecifes de coral.

I.5.3 Cuenca hidrológica

Los escurrimientos son originados del parteaguas hacia la parte más baja del lugar, estos escurrimientos se encuentran contenidos dentro de cuencas hidrográficas, teniendo varios tipos de cuencas. En St. John existe básicamente la cuenca tipo topográfica, la cual tiene sistemas interconectados de cauces que drena la totalidad del agua, donde todo el escurrimiento originado en tal área es descargado a través de una salida única (Linsley, Kohler, & Paulhues, 1949).

Una división relativamente reciente de las cuencas topográficas por Altares (1993), las clasifica en rurales y urbanas (Fotografías 1A y 1B). Las cuencas urbanas presentan áreas importantes o su totalidad con urbanización, es decir, los suelos y la vegetación han sido sustituidos por superficies altamente impermeables como pavimentos, techos, canchas deportivas, etc.; o bien, combinaciones de áreas naturales y artificiales. La importancia de esta distinción radica en la enorme diferencia a la respuesta hidrológica entre las cuencas rurales y las urbanas; donde en las urbanas, es mucho más rápida y de mayor intensidad, pues en general la infiltración se reduce y la precipitación en exceso se incrementa notoriamente (Campos, 2007).



Fotografías 1. Cuencas topográficas de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A. Donde la fotografía A es de una cuenca urbanizada y la B cuenca no urbanizada.

I.5.4 Datos Climáticos de la zona

El clima es marítimo tropical, con precipitaciones medias anuales con rangos de 890-1400 mm^{-1} siendo mayor entre mayo y noviembre (temporada de lluvia) (Reilly, 1991). Sin embargo, la precipitación en la isla varía debido a la presencia de microclimas. No existen arroyos perenes, pero los arroyos de agua dulce estacionales drenan ~10 días después de un evento de tormenta prolongada, aunque los arroyos son vías de drenaje naturales de la tierra basadas en la escorrentía, muchos arroyos han sido alterados por estructuras antropogénicas tales como carreteras y otras superficies impermeables. No existe temporada definida de húmedo seco la temperatura en general tiene un promedio de 29 °C con variantes de solo 4-5 °C a través de los años (Alminas et al., 1995).

Los vientos predominantes que afectan a St. John son E-SE, siendo los más fuertes durante diciembre y febrero, soplando 11- 21 nudos el 60% del tiempo. Fuertes vientos se producen en Diciembre. Estos vientos crean ondas generalmente altas 0.3-0.9 m, pero puede alcanzar los 3-3.7m durante el invierno. Las olas vienen desde el este durante el invierno y el sureste durante el verano (Brooks et al., 2007).

I.5.5 Fisiografía

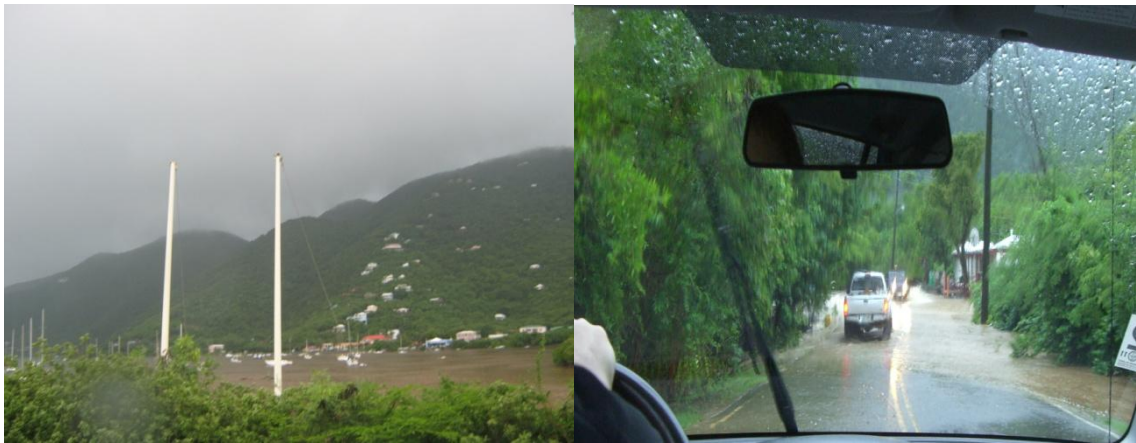
La limitada precipitación, suelos delgados, la presencia de pastoreo y los vientos del este originan una vegetación Xerica-Cactácea en la parte este de isla principalmente, presentando un gradiente este-oeste el cual se convierte en matorral verde y plantas maderables progresivamente hacia el oeste, cubriendo más de la mitad de la isla. La mayoría del bosque verde ocupa el 17% de la isla, el cual se distribuye en las elevaciones mayores donde la lluvia es más abundante (Woodbury & Weaver, 1987).

La topografía de la isla es montañosa con 390 m de altura. El 80% de la isla cuenta con pendientes pronunciadas a 30° y el resto con pendiente media. La isla tiene costas irregulares, con numerosas bahías que drenan directamente al mar e islotes en alta mar (Anderson, 1994).

Coral Bay, se localiza al este de la isla es una cuenca amplia cubriendo un área de 12 Km² esta tiene el mayor desarrollo urbano, cuenta con pendientes pronunciadas, roca y suelo altamente erosionable, con diferentes tipos de suelos localizándose en forma de parche a lo largo de la línea de costa, con caminos de terracería y pavimentados, en esta bahía se encuentra una marina, la cual alberga embarcaciones de pesca deportiva, buceo y recreación (Fotografías 2 y 3). La cuenca de Lameshur se encuentra dentro del parque nacional protegido en el cual existe poco desarrollo urbano, este lugar cuenta con un bosque denso con pocos caminos no pavimentados y altas pendientes, esta cuenca se divide en dos subcuencas: Little Lameshur y Great Lameshur (Fotografías 4).



Fotografías 2. Cuenca urbanizada (Coral Bay) de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.



Fotografías 3. Cuenca urbanizada (Coral Bay) de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.



Fotografías 4. Cuencas no urbanizadas (Lameshur entre otras) en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

Capítulo II

Materiales y Métodos

II.1 Trabajo de campo

II.1.1 Colecta de muestras de sedimento, suelo y agua

Se tomaron 36 muestras en julio del 2010 de suelo y sedimento (arroyos) en St. John en las cuencas de Lameshur Bay, Coral Bay y la zona de Manglar (Figs. 2, 3 y 4), estas fueron colectadas del parteaguas hasta la línea de costa en cada una de las cuencas, las cuales fueron procesadas con los métodos estándares del laboratorio de VIERS (por sus siglas en Inglés Virgin Island Environment Resource Station) para su posterior análisis químico en laboratorio del Centro de Investigación Científica de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

La toma de suelo se realizó dentro de los primeros 5 cm, se retiraron los restos de las raíces. En las muestras de sedimento de arroyo se tomo en la parte intermedia del afluente. Todas las muestras se guardaron en bolsas de plástico se etiquetaron y se congelaron (Fotografía 5).



Fotografías 5. Toma de muestras de suelo y sedimento de arroyos en las subcuencas no urbanizadas (Lameshur) y, urbanizadas (Coral Bay) en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

En las corrientes de agua se obtuvieron 22 muestras en temporada de lluvia y, tomándose antes de los cauces naturales para no ser influenciadas por brechas ya que estas pueden contribuir en el aporte de sedimento en suspensión, se utilizó material descontaminado y etiquetado, enjuagando el frasco por triplicado con la misma agua, al captar la muestra el frasco se sumergía un centímetro para su llenado (Fotografía 6).



Fotografías 6. Toma de muestras de agua de arroyos en las subcuencas no urbanizadas (Lameshur) y, urbanizadas (Coral Bay) en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

St. John

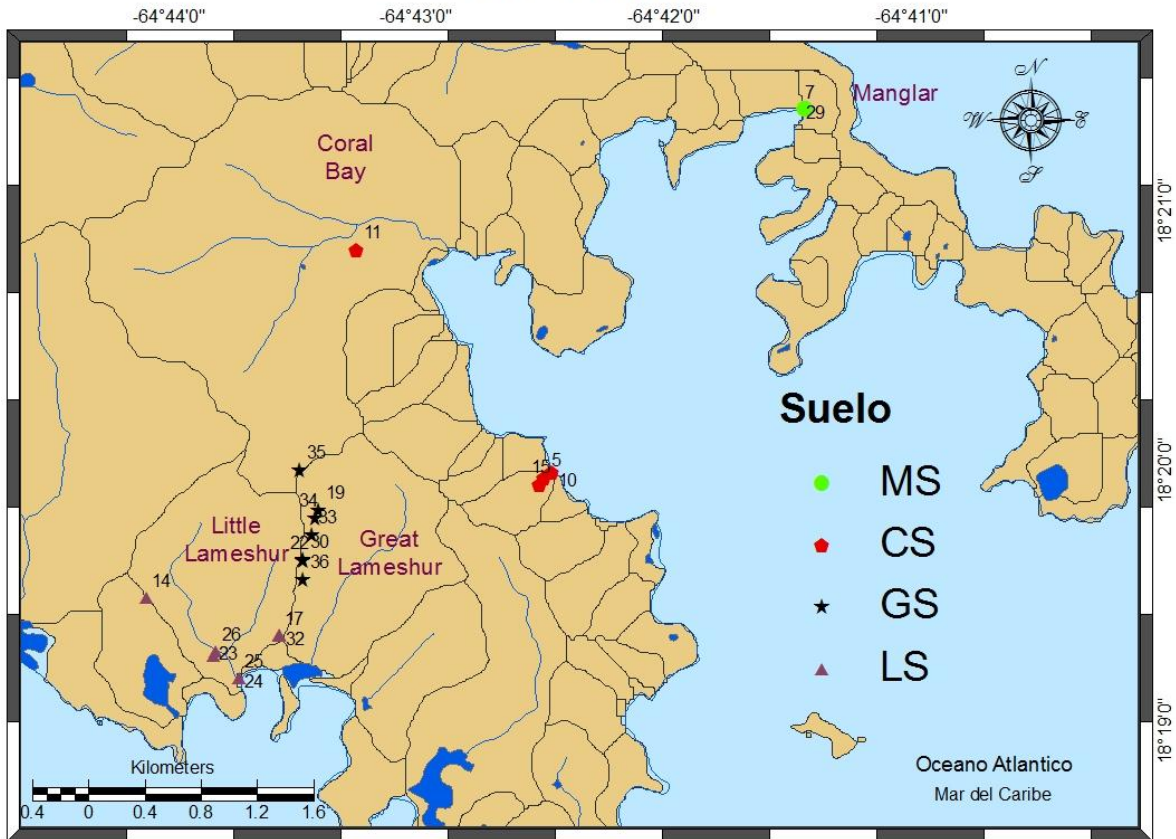


Figura 3. Sitio de muestreo de sedimento en suelo de las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A. donde la zona de manglar es el círculo (verde), Coral Bay pentágono (rojo), Great Lameshur Bay estrella (negra) y, Little Lameshur Bay es el triángulo (morado).

St. John

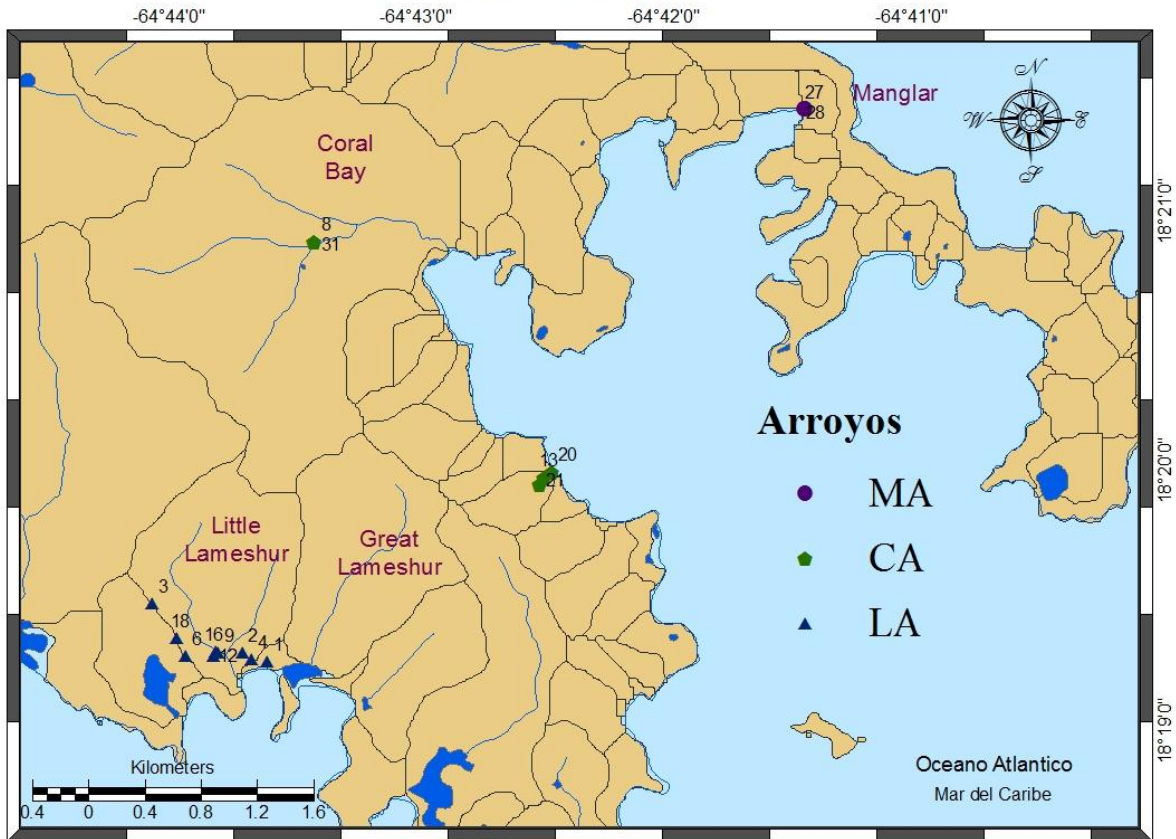


Figura 4. Sitio de muestreo de sedimento en arroyos de las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A. Donde la zona de Manglar la representa el círculo (morado), Coral Bay pentágono (verde) y Little Lameshur Bay es el triángulo (azul).

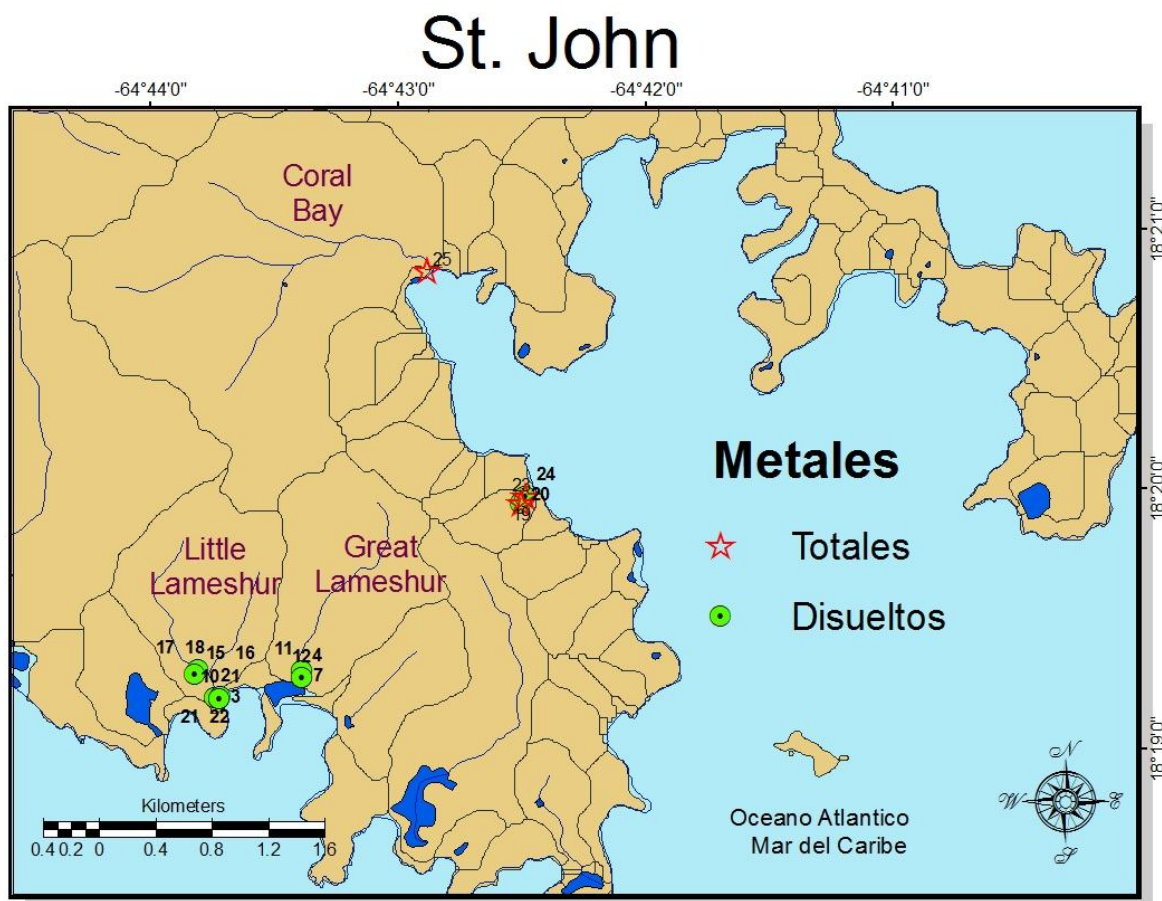


Figura 5. Sitio de muestreo en las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A. Donde los metales totales (muestras no filtradas, representadas por estrellas) y metales disueltos en agua (muestras filtradas, por círculos).

II.2 Métodos de análisis en laboratorio

II.2.1 Liofilización de muestras

Todas las muestras de suelo y sedimento fueron liofilizadas con un Liofilizador Virtis Genesis 25ES en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) (Fig. 6).



Figura 6. Liofilizador Virtis Genesis 25ES.

II.2.2 Análisis granulométrico

Los sedimentos se pasaron por un tamiz <1000 micrones (μm), para separar los restos de ramas, raíces y el tamaño de grano grueso del sedimento (diámetro mayor a 1 mm) el cual no fue analizado, ya que en este trabajo solamente nos interesa la fracción de grano más fina, la que contiene la mayor proporción de metales, ya sea por su composición mineral y/o procesos de adsorción. Posteriormente el grano menor a 1000 μm se realizó con ayuda de un analizador de distribución de tamaño de grano, láser He-Ne con luz de tungsteno (Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer) modelo Horiba-LA-910 en el IIO de la UABC (Fig. 7). El resultado de este equipo es equivalente al uso de tamices (método convencional) de tamaños análogos y determina el tamaño de partícula entre 0.02 a 1000 μm .

Además el equipo calcula los parámetros texturales promedio (tamaño promedio M_z , desviación estándar σ , kurtosis S_k , etc), de manera automática.



Figura 7. Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-910.

En el equipo Horiba-L910 se utilizó el índice de refracción de cuarzo en agua. Aproximadamente 0.1 g de las muestras fueron utilizadas para este análisis, con hexametáfosfato de sodio como dispersante. La metodología ha sido descrita de acuerdo al manual de procedimientos y operaciones en Daesslé y colaboradores (2002). El control de la calidad de los resultados se llevó a cabo con el análisis material de referencia certificado por la NIST 8010D para el análisis de tamaño de grano de arenas y esferas de 0.9 μm de poliestireno NIST 1690.

Los valores son en unidades de micrones (μm) y posteriormente convertidos a valores phi (\emptyset) mediante fórmulas convencionales:

$$\emptyset = -\log_2 d \quad (1)$$

donde d es el diámetro de la partícula en mm.

Los valores calculados por el analizador Horiba LA-910, se introdujeron en el programa de SysGran 3.0 donde se obtuvieron los parámetros como:

- 1) Tamaño promedio (Media, Mz), la cual es muy significativa en el análisis de transporte, origen y tipo de los sedimentos (Tabla I).

Tabla I. Valores de tamaño promedio (MZ), (Wentworth, 1922)

Tamaño (diámetro) en mm	\emptyset	Clases de tamaño
1-0.5	0.0 a 1.0	arena gruesa
0.5-0.25	1.0 a 2.0	arena media
0.25-0.125	2.0 a 3.0	arena fina
0.25-0.125	3.0 a 4.0	arena muy fina
0.0625-0.031	4 a 5	limo grueso
0.031-0.015	5.0 a 6.0	limo medio
0.015-0.007	6.0 a 7.0	limo fino
0.007-0.003	7.0 a 8.0	limo muy fino
< 0.002	> 8.0	arcilla

- 2) Desviación estándar (Std, σ), es la uniformidad y nos da una idea de la clasificación de los sedimentos, lo cual tiene relación con el tipo de transporte y ambiente de depósito de los mismos (Tabla II).

Tabla II. Límites para los valores del Grado de Selección (Std), (Folk & Ward, 1957)

σ	Grado de selección (Std)
<0.35	Muy bien seleccionada
0.35 — 0.50	Bien seleccionada
0.50 — 0.71	Moderadamente bien seleccionada
0.71 — 1.0	Moderadamente seleccionada
1.0 — 2.0	Pobrementemente seleccionada
2.0 — 4.0	Muy pobrementemente seleccionada
> 4	Extremadamente pobrementemente seleccionada

- 3) Kurtosis (Sk), que es una medida de cuan “picuda” es una curva de distribución y mide el grado de concentración de la muestra alrededor del valor central (Folk, 1980; Friedman, 1962), (Fig. 8, Tabla III).

Tabla III. Límites para los valores de Kurtosis (Sk), (Folk, 1980)

Kurtosis	Distribución
<0.67	Muy platicúrtica
0.67 — 0.90	Platicúrtica
0.90 — 1.11	Mesocúrtica
1.11 — 1.50	Leptocúrtica
1.50 — 3.00	Muy leptocúrtica
>3.00	Extremadamente leptocúrtica

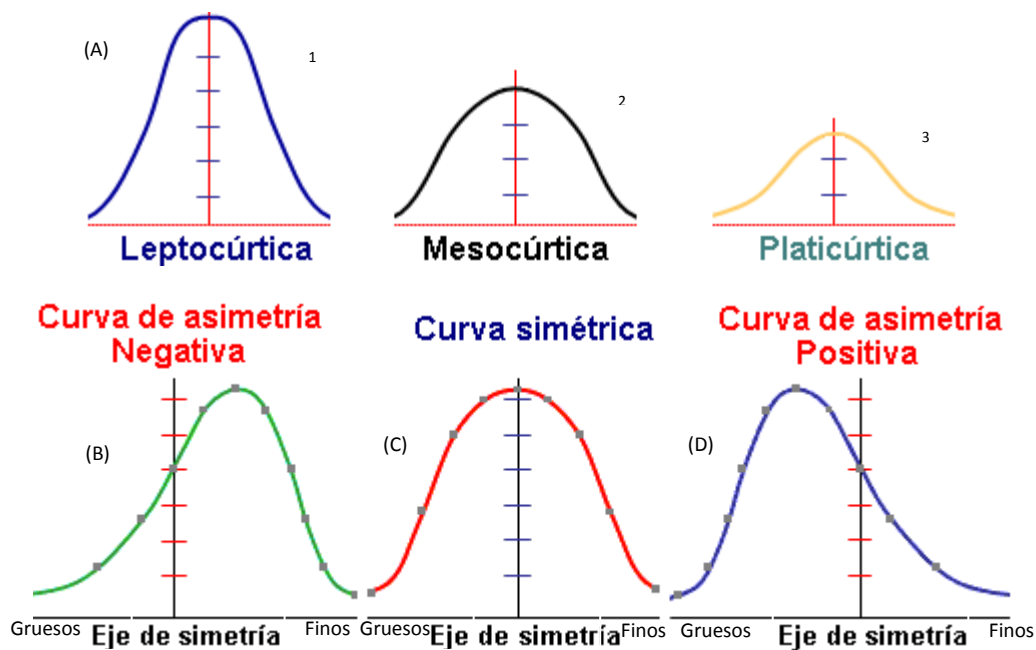


Figura 8. La gráfica (A) muestra curvas de distribución normal con distintas formas; la curva 1 es una curva leptocúrtica (picuda), la 2 es una curva mesocúrtica y la 3 es una curva platicúrtica (plana). En general se acepta que una curva muy leptocúrtica (gráfica A, curva 1) tiene mucho mejor grado de selección que una curva platicúrtica (gráfica A, curva 3). Y curvas de distribución de frecuencia que reflejan distintas características de acuerdo a su forma; (B) curva con asimetría negativa (hacia los finos), (C) curva simétrica, (D) curva con asimetría positiva (hacia los gruesos).

II.2.3 Análisis de carbono orgánico ($C_{Org.}$), inorgánico ($C_{Inorg.}$) y total (C_T)

Las muestras liofilizadas, se trituraron en un mortero de ágata depositando las muestras en recipientes de plástico adecuadamente etiquetados, se vertió una pequeña parte en viales de vidrio y, se colocaron en una plancha (Thermolyne Cimarec 3) monitoreando la temperatura no mayor de 75°C , agregando HCl al 10% en repetidas ocasiones para eliminar el carbón asociado a los minerales de carbonato, dejando evaporar hasta que las muestras no efervescían, se retiraron de la plancha y se pasaron a la estufa (VWR scientific Products 13506 gravity oven) a una temperatura de 50°C , se pasaron después a un desecador con silica gel, se raspó del fondo del recipiente para pesar aproximadamente 20 mg en un crisol de porcelana, esta porción se utiliza para el análisis de carbono orgánico y, calentandola a una temperatura de 650°C . Para la obtención del porcentaje de carbono orgánico total se utiliza

sedimento solamente liofilizado y triturado en mortero de ágata, pesando 20 mg exponiéndola a una temperatura de 1000 °C.

Las especies de carbono se analizaron mediante coulometría en un Coulómetro de Bióxido de Carbono (UIC, Inc. Model CM440-036) (Fig. 9), en el Laboratorio de Sedimentología de la Facultad de Ciencias Marinas de la UABC. Las porciones pesadas se introducen en el coulómetro para la obtención de carbono total y carbono orgánico.



Figura 9. Coulómetro (UIC, Inc. Model CM440-036).

El coulómetro, tiene una alta precisión para proporcionar el contenido absoluto de carbono en un rango de 0.01 μg a 100 mg. Consta de una celda electroquímica que contiene monoetanolamina y un indicador de pH colorimétrico, así como un ánodo (platino) y un cátodo (plata). Dicha celda es colocada dentro de un compartimiento en el aparato, entre una fuente de luz y un fotodetector. Cuando el CO_2 llega a la celda, es absorbido cuantitativamente, puesto que al reaccionar con la monoetanolamina forma un ácido titulable. Este ácido cambia de color la solución y mediante fotodetección se obtiene este cambio de color en la solución como un porcentaje de transmitancia (%T). A medida que aumenta el %T, la titulación se activa automáticamente generando una base electroquímica

a una velocidad proporcional al %T (aproximadamente 1500 μg de carbono/minuto). Cuando la solución regresa a su color original (%T original) la corriente se detiene. La corriente durante la titulación es medida continuamente y es integrada en unidades de % de carbono. Puesto que la corriente es, en efecto el reactivo, no es necesaria la calibración del aparato para la medición de las muestras.

II.2.4 Contenido de metales en suelo y sedimento

Las muestras de sedimento fueron tratadas en el IIO de la UABC donde primeramente fueron liofilizadas y trituradas en un mortero de ágata, depositados en recipientes de plástico etiquetados y se pesaron en una balanza (Sartorius TE 1245). Aproximadamente 0.5 g, se pasaron en vasos de precipitado de 30 ml, digiriéndose con 20 ml de ácido clorhídrico (HCl) al 5%, se taparon con vidrio de reloj, los cuales se agitaron durante un periodo de 3 hr cada 15 min, dejándose reposar durante 24 hr. Se transfirieron en tubos de centrifuga de 30 ml recuperando el residual del vaso con agua desionizada, se colocaron en una centrifuga (Allegra X-22, marca Beckman Coulter) a 8,500 revoluciones durante 20 min, (la técnica es a 10,000 revoluciones pero la máxima que alcanza la centrifuga es de 8,500), se pasaron las muestras a matraces Erlenmeyer de 50 mL evitando resuspender el sedimento, aforándose con agua desionizada, se traspasaron a botellas de 30 mL para su lectura en ICP-AES (Espectrofotometro de Plasma Inductivamente Acoplado) de sus siglas en inglés, Espectrómetro de Emisión Atómica Acoplado a un Plasma Inducido (Fig. 10) utilizando estándares certificados de cada uno de los elementos analizados.



Figura 10. ICP-AES Liberty 110

Se determinaron las concentraciones de elementos mayores de las muestras Calcio (Ca), Potasio (K) y Magnesio (Mg), así como los elementos menores Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Níquel (Ni), Estroncio (Sr), Vanadio (V) y Zinc (Zn,) mediante espectrometría de emisión atómica acoplado por plasma inducido, con ayuda del equipo del CICESE, ICP-AES Liberty 110.

II.2.4.1 Calibración y preparación de soluciones estándar

La calibración del ICP-AES se llevó a cabo mediante estándares de laboratorio preparados con reactivos marca Fisher, con las concentraciones del elemento de interés siendo de $\sim 1000 \text{ ppm} \pm 3 \%$.

El resultado de la calibración no es aceptable si está por debajo de 0.99 de la correlación entre tres estándares de calibración. Como control de calidad instrumental, por cada diez muestras se analizó un estándar, rechazando todo análisis que presentó una desviación estándar mayor al 10%. Se prepararon 10 muestras con agua corriente analizando los cationes ya mencionados, se determinó la desviación estándar multiplicada por dos. Para el límite de detección analítica, se utilizó el límite de detección entre dos como control de

calidad de las muestras analizadas (Tabla IV). La preparación de soluciones estándar varía dependiendo del catión a analizar.

Tabla IV. Límite de detección calculado con agua corriente por el ICP-AES. Donde N.M son valores no medidos.

Elementos	Trazas								Mayores			
	Ba	Cd	Co	Cu	Ni	Sr	V	Zn	Ca	Fe	K	Mg
STDEV*2/2	0.001	0.006	0.005	0.031	0.050	0.002	0.001	0.013	N.M	0.015	N.M	0.375

II.2.4.2 Calibración del ICP-AES

Para la realización de la calibración del ICP-AES se realizaron diluciones de los estándares (Tabla V) para después realizar las lecturas de las muestras de suelo, sedimento y agua, de los tres estándares calculados se tomó el que mostro mejor correlación, los cuales fueron utilizados para el cálculo de la concentración del metal en las muestras.

Tabla V. Calibración del ICP-AES. Los valores que se encuentran en negritas son utilizados para el cálculo de la concentración del metal, de las muestras en las cuencas de St. John.

Estándares para suelo y sedimento												
Elementos trazas								Elementos mayores				
Ba	Cd	Co	Cu	Ni	Sr	V	Zn	Ca	Fe	K	Mg	
3	3	3	3	3	3	3	3	100	100	50	20	
2	2	2	2	2	2	2	2	50	50	25	10	
1	1	1	1	1	1	1	1	25	25	10	5	
Estándares para agua												
Elementos trazas								Elementos mayores				
Ba	Cd	Co	Cu	Ni	Sr	V	Zn	Ca	Fe	K	Mg	
3	3	3	5	5	5	3	5	15	5	50	15	
2	2	2	2.5	2.5	2.5	2	2.5	10	2.5	25	10	
1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	10	5	

II.2.5 Análisis químico del agua

II.2.5.1 Filtrado y acidificación

Es necesario filtrar las muestras, ya que el agua puede contener sólidos no disueltos e impurezas, donde estas impurezas que pueden bloquear las líneas de conducción del equipo además, puede inducir errores en la lectura de las concentraciones, ya que el ICP-AES estas impurezas interfieren pueden mostrar una mayor o menor longitud de onda emitida, mostrando una concentración de los elementos calculados erróneo.

Los pasos a seguir para el filtrado y acidificación de las muestras fueron:

Para el análisis de concentración de metales disueltos, las muestras se vierten en embudos con papel filtro de 0.45 μ m marca Whatman se vierte la muestra y con ayuda de una bomba de vacío se filtra la muestra. El agua ya filtrada se vierte en botellas de 50 ml, se le agrega 1mL de ácido nítrico (HNO_3), se etiquetan para el análisis posterior de cationes. En el análisis de metales totales las muestras no se filtran y, se le agrega 1 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4).

II.2.5.2 Elementos analizados

El análisis de las muestras de agua para la cuantificación de cationes se realiza utilizando la técnica de ICP-AES. En el ICP-AES los iones generados emiten luz a la longitud de onda característica de cada uno de los elementos presentes en la muestra, la cual es transmitida a través del sistema óptico al detector, donde la imagen captura se convierte a señales de intensidad para cada elemento y consecuentemente a sus concentraciones en la muestra. Se trata de una técnica adecuada para concentraciones mayoritarias (%) o partes por millón (ppm). Los parámetros utilizados para determinar la calidad de suelo, sedimento y agua en esta investigación fue la concentración de los siguientes metales: Ba, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Ni, Sr, V y Zn.

II.2.5.3 Precisión analítica y tratamiento estadístico

Se realizaron dos replicas en muestras de suelo, sedimento y agua, las cuales se tomaron como referencia para determinar la precisión analítica, en el sedimento los elementos Ni, Cu, Cd, Co y K y, el agua Zn, Cd, Co y V tuvieron error arriba del 10% (Tabla VI y VII) por lo que estos elementos no se tomaron en cuenta en el análisis, sin embargo el V en las muestras de sedimento se encontró abajo del límite de detección. En las muestras de agua Ni y Cu presentaron ~50% abajo del límite de detección (Tabla IV). El tratamiento estadístico se realizó con el programa de computo Statistica 7, con un valor de significancia $p=0.05$.

Tabla VI. Replicas de muestras de sedimento (ppm), para la cuantificación de metales en St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A. Donde I.D. es la forma de identificación en laboratorio y, (*) son los elementos que presentaron error mayor al 10 % los cuales no se analizaron en los resultados.

Muestras		WG-L2-6		Mediana	Desviación Estándar	% Error
I.D		6	6R			
Traza (ppm)	Ba	24.6	27.82	26.2	2.26	8.61
	Cd*	0.21	0.44	0.33	0.16	49.7
	Co*	4.46	2.91	3.7	1.1	29.7
	Cu*	14.9	5.93	10.4	6.36	61
	Sr	22.5	27	24.8	3.21	13
	Ni*	16.1	0.99	8.55	10.7	125
	V	<0.001	<0.001	----	----	----
	Zn	15.9	15	15.5	0.59	3.8
Mayores (ppm)	Ca	0.971	0.841	0.906	0.092	10.2
	Fe	0.34	0.352	0.346	0.008	2.42
	K*	0.653	0.688	0.671	0.025	3.69
	Mg	0.275	0.302	0.289	0.019	6.64
Muestras		WG-CB-38		Mediana	Desviación Estándar	% Error
I.D		21	21R			
Traza (ppm)	Ba	65.1	69.3	67.2	2.96	4.4
	Cd*	0.47	0.9	0.69	0.3	43.8
	Co*	4.4	3.62	4.01	0.552	13.8
	Cu*	34.3	38.3	36.3	2.81	7.73
	Sr	22.9	23.9	23.4	0.71	3.03
	Ni*	0.08	9.46	4.77	6.64	139
	V	<0.001	<0.001	----	----	----
	Zn	45.1	45.7	45.4	0.44	0.97
Mayores (ppm)	Ca	1.28	1.25	1.26	0.02	1.57
	Fe	0.366	0.394	0.38	0.02	5.21
	K*	0.712	0.078	0.395	0.448	113
	Mg	0.275	0.305	0.29	0.021	7.15

Tabla VII. Replicas de muestras de agua, para la cuantificación de metales disueltos (ppm) en St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A. Donde I.D. es la forma de identificación en laboratorio y, (*) son los elementos que presentaron error mayor al 10 % los cuales no se analizaron en los resultados.

Muestras		SW-L2-25		Mediana	Desviación Estándar	% Error
I.D		17	18			
Traza (ppm)	Ba	0.014	0.014	0.014	0.0004	2.81
	Cd*	0.001	0.003	0.002	0.002	101
	Co*	0.005	0.005	0.005	0	4.44
	Cu	0.031	0.031	0.031	0	0
	Sr	0.071	0.071	0.071	0.0003	0.397
	Ni	0.026	0.029	0.027	0.002	8.97
	V	0.024	0.037	0.03	0.009	28.79
	Zn*	0.005	0.004	0.004	0.001	21.49
	Mayores (ppm)	Ca	7.95	8.05	8	0.073
Fe		0.1	0.081	0.091	0.013	14.4
K		6.59	5.67	6.13	0.651	10.62
Mg		9.8	9.77	9.78	0.016	0.159
Muestras		WW-L2-28		Mediana	Desviación Estándar	% Error
I.D		21	22			
Traza (ppm)	Ba	0.023	0.023	0.023	0.001	2.27
	Cd*	0.007	0.009	0.008	0.002	21
	Co*	0.014	0.021	0.017	0.005	28.5
	Cu	0.52	0.393	0.457	0.09	19.7
	Sr	1.7	1.75	1.72	0.035	2.05
	Ni	0.142	0.133	0.137	0.006	4.69
	V	0.178	0.179	0.178	0.001	0.436
	Zn*	0.01	0.004	0.007	0.004	57.8
	Mayores (ppm)	Ca	127	130	128	1.84
Fe		0.052	0.046	0.049	0.004	7.84
K		236	236	236	0.42	0.18
Mg		161	165	163	2.9	1.78

Capítulo III

Resultados

III.1 Análisis sedimentológico

De la toma de sedimento, el 61% de las partículas encontradas son > 1 mm y, el 39 % son < 1 mm (Tabla XIV Apéndice A).

Como ya se menciona anteriormente se analizaron 36 muestras de diferentes cuencas, de las cuales 20 fueron de suelo (Fig. 3) y, 16 de arroyos (Fig. 4) (Fotografías 6) , en las muestras de suelo y arroyos no se observo diferencia alguna en su análisis, por lo que se agruparon con el fin de determinar sus parámetros texturales (Figs. 11, 12, 13, 13, 14, 15 y 16).

De forma general, el sedimento en las cuencas está compuesto por arenas seguido por limos y en menor proporción se encuentran las arcillas; en las cuencas se tiene un tamaño de grano, donde en Great Lameshur Bay, Little Lameshur Bay y la zona de Manglar se encontraron aproximadamente 75% de arenas, 24% de limos y 1% de arcillas, y Coral Bay con 66% de arenas, 33% de limos y 1% de arcillas (Fig. 11, Tabla XVI Apéndice A).

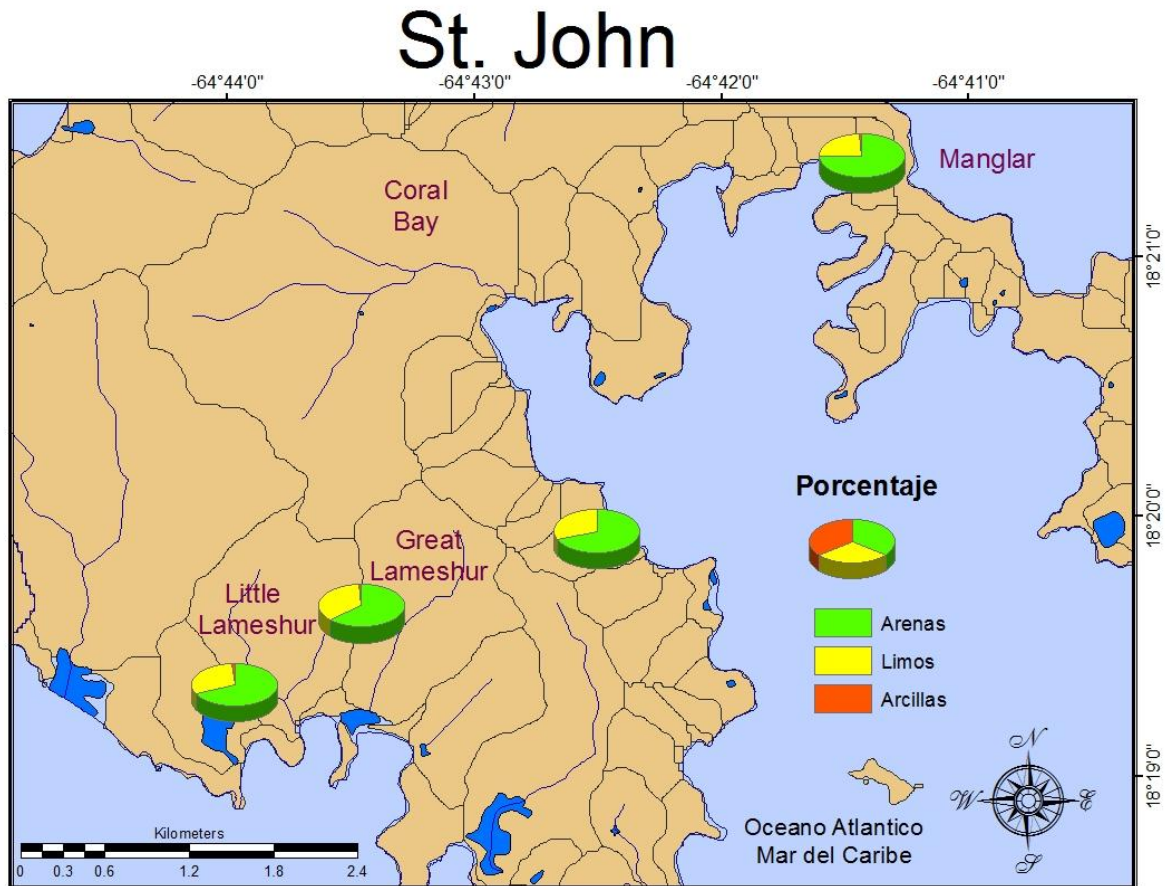


Figura 11. Contenido porcentual del sedimento de las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.

III.1.1 Media (Tamaño de grano medio)

Los valores de tamaño de grano promedio (Media Mz), significativos para el análisis de transporte. Origen y tipo de sedimento (Wentworth, 1922), los sedimentos de St. John van de 0.5 a 0.0156 mm, que corresponden a sedimentos entre arenas medias y limos de tamaño medio, siendo el tamaño más representativo en la mayoría de las muestras la arena muy fina y en menor proporción arena gruesa (Fig. 12, Tabla XVII Apéndice A).

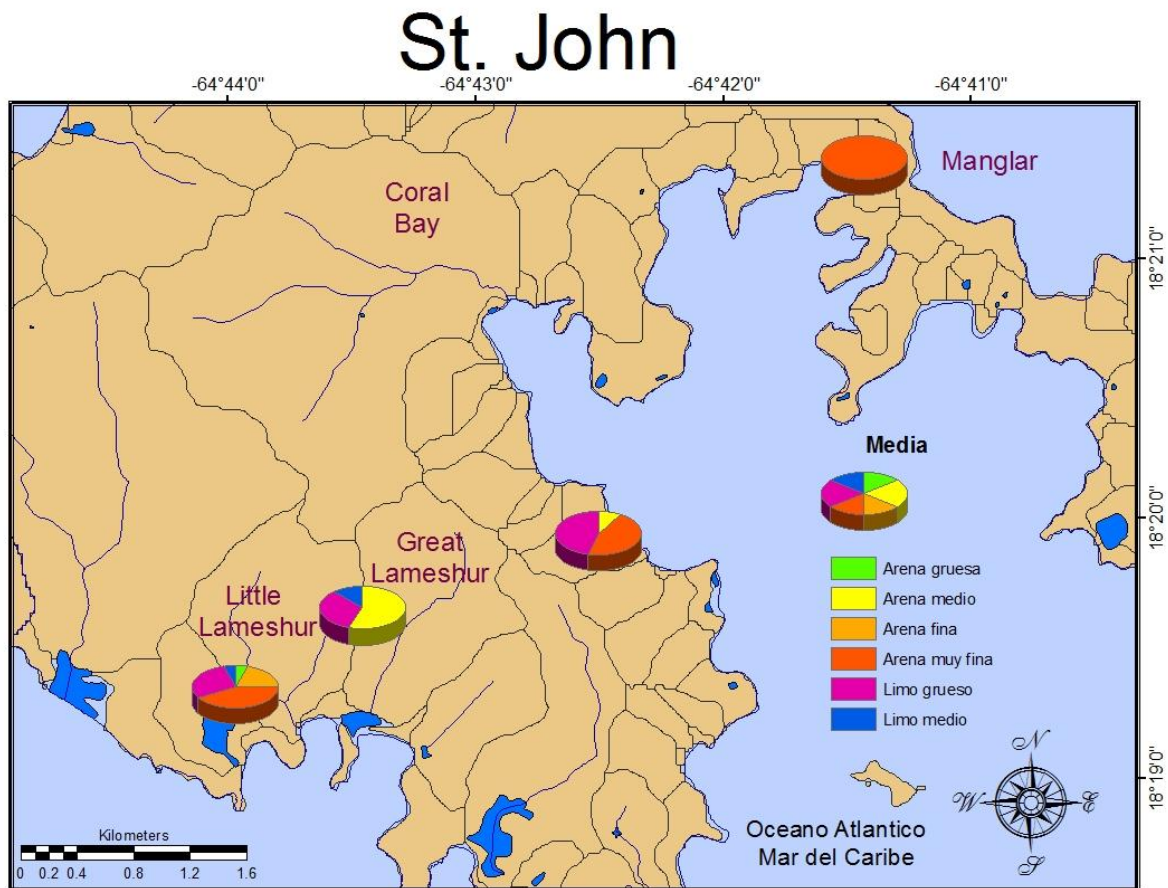


Figura 12. Contenido de tamaño de grano promedio (Media Mz), (Wentworth, 1922), calculado por el Sys Gran 3.0 de las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.

III.1.2 Desviación Estándar (Selección)

Los valores de grado de selección (Std), descritos por (Folk & Ward, 1957), nos indican que las muestras se encuentran entre 0.9 y 2.8 ϕ , y se clasifican como moderadamente seleccionadas y muy pobremente seleccionadas, por lo que se puede decir que el sedimento proviene de varias fuentes, lo cual tiene una relación directa con el tipo de transporte y ambiente de depósito de los mismos. Los grados de selección más bajos, es decir, las mejores selecciones presentes, se encuentran en la zona de manglar que contiene sedimento fino (Fig. 13).

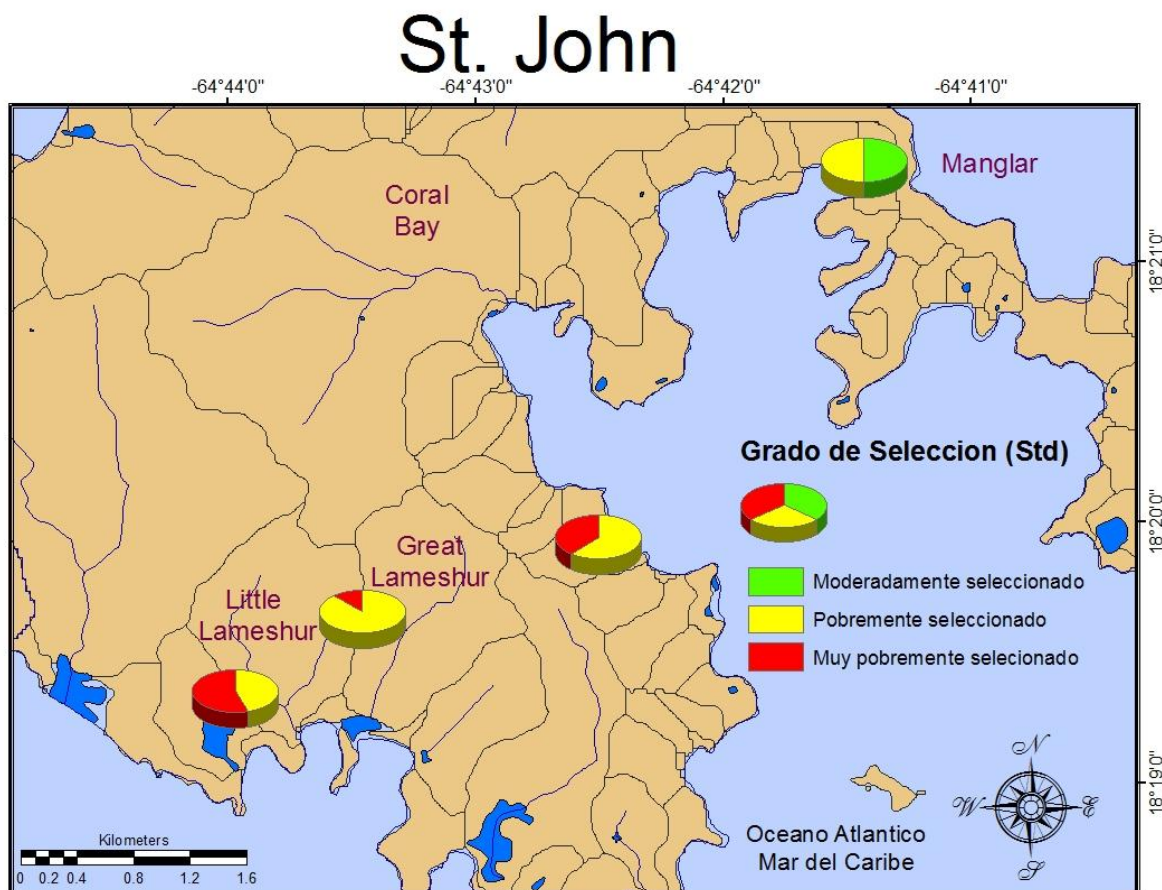


Figura 13. Grado de selección (Std), (Folk & Ward, 1957) calculado por el Sys Gran 3.0 de las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.

El valor más común se encuentra entre 1.0 y 2.0 σ correspondiendo a pobremente seleccionado. Esta característica de sedimento pobremente seleccionado se presenta como un patrón general en todas las cuencas de St. John (Tabla XVIII Apéndice A).

III.1.3 Kurtosis (Distribución de tamaños)

Las gráficas de distribución de tamaños para las cuencas muestran que en mayor proporción se encuentran las formas platicúrticas (Folk, 1980; Friedman, 1962), por lo que el grado de selección de las cuencas es pobre, de forma general y según los valores calculados por la Kurtosis (Folk, 1980), estas son tanto mesocúrticas, platicúrticas, leptocúrticas como muy leptocúrtica (Fig. 14, Tabla XIX Apéndice A).

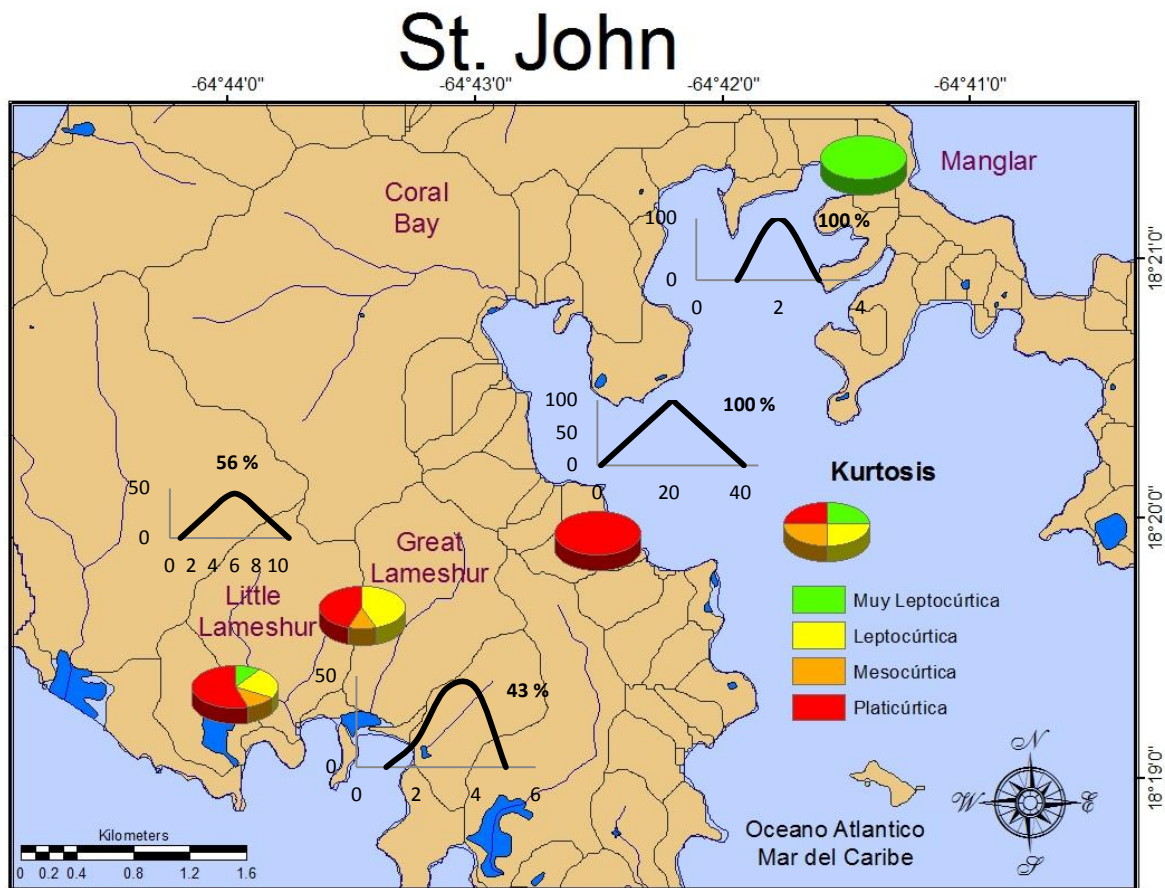


Figura 14. Valores del Kurtosis (kg), (Folk, 1980; Friedman, 1962), la cual es una medida de cuan picuda es una curva de distribución y mide la concentración de la muestra alrededor del valor central, este es calculado por el Sys Gran 3.0 en las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.

III.1.4 Asimetría (Positiva y negativa)

De acuerdo a los datos obtenidos por el SysGran 3.0 el rango de asimetría en St. John va de -0.00079 a 1.14, correspondiente cada uno de estos a muy negativamente asimétricos y muy positivamente asimétrico. Los valores de asimetría negativa se presentan cuando existe un exceso de sedimentos gruesos los cuales hacen que la curva se aleje de la normal, y los valores de asimetría positiva se originan cuando existe un exceso de sedimento fino. La mayoría de muestras de suelo (19) presentaron asimetría positiva solamente una muestra presento asimetría muy negativa y las muestras de arroyos presentaron asimetría positiva en

6 muestras y 6 de negativa así como 3 muestras de aproximadamente simétricas localizadas en Little Lameshur Bay (Fig. 15)

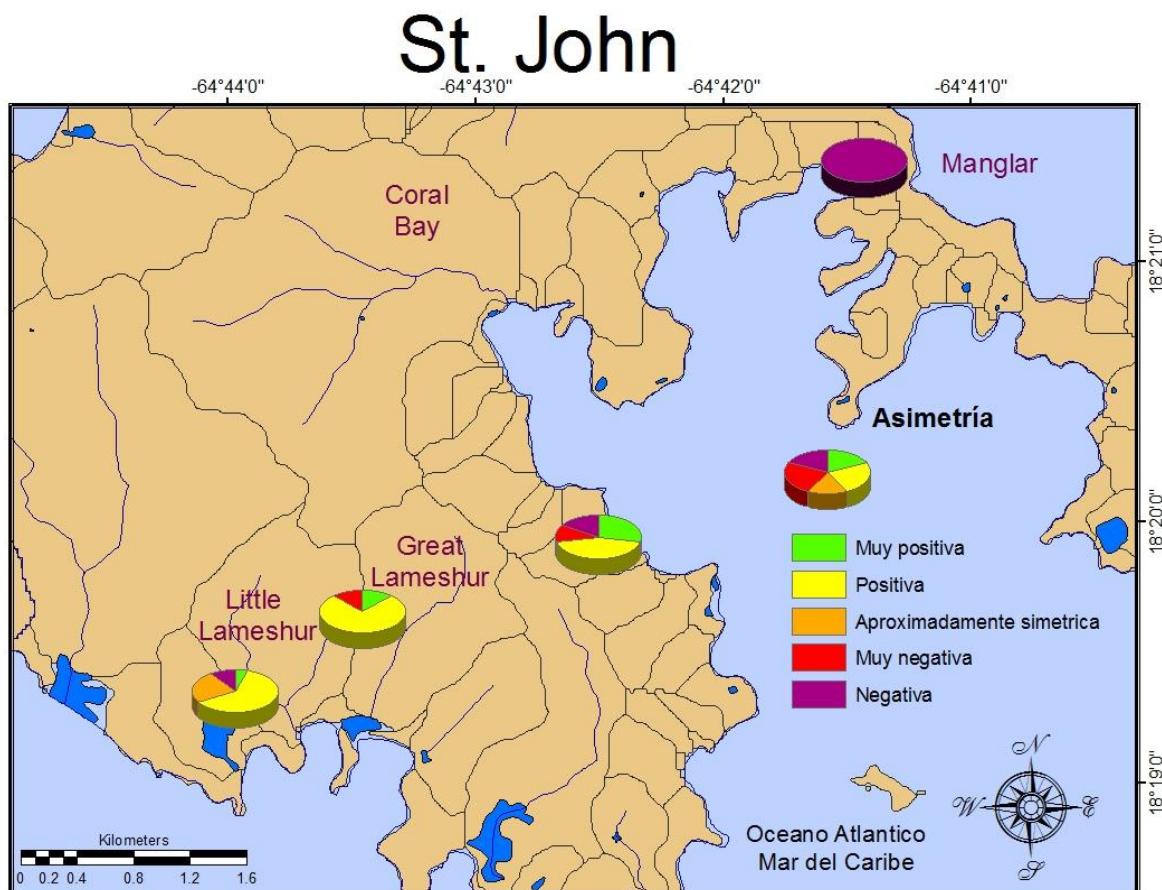


Figura 15. Grafico de valores de asimetría (S_k), calculado por el Sys Gran 3.0 de las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.

III.1.5 Clasificación

La clasificación litológica descriptiva del sedimento se realizó mediante el uso de diagramas triangulares (Shepard, 1954) con las principales clases litológicas de sedimentos clásticos: arena, limo y arcilla. Esta clasificación es únicamente para tamaños y es independiente de la génesis (origen) del sedimento.

Las 36 muestras analizadas para el estudio textural se agruparon dentro de la clasificación de tamaño arena hasta limo arenosos; ninguna de las muestras tiene como componente

principal partículas de tamaño limo y arcilla; las muestras de grano más fino se consideran como lodos, que es una mezcla de limo arcilla y arena (Fig. 16).

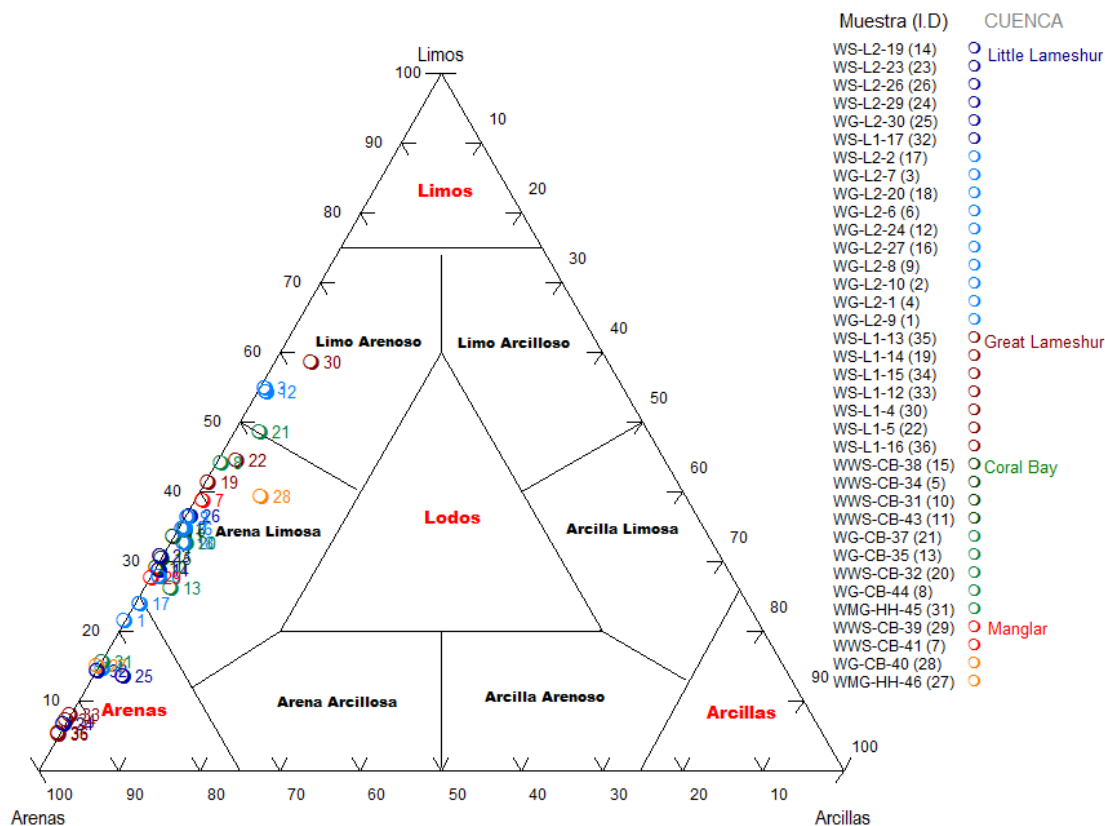


Figura 16. Diagrama de composición textural para los sedimentos St. John. De las 36 muestras analizadas ninguna tiene como composición principal partículas tamaño limo y arcilla. Este diagrama es de composición textural y es independiente del origen. Modificado de (Shepard, 1954).

III.2 Componentes Orgánicos

III.2.1 Carbono total (C_T), orgánico ($C_{Org.}$) e inorgánico ($C_{Inorg.}$)

Carbono Total (C_T)

La concentración de carbono total, para las cuencas variaron en un intervalo de 0.20-30.3%, se encontró que las muestras de suelo de la cuenca de Great Lameshur presentaron las mayores concentraciones así como la mayor desviación estándar, seguida por suelo de Little Lameshur y, los valores más bajos encontrados fueron en los arroyos de Coral Bay.

Estadísticamente las cuencas presentan diferencias significativas en el carbono total. (Fig. 17, Tabla XX Apéndice B).

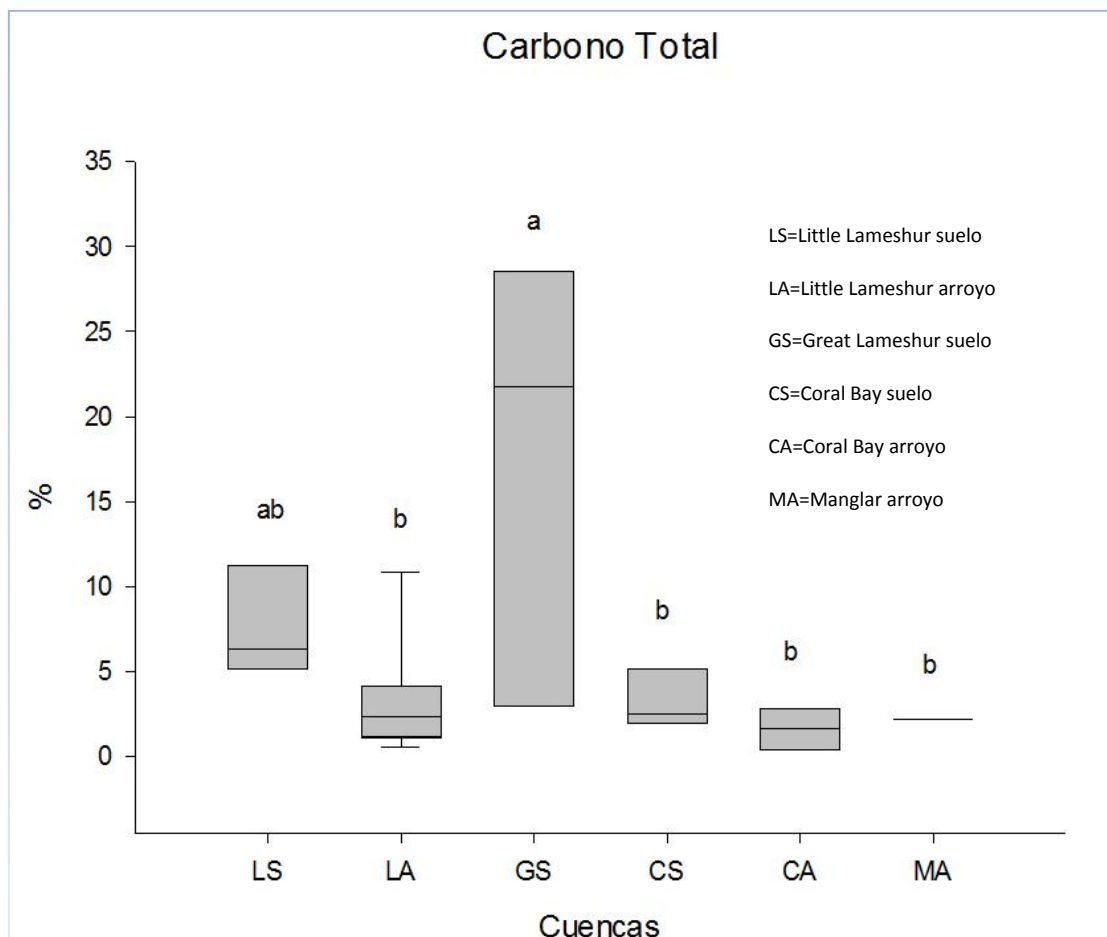


Figura 17. Concentración (%) de carbono total respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).

Carbono Orgánico (C_{Org})

Los valores encontrados de carbono orgánico en las cuencas son de 0.11-26.8%, Great Lameshur presentó los valores más altos así como la mayor desviación estándar, seguido por las muestras de suelo de Little Lameshur y, los valores con menor concentración son referidas a Coral Bay. Estadísticamente las cuencas son significativamente diferentes en la concentración de carbono orgánico (Fig. 18, Tabla XX Apéndice B).

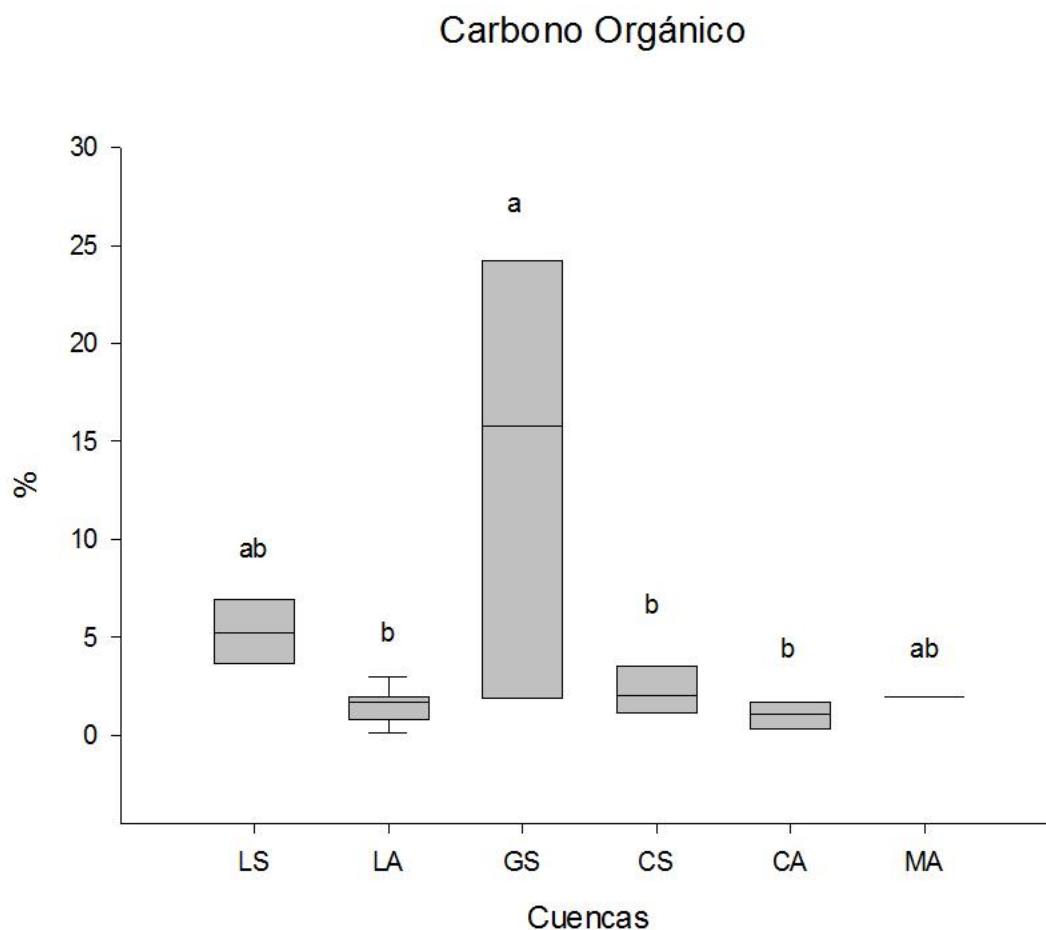


Figura 18. Concentración (%) de carbono orgánico respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).

Carbono Inorgánico ($C_{Inorg.}$)

Las concentraciones en porcentaje encontradas de carbono inorgánico en las cuencas van de 0.02-8.48%, Great Lameshur presentó los valores más altos así como la mayor desviación estándar, seguido por las muestras de suelo de Little Lameshur y, la zona de Manglar presenta los menores concentraciones. Estadísticamente las cuencas son significativamente diferentes a la concentración de carbono orgánico (Fig. 19, Tabla XX Apéndice B).

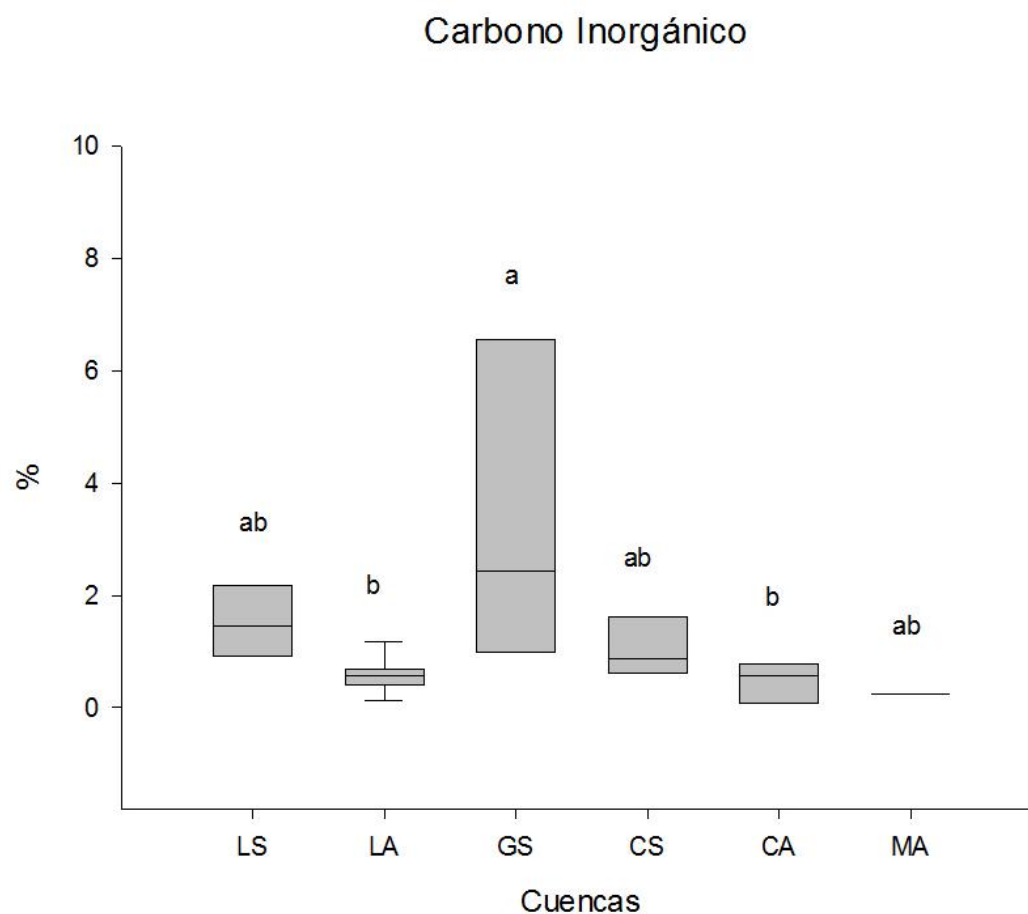


Figura 19. Concentración (%) de carbono inorgánico respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).

III.3 Contenido de elementos traza y mayores en suelo y sedimento

En el presente trabajo se reporta la concentración de los siguientes elementos traza Sr, Ba, Zn y V; y mayores Fe, Mg y Ca en la fracción soluble en HCl 5% (potencialmente lábil o biodisponible) (Tabla XXI Apéndice C). Aquellos elementos que no cumplen con una precisión analítica $< 10\%$ no fueron considerados (Tabla VI).

III.3.1 Concentración de elementos traça

Estroncio (Sr)

La concentración (ppm) de Sr calculada en las muestras de suelo y sedimento de arroyos en las diferentes cuencas fue de 8.99-3200 ppm, donde Little Lameshur Bay tiene mayor concentración de este elemento. En los análisis de las muestras de la cuenca Little Lameshur Bay presentaron la mayor concentración, siendo de 3200 ppm en la costa y disminuyendo hacía el borde de la montaña hasta 28.7 ppm. Sin embargo, en Great Lameshur Bay se encontró que los valores de las concentraciones a lo largo de la toma de las muestras son similares: en las subcuencas de Lameshur Bay las muestras 24, 25 y 1 son las que presentaron las mayores concentraciones de este elemento, estas muestras son las más cercanas a la costa (Tabla XXI Apéndice C). En Coral Bay y la zona de Manglares mostraron concentraciones bajas 16-117 ppm y 10.9-23.3 ppm, la mediana calculada del Sr entre las cuencas fue de 40.9 (Fig. 20), (Tabla XIII). Estadísticamente no se encontró diferencia significativa entre las cuencas para el Sr, la cuenca de Little Lameshur Bay presenta mayor desviación estándar ya que existen tres muestras con concentraciones de hasta dos órdenes de magnitud mayor a las demás muestras en esta cuenca (Fig. 21).

St. John

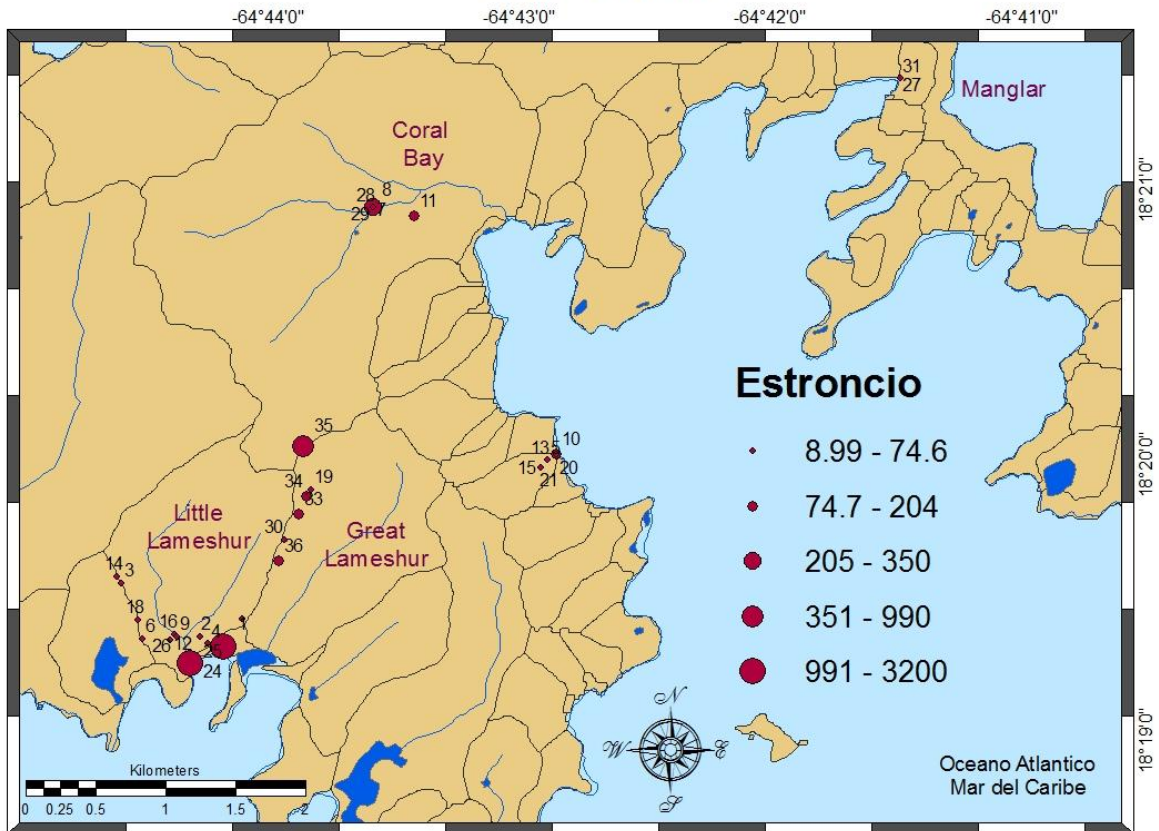


Figura 20. Valores de concentración (ppm) de Sr de las muestras de suelo y arroyos; en las cuencas de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

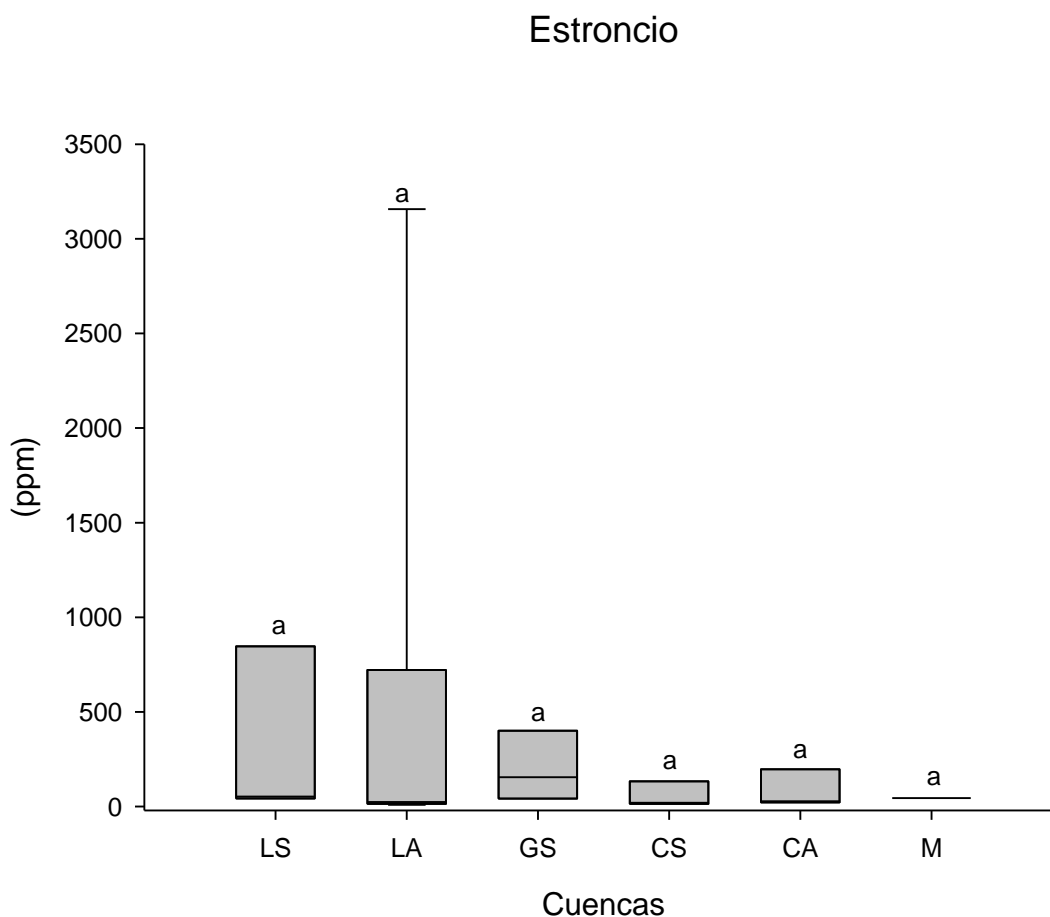


Figura 21. Concentración (ppm) de Sr respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).

Bario (Ba)

Las concentraciones (ppm) de Ba encontrados son mayores a lo largo de la cuenca de Great Lameshur Bay donde la concentración es de 41.5-339 ppm. En Coral Bay los valores son de 31.9-130 ppm, la subcuenca de Little Lameshur Bay presentó los valores mas bajos 9.15-53.7 ppm. Sin embargo las muestras con mayor concentración fueron 33, 36, 11, 35 y 34 localizadas en la subcuenca de Great Lameshur Bay (Fig. 22), (Tabla XXI Apéndice C), la mediana encontrada de las muestras de las cuencas en este elemento fue de 35.7 (Tabla VIII). Estadísticamente las cuencas fueron significativamente diferentes (Fig. 23).

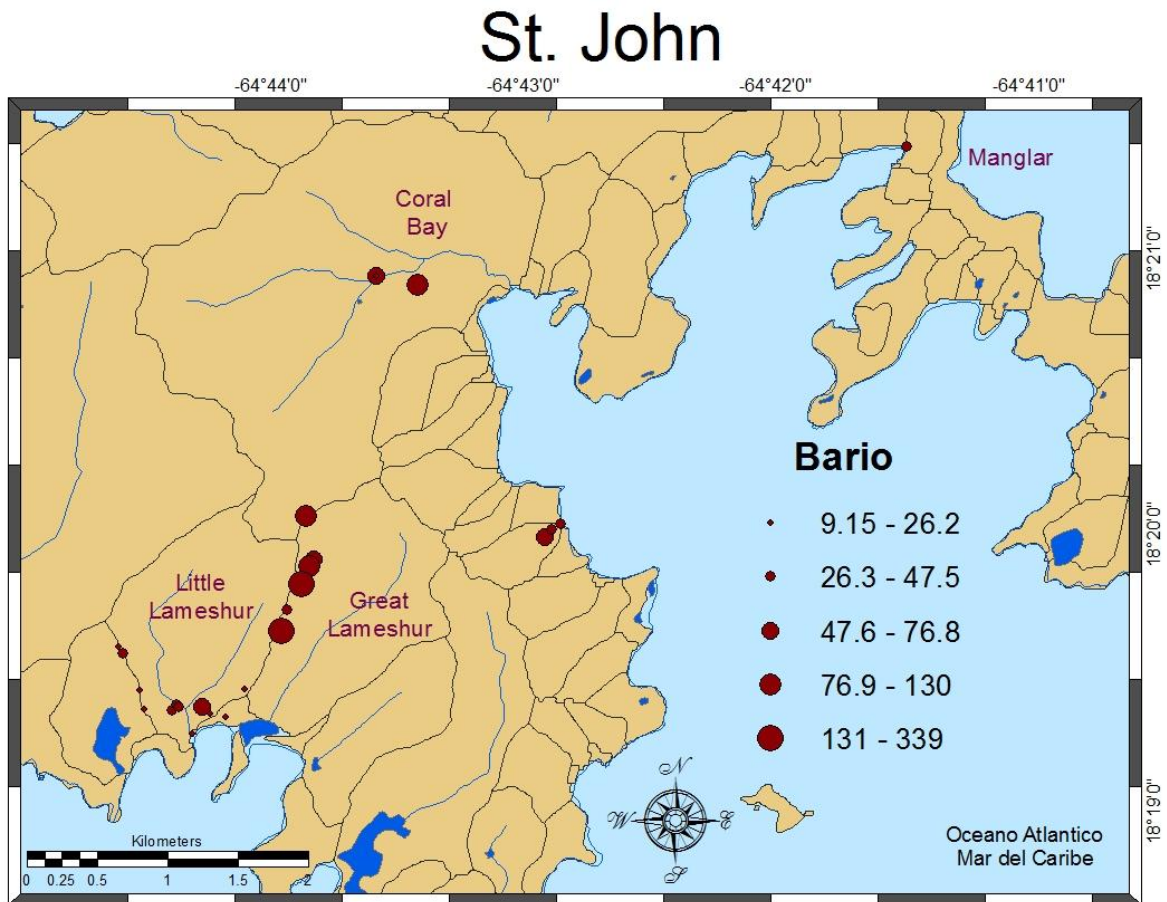


Figura 22. Valores de concentración (ppm) de Ba en las muestras de suelo y arroyo; de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

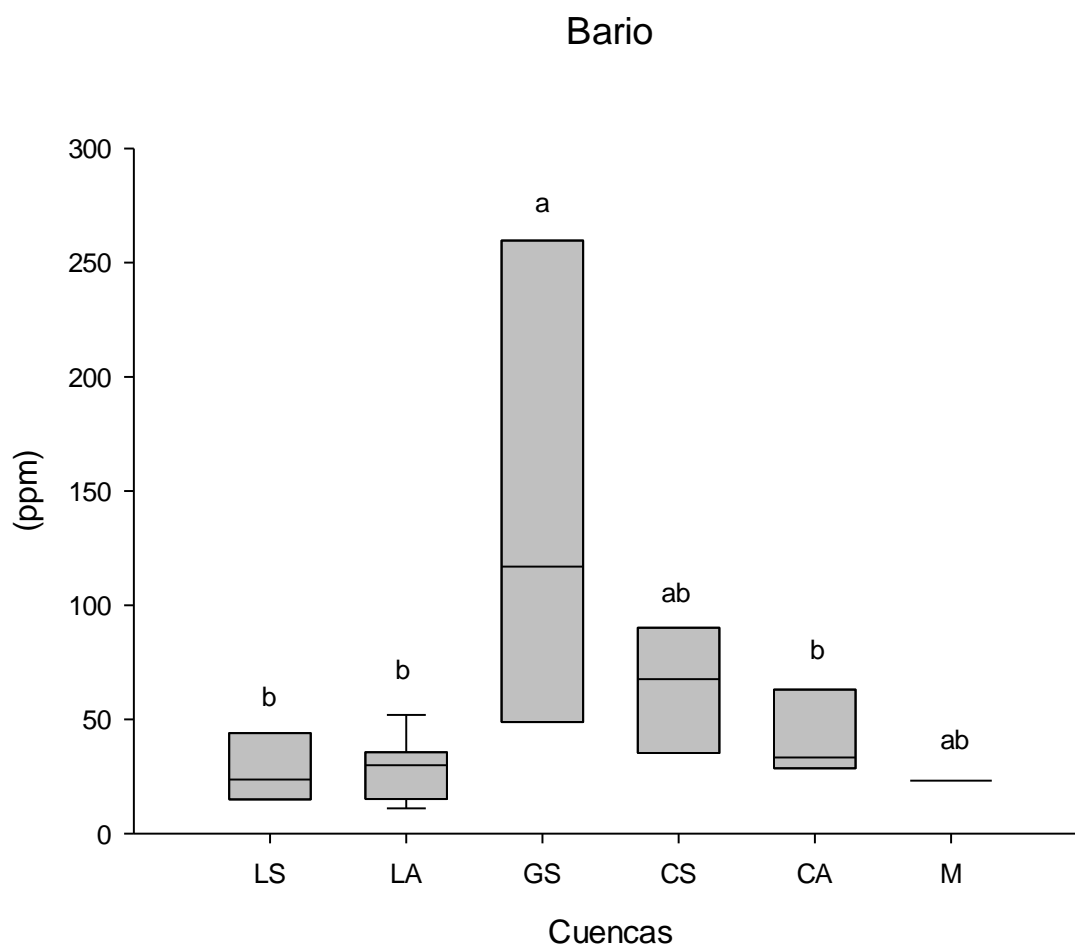


Figura 23. Concentración (ppm) de Ba respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).

Zinc (Zn)

En el Zn (ppm) la muestra que presentó menor concentración fue en Litte Lameshur Bay siendo 3.72 ppm. La mayor concentración se obtuvo en la muestra 36 de la subcuenca de Great Lameshur Bay (135 ppm). La cuenca de Coral Bay tiene concentraciones de 58.5-21.2 ppm (Fig. 24), (Tabla XXI Apéndice C), en las cuencas se obtuvo una mediana de 21.7 (Tabla VIII). Estadísticamente las cuencas no son significativamente diferentes (Fig. 25).

St. John

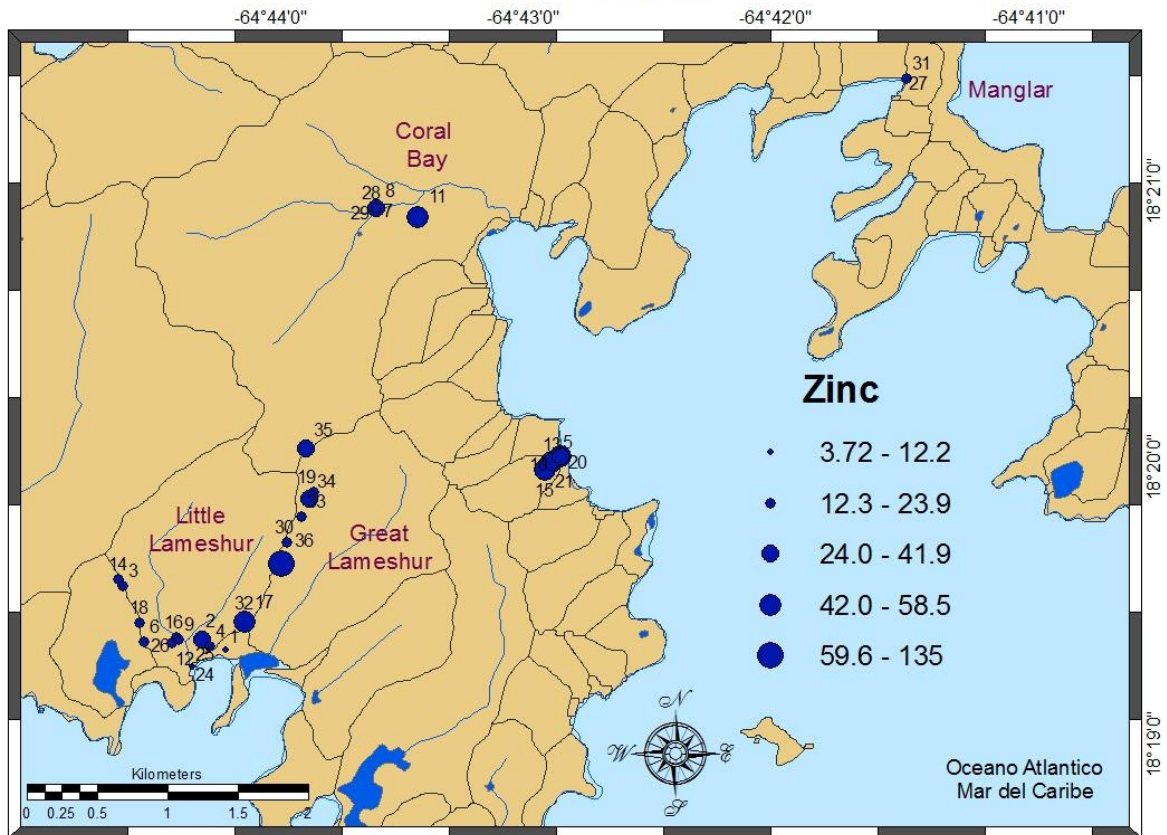


Figura 24. Valores de concentración (ppm) del Zn en las muestras de suelo y arroyo; en las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

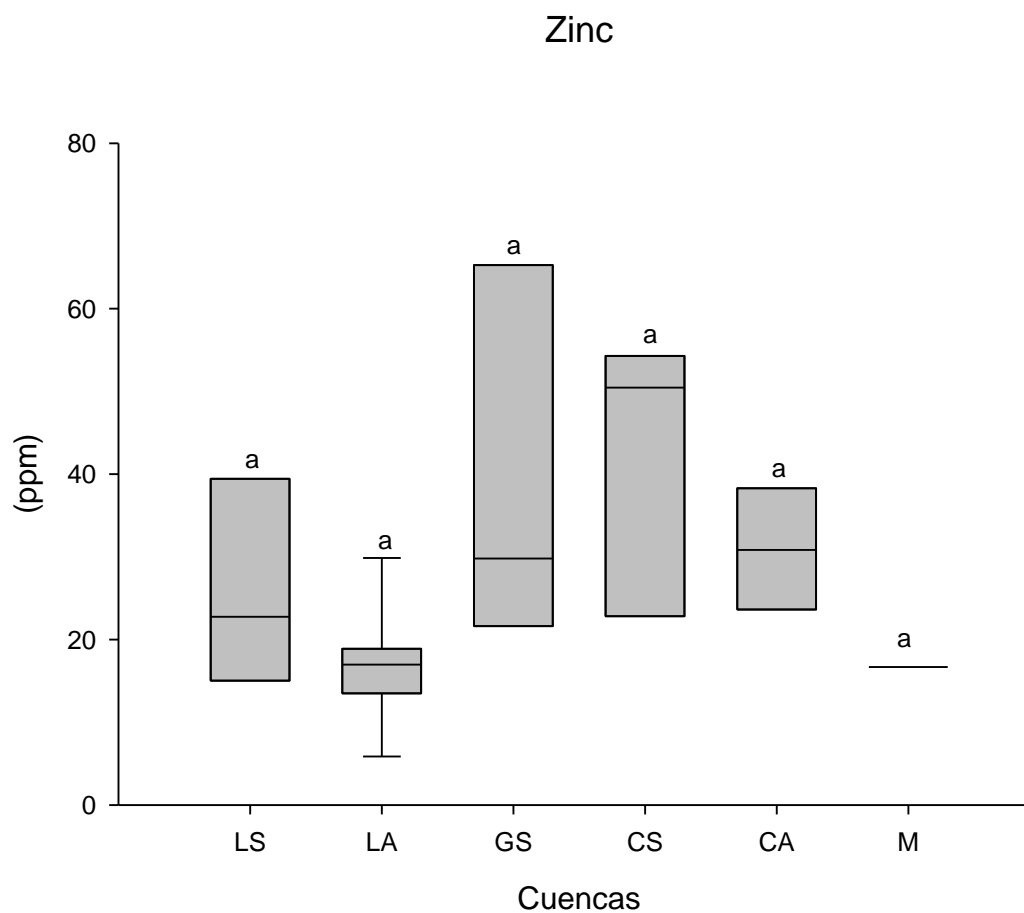


Figura 25. Concentración (ppm) de Zn respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).

III.3.2 Concentración de elementos mayores

Los elementos mayores como el Fe, Mg, K y Ca se presentan en forma de porcentaje (Tabla XXI, Apéndice C).

Hierro (Fe)

El Fe tiene de 0.08-0.67 %, este rango de valores se encontraron en la subcuenca de Little Lameshur Bay, y no presentó un patrón de distribución a lo largo de la cuenca, las muestras

2, 17, 4 y 3 contienen los mayores valores (Fig. 26), (Tabla XXI Apéndice C). La mediana calculada entre las cuencas fue 0.35 (Tabla VIII). Estadísticamente no se presenta diferencia significativa entre las cuencas (Fig. 27).

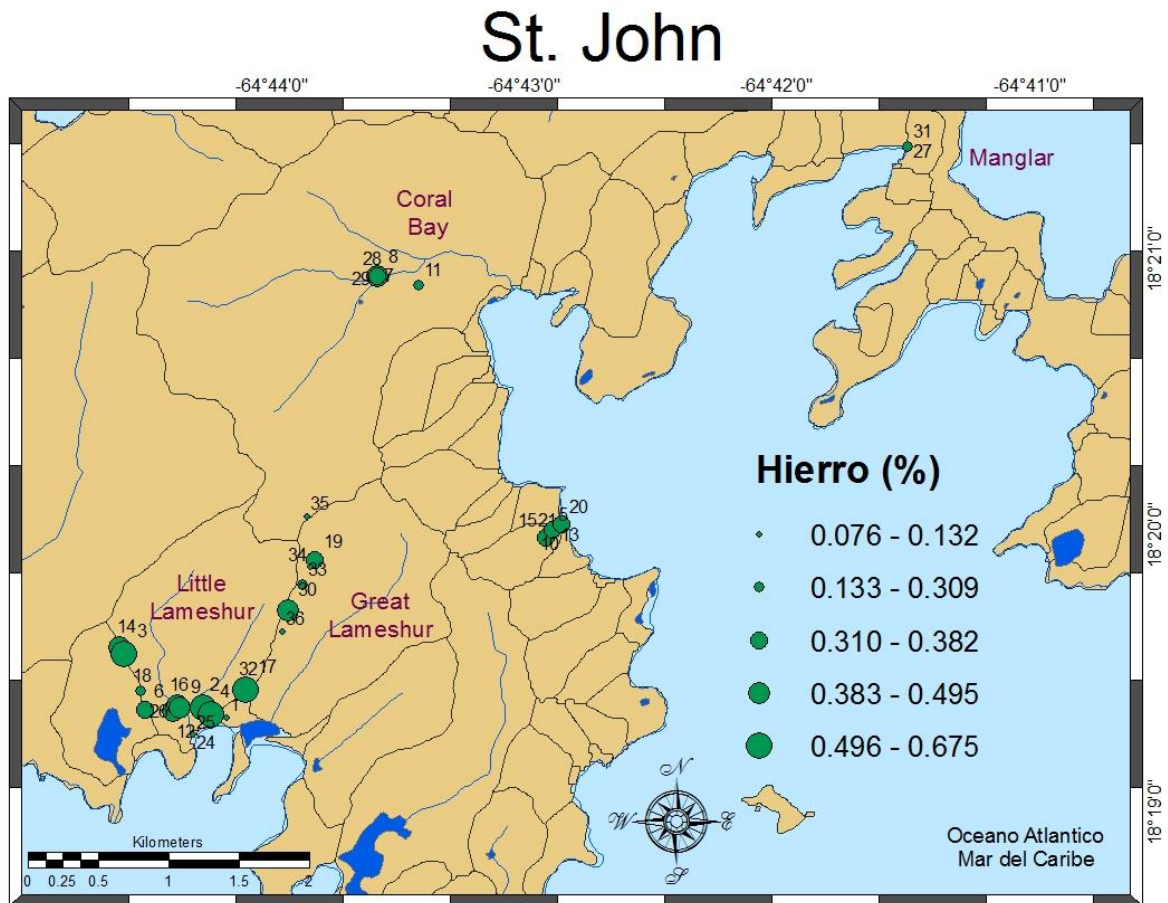


Figura 26. Valores de concentración (%) de Fe en las muestras de suelo y arroyo; de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

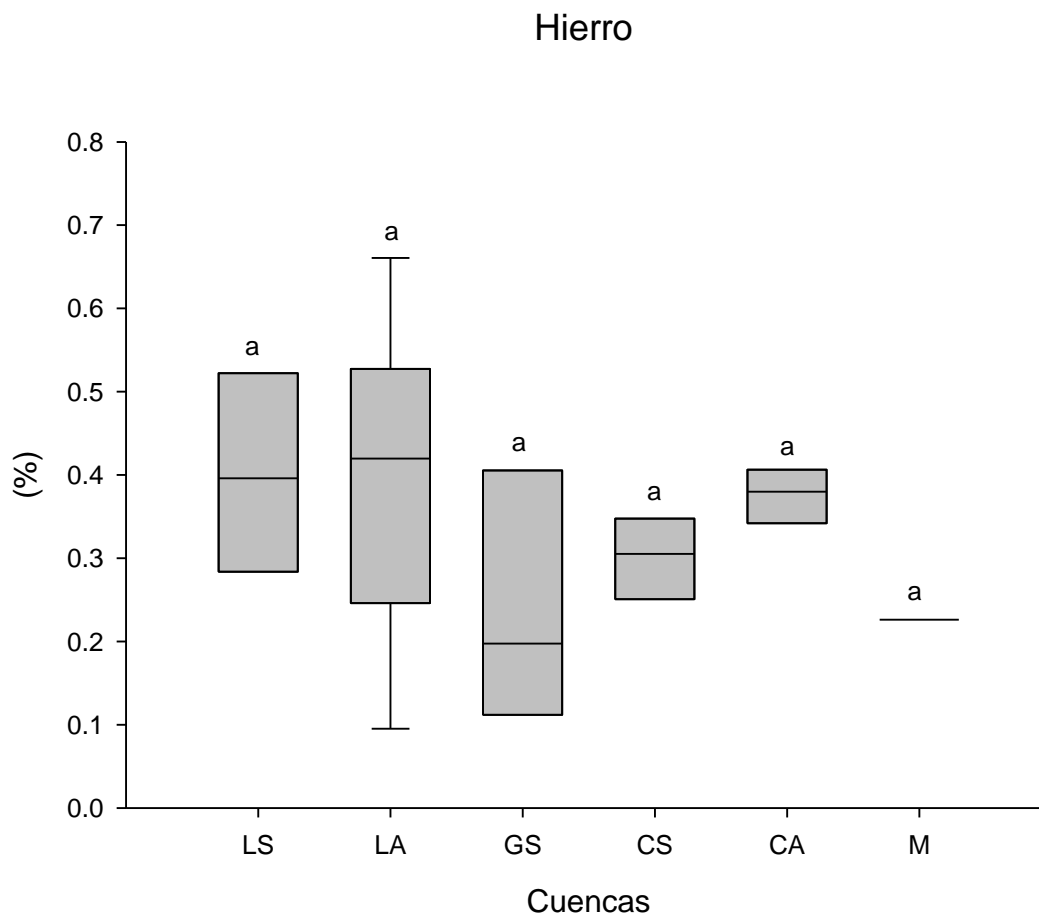


Figura 27. Concentración (%) de Fe respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).

Magnesio (Mg)

El porcentaje de Mg se encontró entre 0.10-0.54 %, donde en la subcuenca de Little Lameshur Bay, las muestras 24, 25, 17, 32 y 14 fueron las que contenían el mayor porcentaje (Fig. 28), (Tabla XXI Apéndice C). La zona de Manglar presentó la menor concentración, con un promedio ~ 0.15 % en este elemento (Tabla VIII). Estadísticamente las cuencas son significativamente diferentes (Fig. 29).

St. John

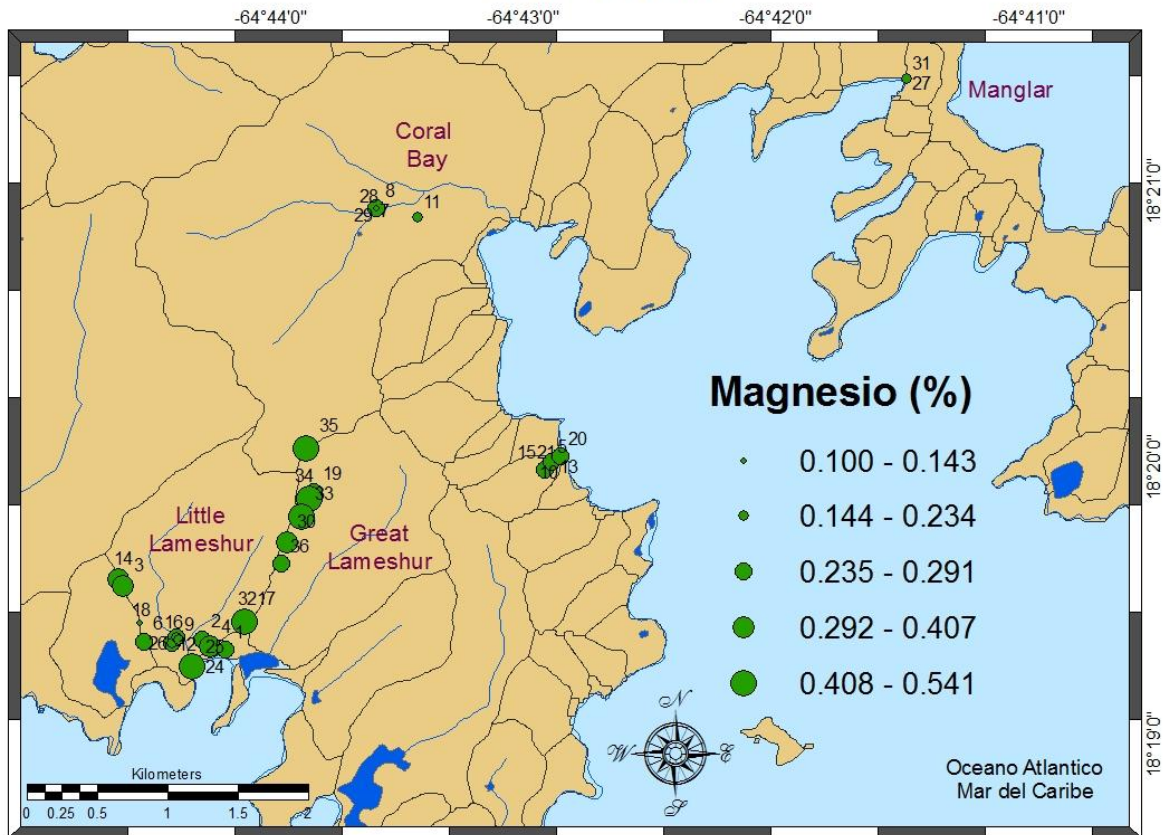


Figura 28. Valores de concentración (%) de Mg en las muestras de suelo y arroyo de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

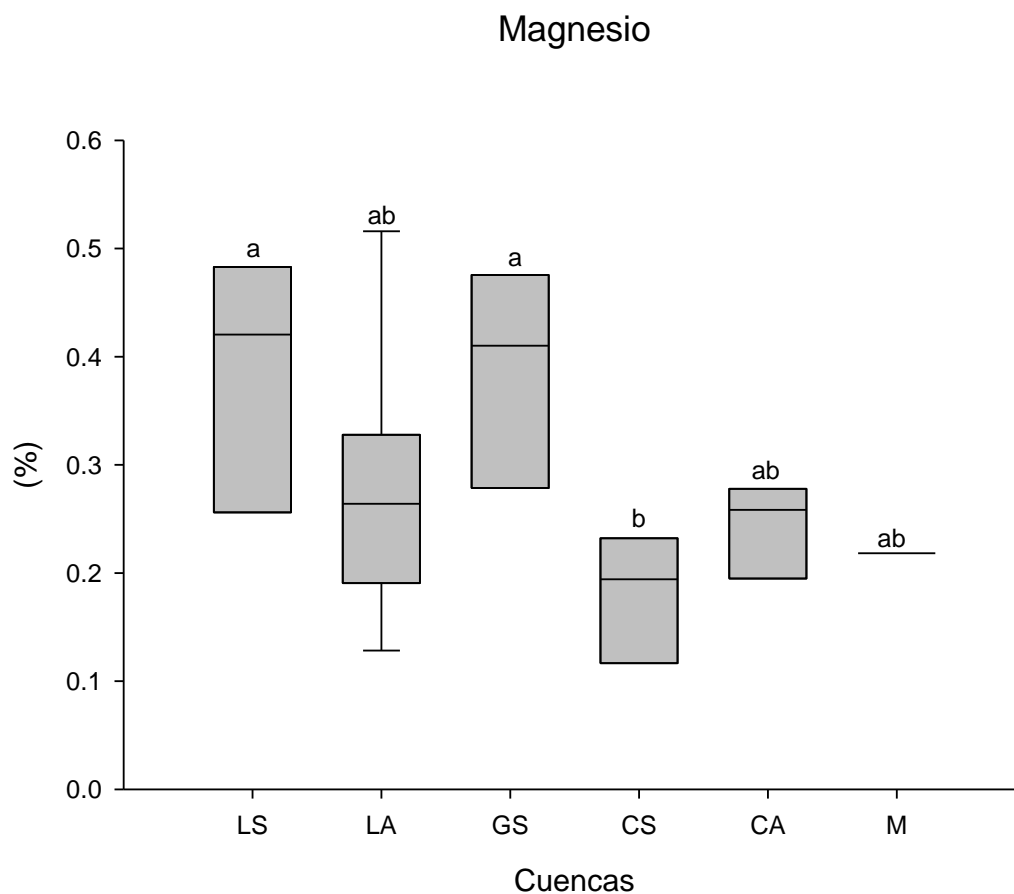


Figura 29. Concentración (%) de Mg respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).

Calcio (Ca)

El contenido porcentual del Ca fue 0.01-31.7 %, el porcentaje mayor fue localizado en la subcuenca de Little Lameshur Bay 31.7% las muestras que presentaron los mayores porcentajes fueron 24, 25 y 1 encontrándose localizadas cerca de la costa, la muestra 18 localizada en Little Lameshur Bay fue la única que estuvo abajo del límite de detección del ICP-AES. En la zona de Manglar se localizaron los porcentajes más bajos 0.12-0.38 % (Fig. 27), (Tabla XXI Apéndice C). Estadísticamente no existe diferencia significativa entre las cuencas (Figura 28).

St. John

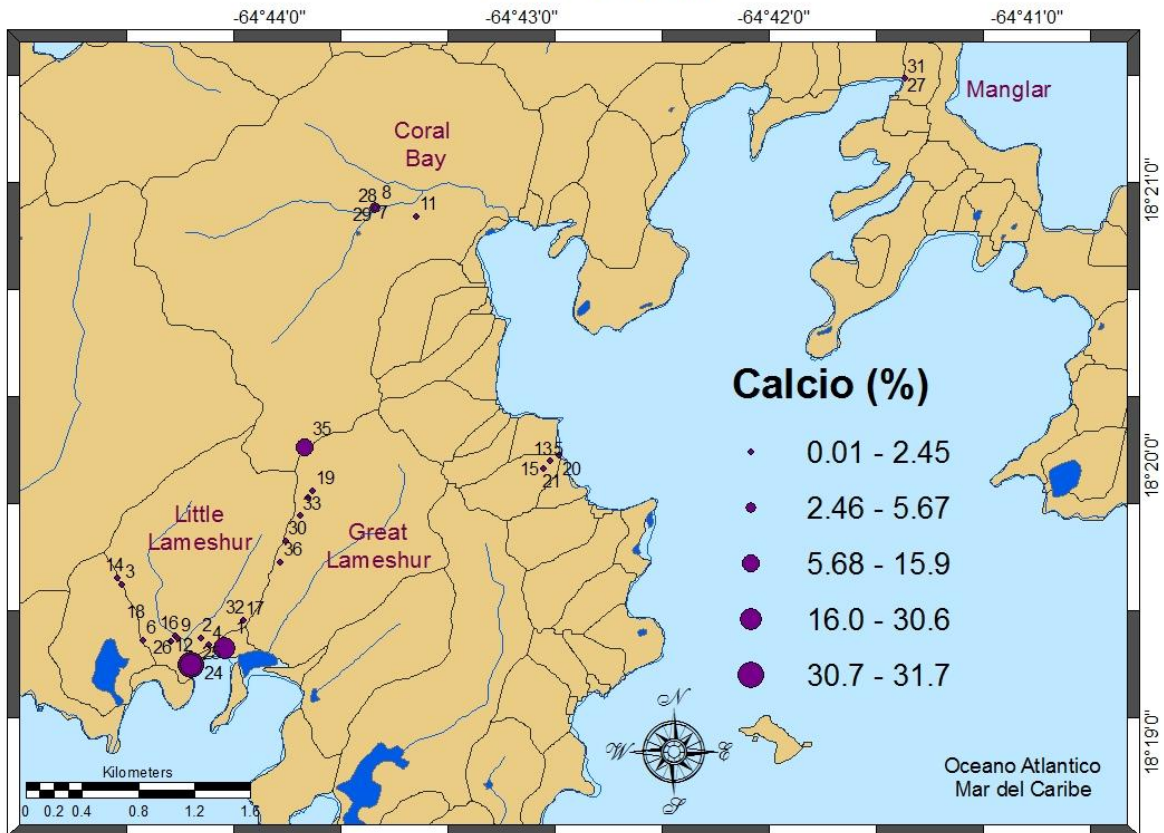


Figura 30. Valores de concentración (%) de Ca en las muestras de suelo y arroyo; de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

Calcio

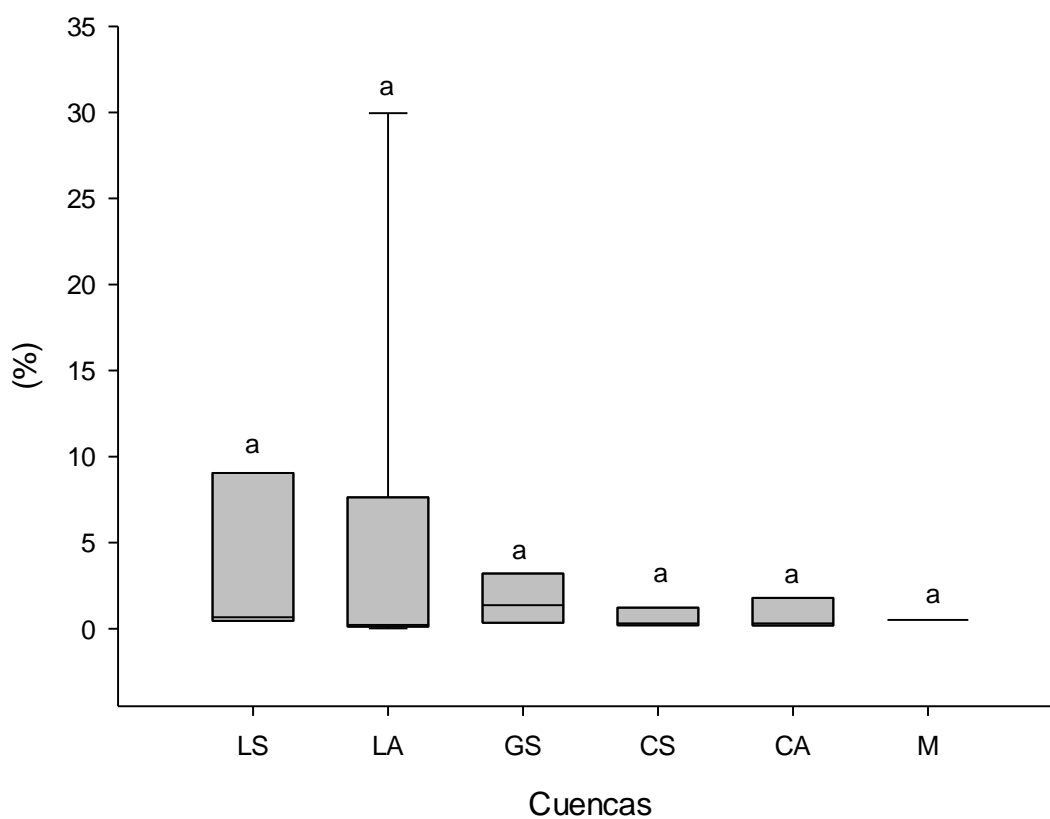


Figura 31. Concentración (%) de Ca respecto a las cuencas de St. John, donde se representan muestras de suelo y arroyos; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).

Tabla VIII. Valores de máximo, mínimo, media, mediana y desviación estándar de los diferentes elementos traza (ppm) y mayores (%), obtenidos de muestras de suelo y sedimento de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A. N.D. son valores no detectables.

Valores	Elementos traza (ppm)				Elementos mayores (%)		
	Sr	Ba	Zn	V	Fe	Mg	Ca
Máximo	3200	339	135	N.D	0.67	0.54	31.7
Mínimo	8.99	9.15	3.72	N.D	0.08	0.10	0.10
Media	344	57.7	30.0	N.D	0.34	0.29	3.34
Mediana	40.9	35.7	21.7	N.D	0.35	0.26	0.38
Desviación Estándar	858	65.7	23.3	N.D	0.15	0.12	8.48

III.4 Contenido de elementos traza y mayores en agua

Se estudiaron las cuencas Lameshur Bay y Coral Bay. Para ambas cuencas se filtraron las muestras (denominadas disueltas) (Tabla XXII Apéndice D). Sin embargo, en la cuenca de Coral Bay se tomaron muestras que no fueron filtradas (denominadas totales) (Tabla XXIII Apéndice D).

III.4.1 Concentración de elementos traza disueltos y totales

Níquel (Ni)

Las concentraciones Ni disuelto fueron 0.050-0.137 ppm, donde solamente el 29% del total de las muestras fueron detectables. Cuatro muestras de catorce fueron detectables y diez se encontraron abajo del límite de detección calculado que fue de 0.050 de las cuencas analizadas. (Fig. 32), (Tabla XXII Apéndice D). La mediana en las muestras de Ni disuelto fue 0.050 (Tabla IX). Estadísticamente en el Ni disuelto las cuencas no son significativamente diferentes (Fig. 33). La concentración de Ni total se encontró abajo del límite de detección (0.050 ppm) (Fig. 32), (Tabla IV, Tabla XXIII Apéndice D).

St. John

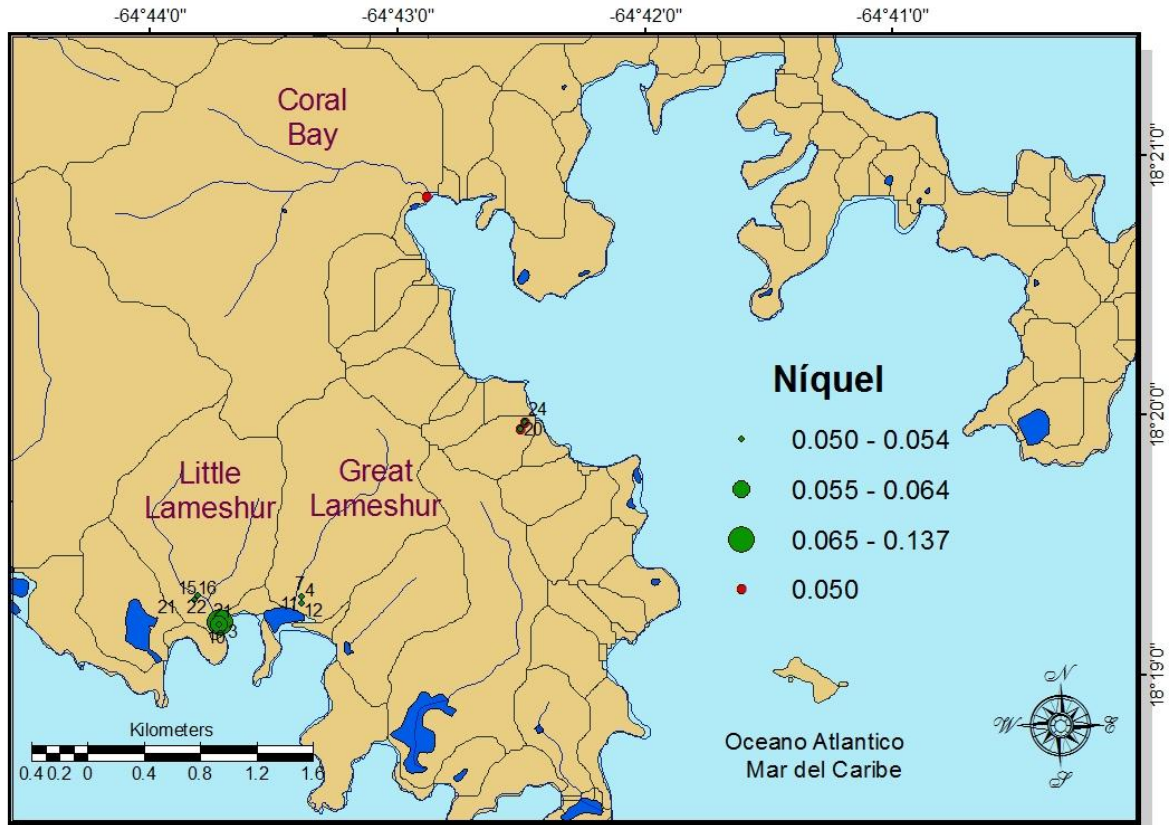


Figura 32. Valores de concentración (ppm) de Ni en las muestras de agua, donde los círculos verdes representan los metales disueltos y el círculo rojo es de metales totales en las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.

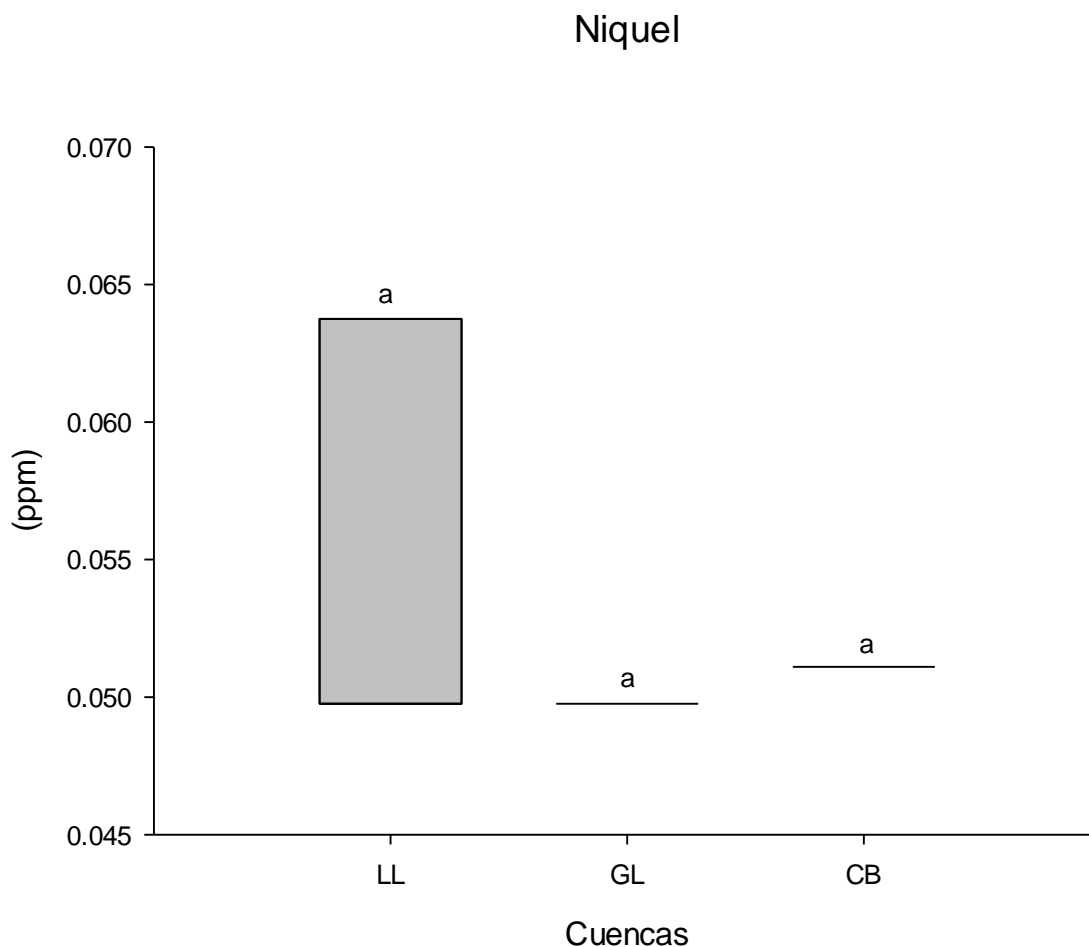


Figura 33. Concentración (ppm) de Ni disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$). Y las siglas son las cuencas donde LL=Little Lameshur, GL=Great Lameshur y CB=Coral Bay.

Estroncio (Sr)

Los valores encontrados en el Sr disuelto fueron 0.033-1.72 ppm. En Little Lameshur Bay se encontró el mayor valor (1.72 ppm) siendo éste el único valor alto, ya que los demás valores se encontraron por debajo de 0.3 ppm. Los valores menores fueron localizados en Great Lameshur Bay con concentraciones de 0.03 y, Coral Bay 0.32 ppm (Fig. 34), (Tabla XXII Apéndice D). Estadísticamente el Sr disuelto en las cuencas no son significativamente diferentes (Fig. 35). La concentración de Sr total encontrada no presentaron gran desviación ya que fue 0.314-0.457 ppm (Fig. 34), (Tabla XXIII Apéndice D).

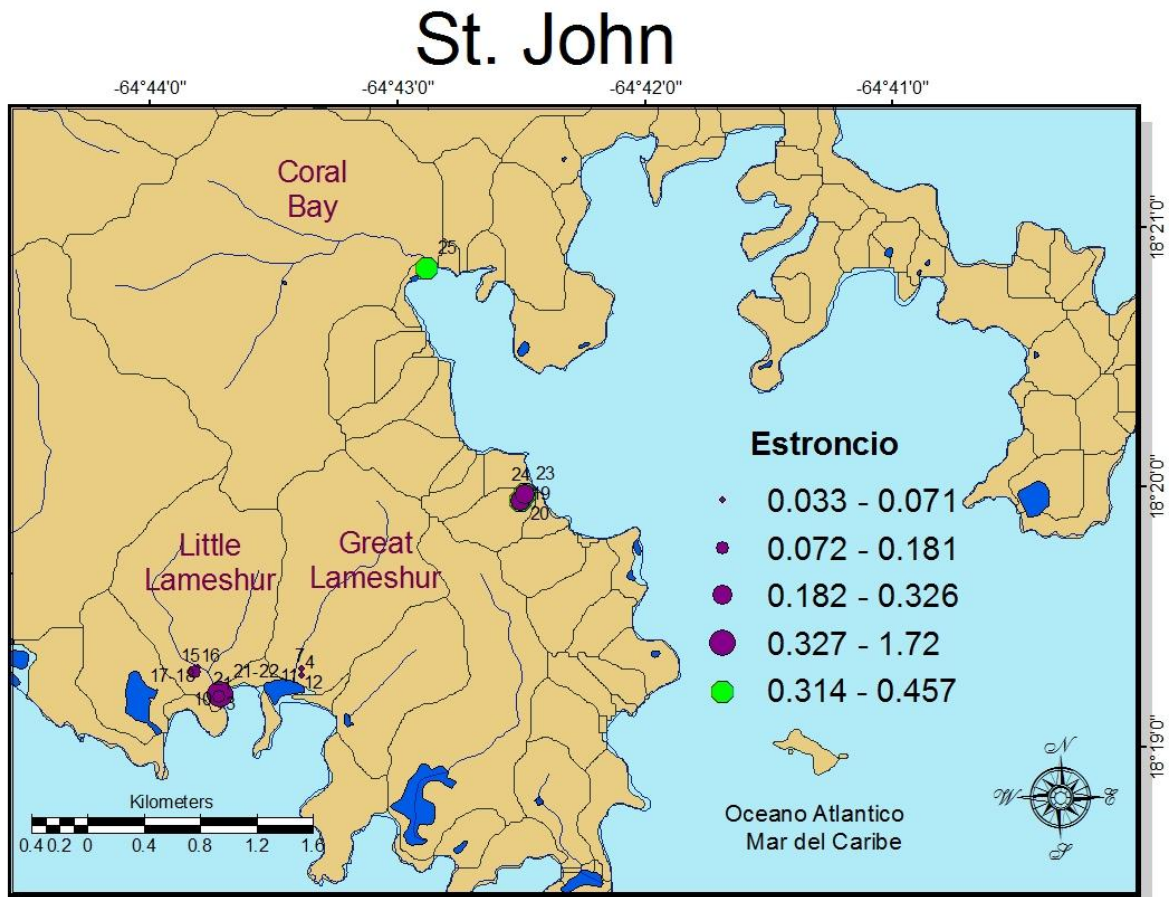


Figura 34. Valores de concentración (ppm) de Sr en las muestras de agua, donde los círculos morados representan los metales disueltos y el círculo verde es de metales totales; en las cuencas de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

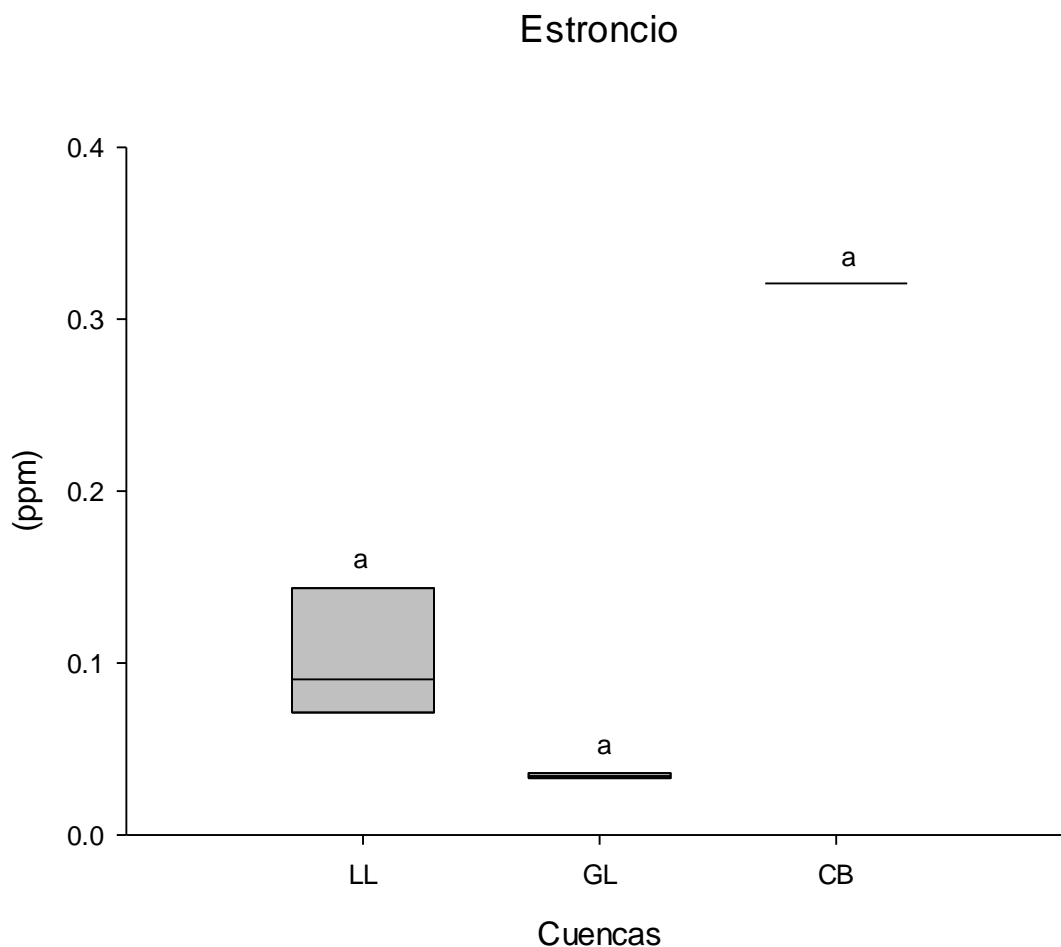


Figura 35. Concentración (ppm) de Sr disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).

Bario (Ba)

Los valores de Ba disuelto encontrados son 0.009-0.044 ppm. Los valores más altos fueron localizados en Coral Bay ~0.04 ppm, en Lameshur Bay los valores se encontraron abajo de 0.02 ppm (Fig. 36), (Tabla XXII Apéndice D). La mediana en las muestras de las cuencas fue de 0.015 para los metales disueltos (Tabla IX). Estadísticamente las cuencas no son significativamente diferentes en los metales disueltos (Fig. 37). En la concentración de Ba total es de 0.044 -0.094ppm (Fig. 36), (Tabla XXIII Apéndice D).

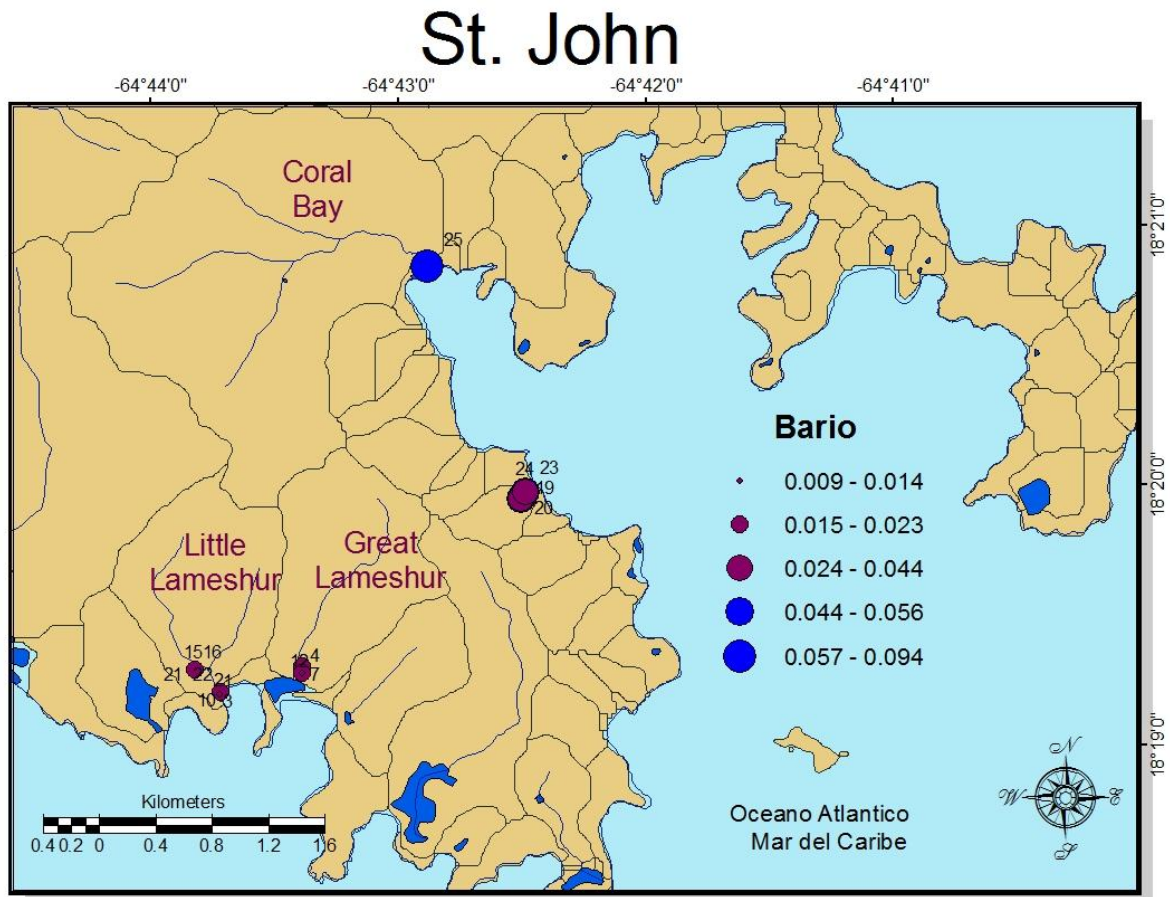


Figura 36. Valores de concentración (ppm) de Ba en las muestras de agua, donde los círculos morados representan los metales disueltos y los círculos azules son de metales totales; de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

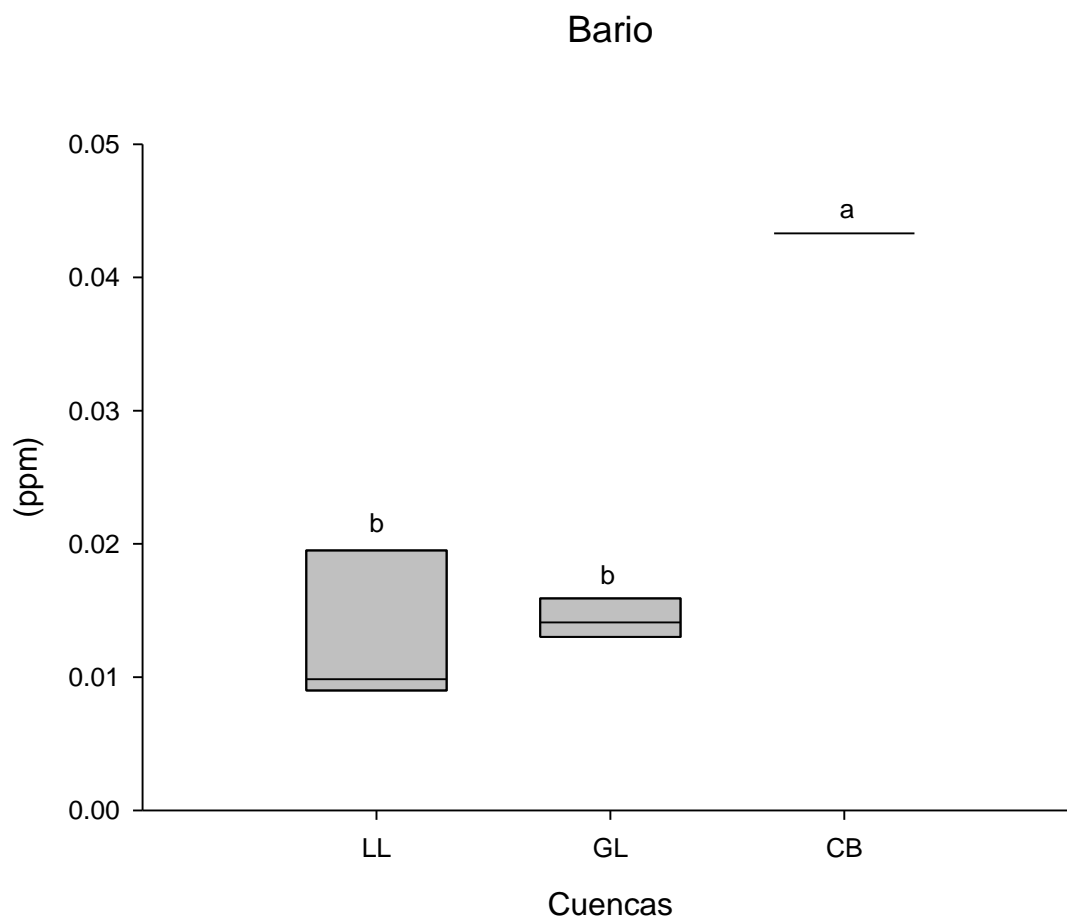


Figura 37. Concentración (ppm) de Ba disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).

Cobre (Cu)

Las concentraciones en las muestras de Cu se encontraron entre 0.031-0.457 ppm. La cuenca que presentó mayor concentración fue Little Lameshur Bay (0.457 ppm), siendo un valor alto ya que los demás valores se encontraron debajo de 0.1 ppm, en esta cuenca de ocho muestras analizadas solamente cinco se encontraron detectables, y tres muestras están abajo del límite de detección 0.031 ppm. En Great Lameshur Bay de cuatro muestras analizadas solamente una de las muestras se encontró arriba del límite de detección. Donde el 57 % de las muestras fueron detectables, el resto estuvo abajo del límite de detección (0.031 ppm) (Fig. 38), (Tabla XXII Apéndice D), (Tabla IV). Estadísticamente el Cu

disuelto en las cuencas no son significativamente diferentes (Fig. 39). La concentración de Cu total fue 0.125-0.142 ppm (Figura 38), (Tabla XXIII Apéndice D).

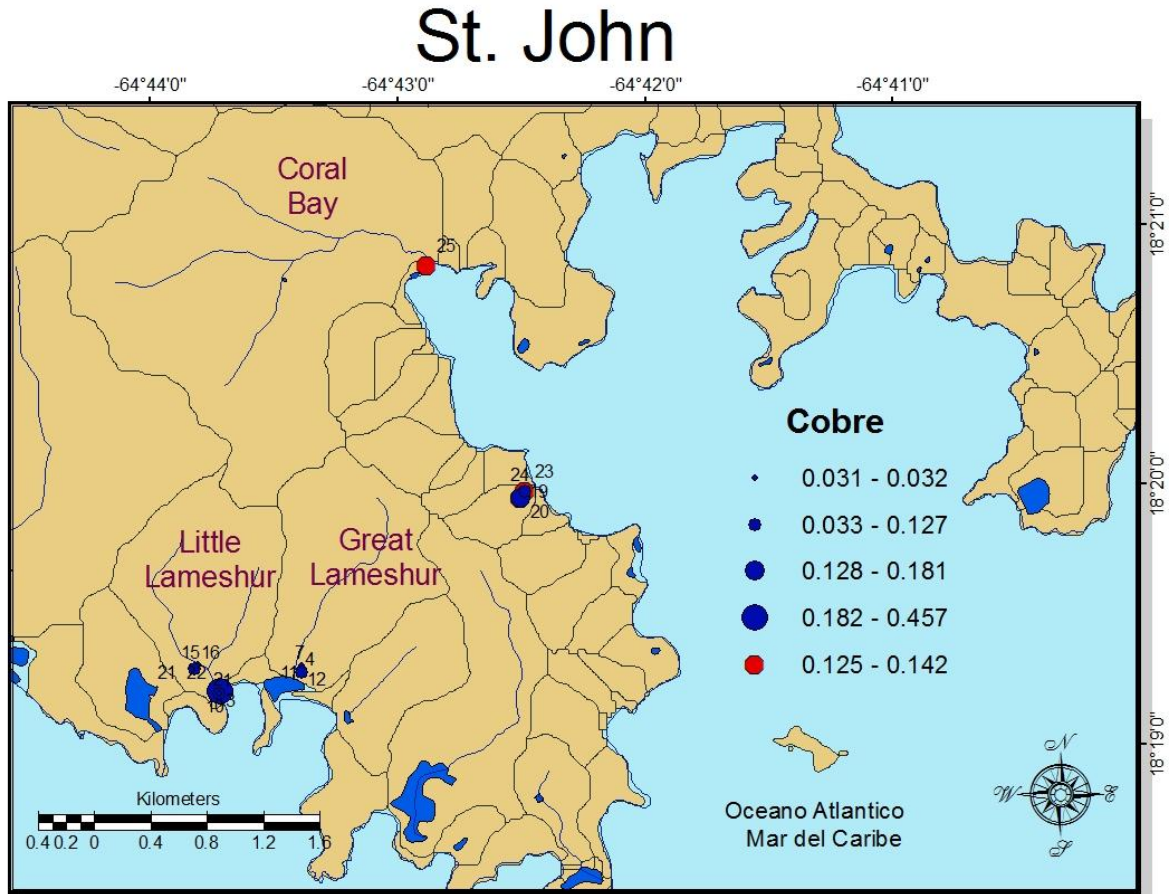


Figura 38. Valores de concentración (ppm) de Cu en las muestras de agua, donde los círculos azules representan los metales disueltos y el círculo rojo es de metales totales; en las cuencas de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

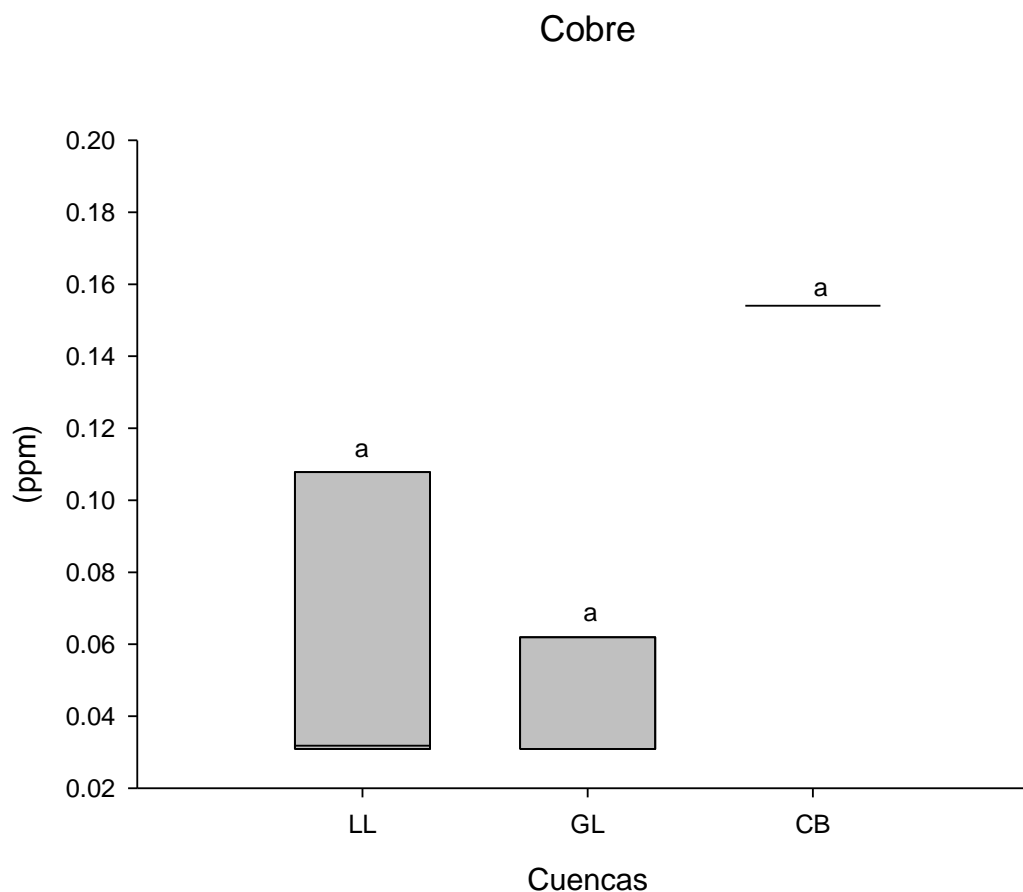


Figura 39. Concentración (ppm) de Cu disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).

III.4.2 Concentración de elementos mayores disueltos y totales

Hierro (Fe)

La concentración en el Fe disuelto fue 0.049-0.267 ppm, la concentración de 0.267 es de la muestra 1 perteneciente a la subcuenca de Little Lameshur Bay, esta muestra se encuentra cerca de la costa. Los valores de Coral Bay se presentaron abajo del límite de detección, el 86% de las muestras analizadas se encontraron detectables. (Fig. 40), (Tabla XXII Apéndice D). La mediana encontrada en las muestras disueltas fue de 0.133 (Tabla IX). Estadísticamente las cuencas son significativamente diferentes en Fe disuelto (Fig. 41). La concentración de Fe total fue ~0.032 ppm (Fig. 40), (Tabla IX, XXIII Apéndice D).

St. John

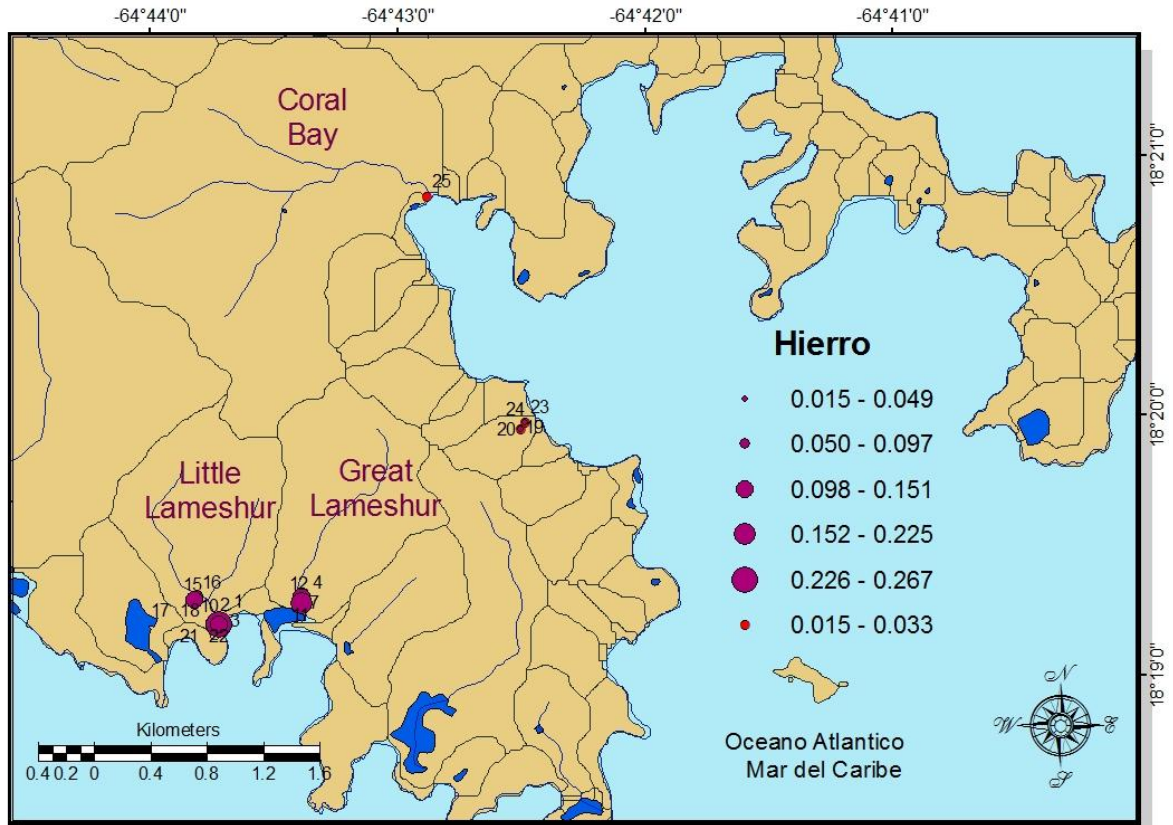


Figura 40. Valores de concentración (ppm) de Fe en las muestras de agua, donde los círculos tintos representan los metales disueltos y el círculo rojo es de metales totales; de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

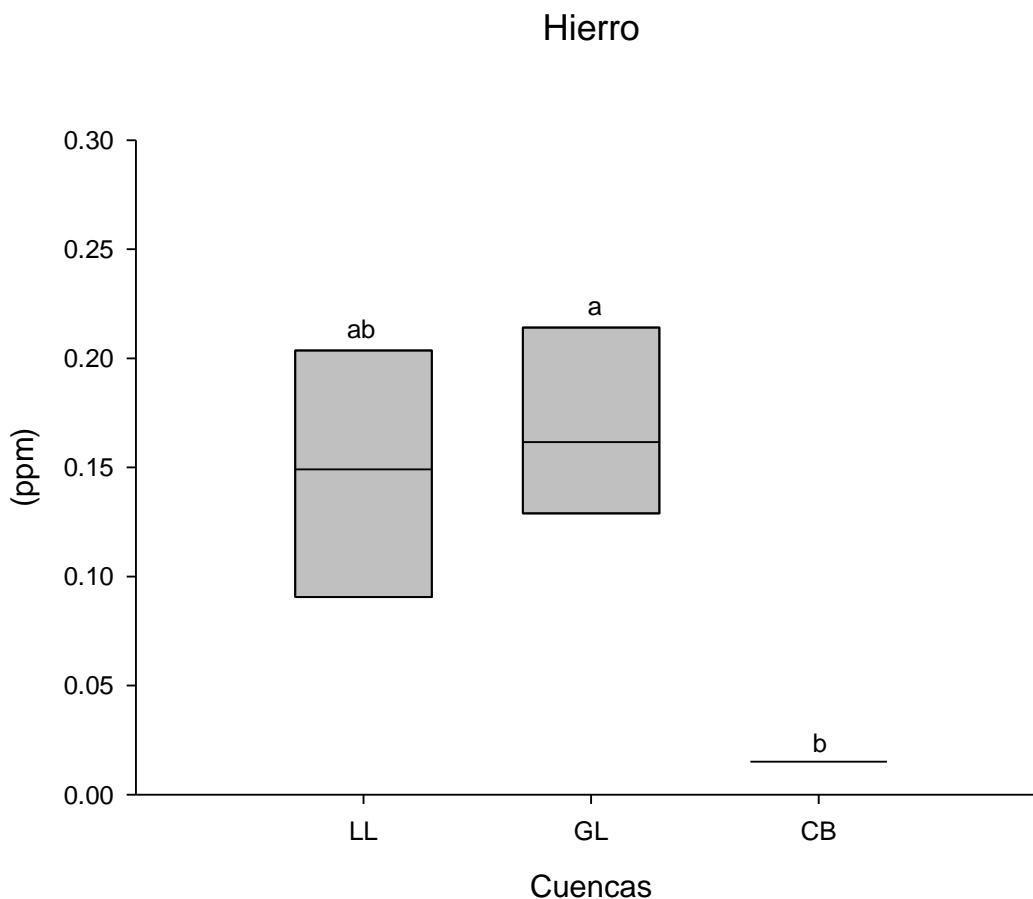


Figura 41. Concentración (ppm) de Fe disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).

Magnesio (Mg)

El Mg presentó concentraciones de 4.66-236 ppm. Little Lameshur Bay fue la que presentó mayor desviación entre sus muestras 7.68-236 ppm, siendo solamente la muestra 21-22 la que presenta el máximo, localizada cerca de la costa, las demás muestras se encontraron debajo de 14 ppm. En Great Lameshur Bay se encontraron valores ~ 4.5 ppm, y tiene menor desviación entre sus muestras. En Coral Bay se presentaron las muestras con concentraciones ~ 52 ppm. (Fig. 39), (Tabla XXII Apéndice D). La mediana encontrada en las muestras disueltas de las cuencas fue de 10.3 (Tabla IX). Estadísticamente las cuencas

no son significativamente diferentes en el Mg disuelto (Fig. 40). La concentración de Mg total se encontró 45.5-53.9 ppm (Fig. 39), (Tabla XXIII Apéndice D).

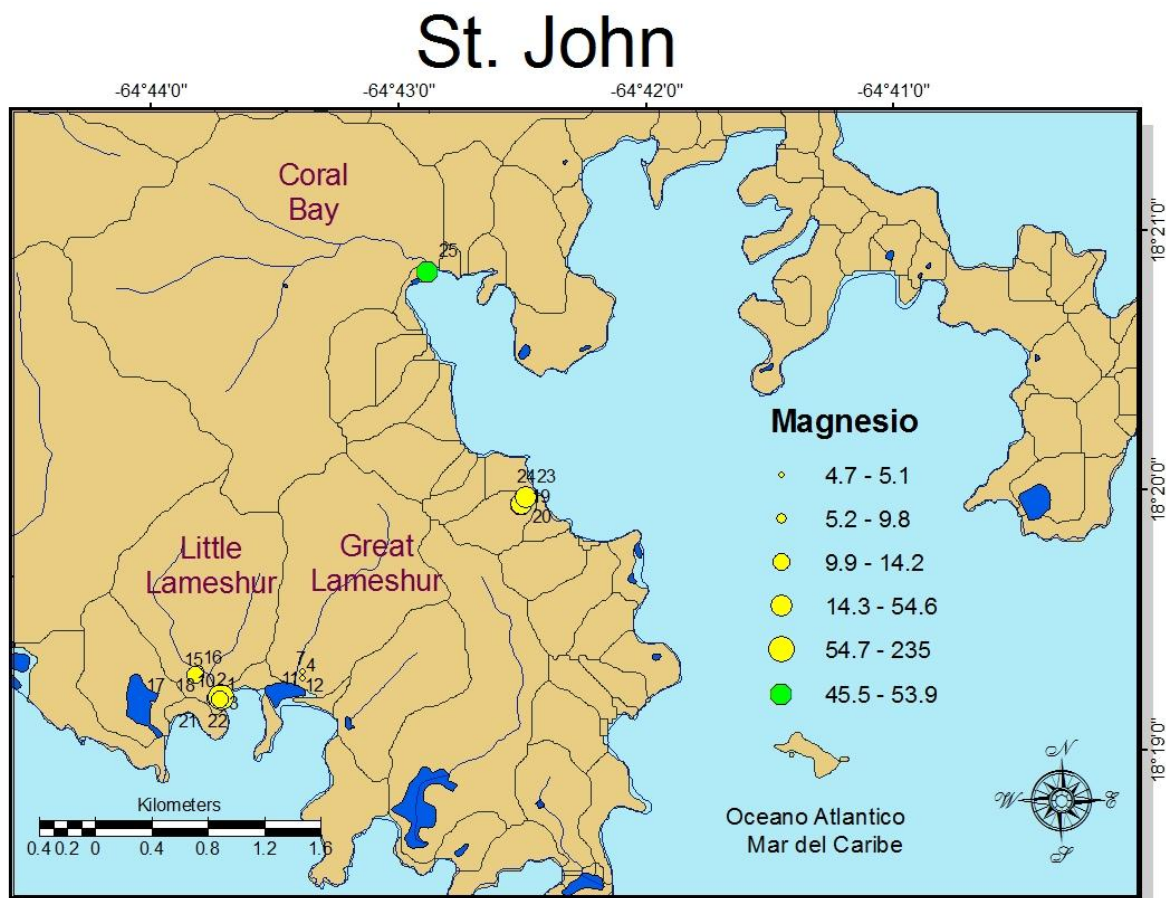


Figura 42. Valores de concentración (ppm) de Mg en las muestras de agua, donde los círculos amarillos representan metales disueltos y el círculo verde es de metales totales; de las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

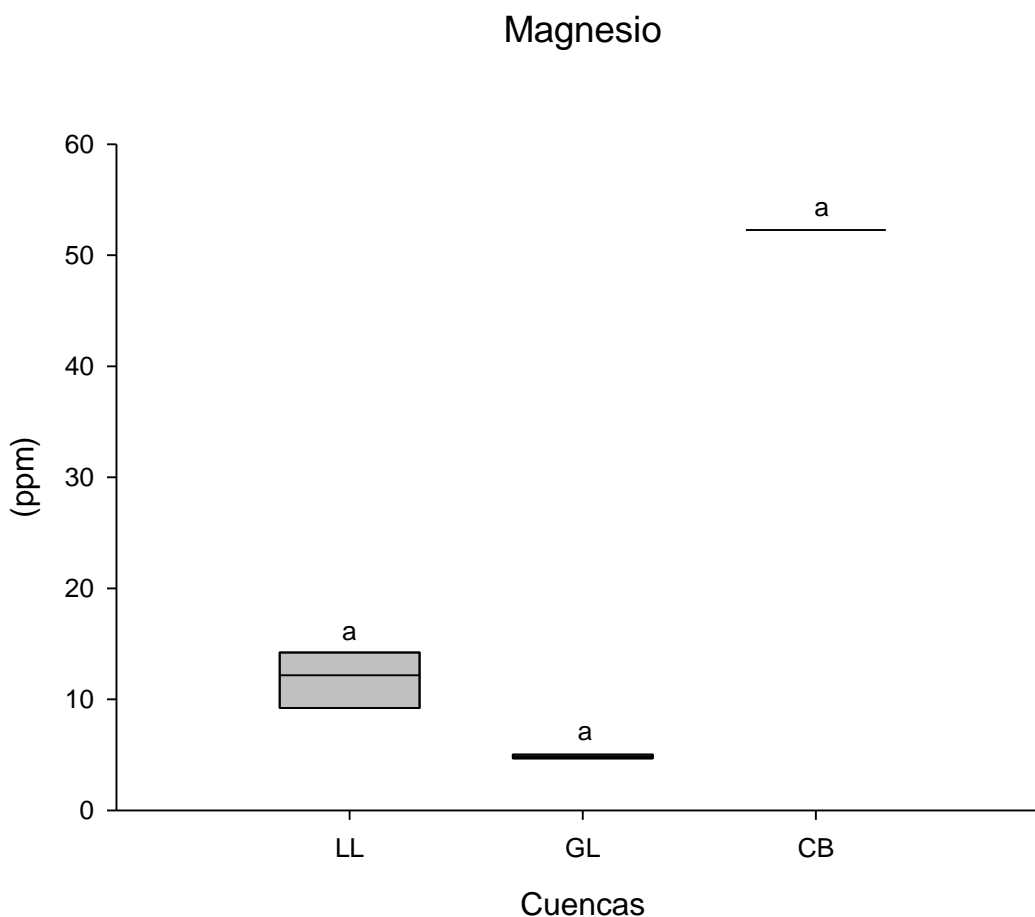


Figura 43. Concentración (ppm) de Mg disuelto respecto a las cuencas de St. John, Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).

Potasio (K)

Las concentraciones para K fueron 2.36-163 ppm. La cuenca de Little Lameshur fue la que tuvo el máximo valor (163 ppm) con la muestra 21-22. En Great Lameshur Bay el K fue de ~3.7 ppm y, en la cuenca de Coral Bay ~121 ppm (Fig. 43), (Tabla XXII Apéndice D). La mediana encontrada en las muestras disueltas de las cuencas fue de 6.95 (Tabla IX). Estadísticamente existe diferencia significativa en el K disuelto entre las cuencas (Fig. 44). La concentración de K total fue de 107-122 ppm (Fig. 43), (Tabla XXIII Apéndice D).

St. John

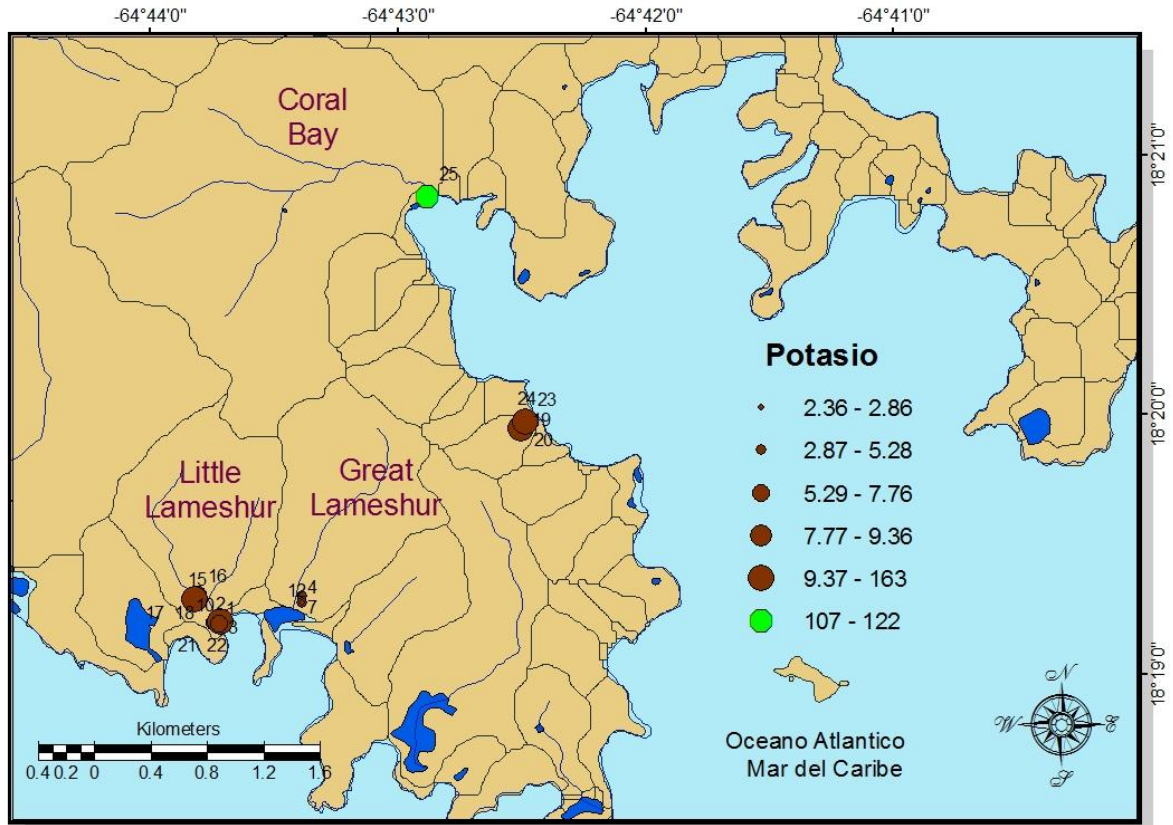


Figura 44. Valores de concentración (ppm) de K en las muestras de agua, donde los círculos cafés representan los metales disueltos y el círculo verde es de metales totales; en las cuencas de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

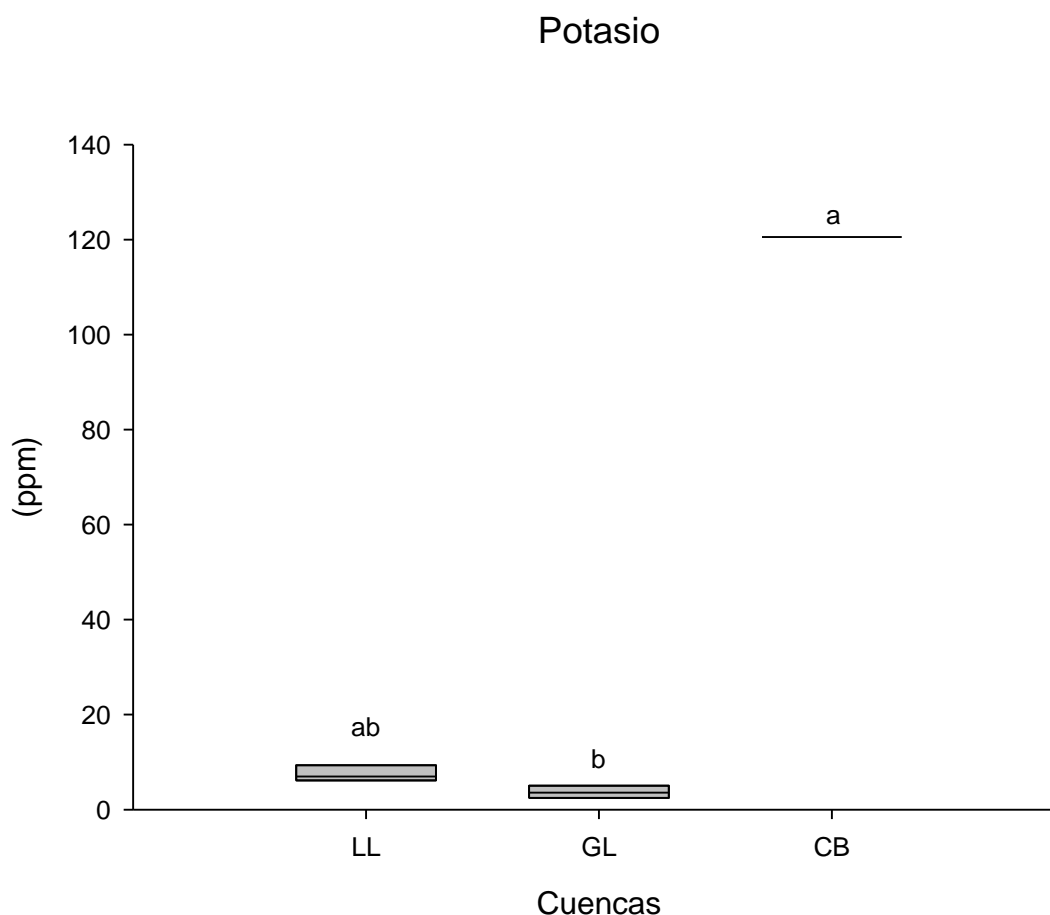


Figura 45. Concentración (ppm) de K disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$: $a>b$).

Calcio (Ca)

La concentración de Ca fue de 3.87-128 ppm. Little Lameshur presentó el mayor valor en la muestra 21-22, siendo el más alto de todas las cuencas 128 ppm. En la subcuenca de Great Lameshur Bay se encontró la concentración entre 3.87-4.31 ppm y, Coral Bay ~46.7. (Fig. 46), (Tabla XXII Apéndice D). La mediana en las muestras disueltas fue de 10.4 (Tabla IX). Estadísticamente las cuencas no son significativamente diferentes entre ellas en el Ca disuelto (Fig. 47). La concentración de Ca total fue 47.2 ppm (Fig. 46), (Tabla X, XXIII Apéndice D).

St. John

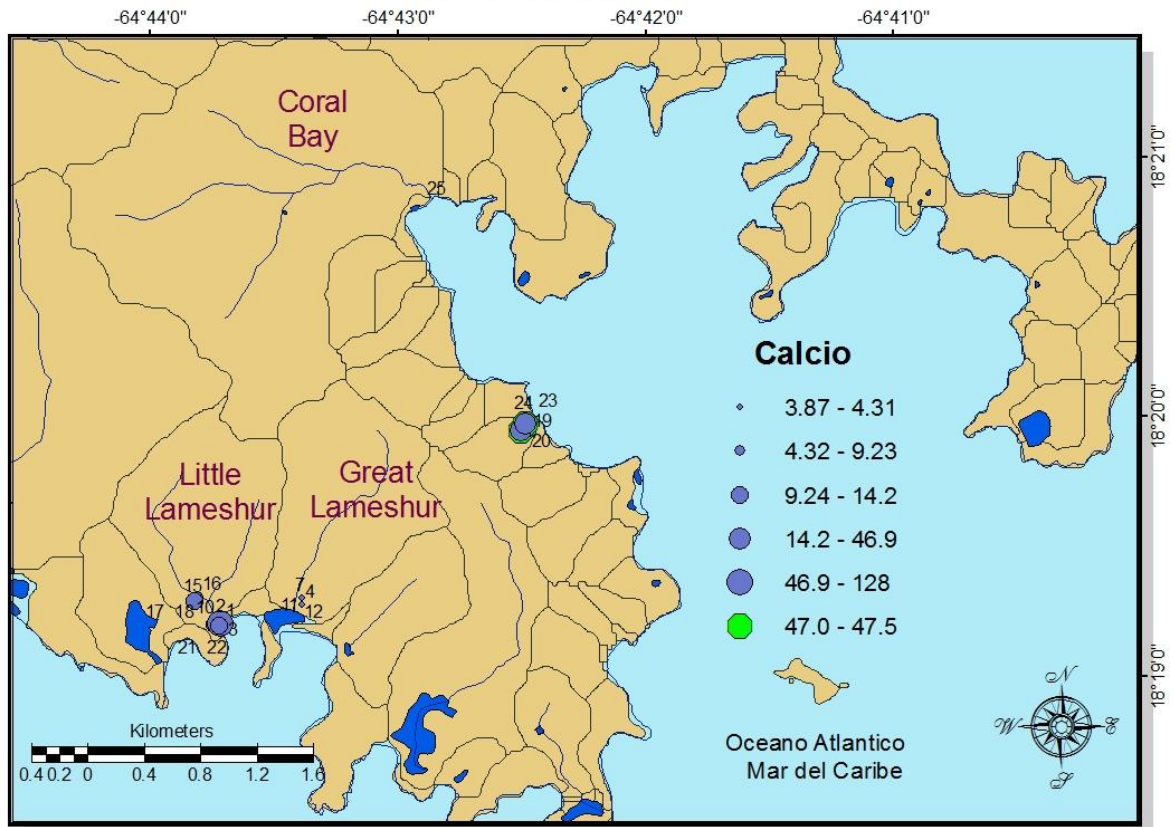


Figura 46. Valores de concentración (ppm) de Ca en las muestras de agua, donde los círculos azules representan los metales disueltos y el círculo verde es de metales totales; en las cuencas en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

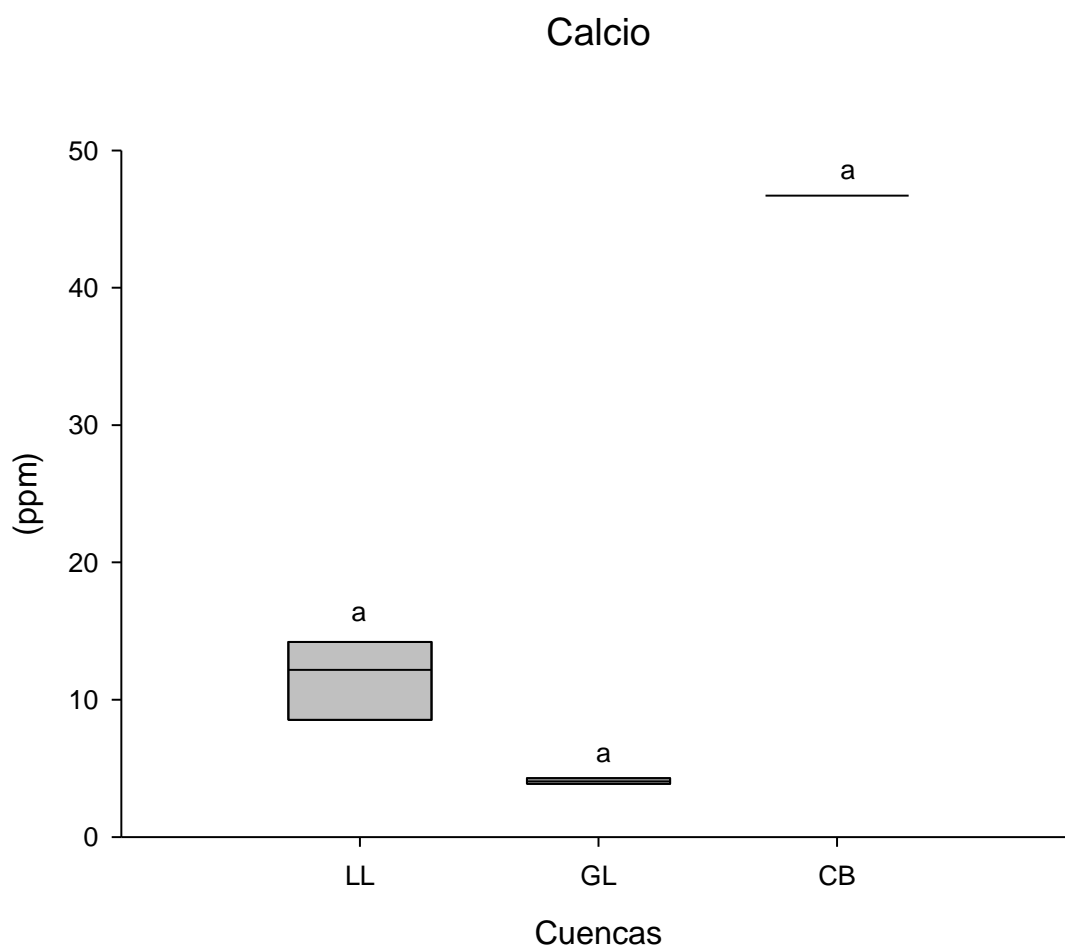


Figura 47. Concentración (ppm) de Ca disuelto respecto a las cuencas de St. John Islas Vírgenes; valores con letras indican diferencias significativas (ANOVA de una vía y prueba a posteriori Tukey, $\alpha=0.05$).

Tabla IX. Valores de máximo, mínimo, media, mediana y desviación estándar de los diferentes elementos traza y mayores obtenidos en muestras de agua para metales disueltos en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

Valores (ppm)	Elementos traza				Elementos mayores			
	Sr	Ni	Cu	Ba	Fe	K	Mg	Ca
Mediana	0.089	0.050	0.050	0.015	0.133	6.95	10.3	10.4
Media	0.228	0.058	0.094	0.018	0.129	33.6	31.2	22.5
Máximo	1.72	0.137	0.457	0.044	0.267	163	236	128
Mínimo	0.033	0.050	0.031	0.009	0.015	2.36	4.66	3.87
Desviación Estándar	0.441	0.023	0.114	0.011	0.075	55.7	61.1	33.6

Tabla X. Valores de máximo, mínimo, media, mediana y desviación estándar de los diferentes elementos traza y mayores obtenidos en muestras de agua para metales totales en St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

Valores (ppm)	Elementos traza				Elementos Mayores			
	Sr	Ni	Cu	Ba	Fe	K	Mg	Ca
Mediana	0.315	0.050	0.126	0.044	0.032	114	49.9	47.2
Media	0.362	0.050	0.131	0.060	0.027	114	49.7	47.2
Máximo	0.457	0.050	0.142	0.094	0.033	122	53.9	47.5
Mínimo	0.314	0.050	0.125	0.044	0.015	107	45.5	47.0
Desviación Estándar	0.083	0.000	0.010	0.029	0.010	7.45	4.17	0.332

Capítulo IV.

Discusión

La morfología, el clima y la precipitación son factores importantes que son determinantes para la intemperización de las rocas. El análisis de estos factores ayuda en la interpretación y descripción de los procesos erosivos que se originan en las cuencas de estudio.

IV.1 Sedimentología

El movimiento de sedimento es mayormente en grano grueso, sin embargo, para la realización de los objetivos, el tamaño de grano grueso $> 1000 \mu\text{m}$ no se tomó en cuenta. Se encontró que las arenas muy finas son las más representativas en los lugares de estudio, solamente en Great Lameshur se localizó arena media (Fig. 12), siendo el sedimento más grueso predominante en las cuencas. Esto probablemente se deba a las mayores pendientes de la cuenca y, a la velocidad de flujo que arrastra material más grueso donde en Lameshur las pendientes son más abruptas que en Coral Bay y existen partes con mayores planicies. La zona de Manglar está representada por arenas muy finas, la cual es una zona importante de amortiguamiento para la retención de sedimento. No se observa diferencia en el tamaño de grano transportado entre la cuenca urbanizada y no urbanizada, solamente en la cuenca de Great Lameshur el tamaño de grano es mayor. Gudiño (2012), encontró con análisis de microscopio electrónico de barrido que en la cuenca de Lameshur las partículas se encuentran aglomeradas y, en Coral Bay se encontró que las partículas mostraban mayor número de caras frescas, por lo que comenta que el transporte de este material es poco, también encontró que existe mayor erosión en la cuenca de Coral Bay donde es tres veces mayor la sedimentación en esta cuenca con respecto a Lameshur. Ramos y colaboradores (1989), sugieren que grandes cantidades de sedimento es transportado por los arroyos de la isla, así mismo comentan que proyectos de construcción residencial implican grandes

movimientos del sedimento y los resultados encontrados en este trabajos concuerda con lo que comentan Ramos y colaboradores (1989).

IV.2 Carbono orgánico ($C_{Org.}$) e inorgánico ($C_{Inorg.}$)

En cuanto a las concentraciones encontradas de $C_{Org.}$, se observó que en las muestras de suelo son mayores que en las de sedimento tomado sobre el arroyo: $GS > LS > CS > MA > LA > CA$; (Fig. 18). Este patrón se debe a que las muestras de suelo cuentan con grandes cantidades de raíces que son parte de la materia orgánica, la cuenca de Lameshur (no urbanizada) es la que presenta vegetación con mayor densidad que la cuenca de Coral Bay (no urbanizada) donde la materia orgánica juega un papel importante en Lameshur; en las muestras de arroyos la zona de Manglar, cuenta con mayor concentración de $C_{Org.}$ ya que los manglares son extensiones planas donde se realiza depositación de sedimento y, materia orgánica, además son lugares anaeróbicos (sin oxígeno) y, retienen metales pesados. Igualmente que las muestras de suelo, las de arroyo en la cuenca de Lameshur (no urbanizada) presentan una mayor concentración que la de Coral Bay (urbanizada) donde la deforestación del lugar está influyendo. Dentro de los factores que se han reconocido que afectan la preservación de $C_{Org.}$ se encuentran: el origen de la materia orgánica, tiempo de exposición a la masa oxigenada (Hedges, Hartnett, Keil, & Devol, 1998), dinámica microbiana, la adsorción a superficies minerales (Mayer, 1994), lo que se ve bien referenciado en este trabajo al ser dos ambientes diferentes, uno no urbanizado y urbanizado. Para el $C_{Inorg.}$ se obtuvo que las concentraciones varían de la siguiente forma $LS > GS > CS > LA > CA > MA$; esto puede estar relacionado por efecto hidrotermal (Fig. 19) que existe en las cuencas, sin embargo, se recomienda una análisis más profundo al respecto.

IV.3 Elementos traza en suelo y sedimento

En las muestras de suelo y sedimento de arroyos, se realizó la digestión al 5% de HCl dio como resultado un patrón de concentración de: $Ca > Fe > Mg > Sr > Ba > Zn > V$. Ramos y colaboradores (1989) encontraron mayor concentración en los metales pesados y traza; y

las concentraciones reportadas por ellos es $Mg > Fe$. Sin embargo, en el presente trabajo realizando la comparación de las concentraciones entre las cuencas (urbanizada y no urbanizada) se encontró que $Fe > Mg$ en la cuenca de Coral Bay (urbanizada), sin embargo en la cuenca de Lameshur Bay (no urbanizada) el $Mg = Fe$. Donde Ramos y colaboradores (1989) realizaron digestión a concentración al 50% y, en este al 5% lo cual fue para tratar de interpretar una extracción similar a la que ocurre por intemperismo natural. Así mismo existe variación en el contenido de metales en el sedimento diciendo que puede ser originado por el equilibrio de minerales de arcilla, materia orgánica, complejos quelantes solubles y el pH. Las muestras de Great Lameshur (suelo) presentaron las mayores concentraciones de metales, siendo estos encontrados en el parteaguas, Tucker y coautores (1985) publicaron que en el parteaguas se encuentra la mayor anomalía geoquímica en las rocas. En las muestras de suelo los elementos mayores (Ca, Fe y Mg) y, menores (Ba y Sr) se encontraron en mayor proporción en la cuenca de Lamesur (no urbanizada) y, en la cuenca de Coral Bay (urbanizada) solamente el Zn se encuentra en mayor proporción. En el sedimento de las muestras de arroyos, la cuenca urbanizada (Coral Bay) presenta mayores concentraciones en los elementos mayores (Ca y Mg) y, menores (Ba y Zn), en la zona de Manglar solamente el Sr se encuentra con los mayores valores, los manglares son sitios importantes ya que estos atrapan metales pesados en el sedimento, en este caso no se observo la concentración de otros metales, esto se puede deber a que el lugar no tiene influencia antropogénica, que puedan aportarlos.

Los valores encontrados en las muestras de suelo y sedimento son menores que los reportados por Hans (1995), Wedepohl (1995) y, Reimann y coautores (1998), (Tabla XI y XII). Alminas y colaboradores (1995) describen que las zonas mineralizadas en las tres islas principales (St. Thomas, St. John y St. Croix) están estrechamente relacionadas con las fallas principales y los tipos de rocas, las cuales se caracterizan por alteración generalizada y una idéntica geoquímica que consiste en Au, Ag, Te, Sn, Pb, Cu, Zn, Ni, Cr, Sb, As, Bi, Mo, Cl, y Ba. Ingersoll y coautores (2000) realizan reporte de la EPA, el cual es un estudio para la predicción de toxicidad en sedimentos de arroyos, donde los elementos

bioacumulables con efectos tóxicos analizados en este trabajo es el Zn, (Tabla XXIV Apéndice E), el cual se encuentra abajo del valor presentado por ellos.

Tabla XI. Concentración de elementos de la corteza continental, por (Hans, 1995), (Wedepohl, 1995) y, de suelo, por (Reimann & De Caritat, 1998), (Para referencias ver las notas) y los encontrados en suelo de las cuencas de St. John.

Elemento	Hans	Wedepohl	Suelo del Mundo ¹	Suelo (0-15 cm) Inglaterra ²	LL ³	GL ³	CB ³
Ba	584ppm ^b	668ppm	500ppm	121ppm	23.7ppm	117ppm	67.3ppm
Ca	3.85% ^a	2.95%	1.40%	0.33%	0.67%	1.37%	0.31%
Fe	4.32% ^a	3.09%	3.50%	2.68%	0.40%	0.20%	0.31%
Mg	2.20% ^a	1.35%	0.90%	0.30%	0.42%	0.41%	0.19%
Sr	333ppm ^a	316ppm	240ppm	27ppm	53.3ppm	155ppm	20.3ppm
V	98ppm ^a	53ppm	90ppm	---	--	--	--
Zn	65ppm ^a	52ppm	70ppm	82ppm	22.8ppm	29.8ppm	50.4ppm

(Hans, 1995), ^a (Shaw, Reilly, Muysson, Pattenden, & Campbell, 1967); ^b calculada por un promedio de rocas por (Puchelt, 1972). (Reimann & De Caritat, 1998), ¹ Valores estimados con la media, (Koljonen, 1992) datos recopilados, ² (MacGrath & Loveland, 1992). N=5692 (difiere ligeramente de elemento a elemento). Área: 35,000 Km². ³Valores calculados con la mediana en las cuencas de St. John, donde LL=Little Lameshur, GL=Great Lameshur y CB=Coral Bay.

Tabla XII. Concentración de elementos químicos en el ambiente de sedimento, por (Reimann & De Caritat, 1998). (Para referencias ver las notas) y los encontrados en el sedimento de arroyos en las cuencas de St. John.

Elemento	Sedimento de Arroyos Austria ¹	LL ²	CB ²	M ²
Ba	490ppm	30.0ppm	36.9ppm	17.3ppm
Ca	1.29%	0.22%	0.40%	0.15%
Fe	3.72%	0.42%	0.38%	0.28%
Mg	1.12%	0.26%	0.26%	0.18%
Sr	187ppm	24.1ppm	27.9ppm	37.5ppm
V	98ppm	--	--	--
Zn	80ppm	17.0ppm	30.8ppm	14.7ppm

¹ (Thalman, Scherman, Schroll, & Hausberger, 1988). N. 29,717. Área: 40,000 Km². ²Valores calculados con la mediana en las cuencas de St. John, donde LL=Little Lameshur, CB=Coral Bay y M=Zona Manglar.

IV.4 Elementos traza y mayores en agua

En las muestras de agua la concentración encontrada de metales en arroyos en la fase disuelta (filtrados) es de: Ca > Mg > K > Fe > Sr > Ba > V > Cu > Ni y, en las no filtradas K > Mg > Ca > Fe > Sr > Cu > V > Ba > Ni. Ramos y colaboradores (1989) comentaron que las concentraciones de metales pesados encontrados en St. John son típicas de pequeñas corrientes no contaminadas, y mencionan, que la escasez de lluvias en el lugar desempeña un papel importante ya que limita el transporte de metales. Sin embargo, este

trabajo se realizó en año dominado por fuertes tormentas donde quizá los metales estuvieron más diluidos y por lo tanto su concentración es menor. Así mismo Bradley (1995) llegó a la conclusión de que el flujo de masa de metales es mayor durante los picos de inundación y argumenta que las concentraciones de metales disueltos disminuyen en altos flujos, y la cantidad de metales unidos a las partículas aumenta. Por lo tanto, la exportación a esperar sería mayor durante los años dominados por tormentas, pero haría a los metales menos biodisponibles porque son fuertemente sorbidos a las partículas suspendidas. Tomando en cuenta el párrafo anterior, los valores encontrados en este trabajo son mayores en el suelo y sedimento que los encontrados en el agua. Y la cuenca urbanizada (Coral Bay) presenta concentraciones mayores en los elementos (Ba, Ca, Cu, K, Ni, Sr y V) y, solamente en la cuenca no urbanizada (Great Lameshur) se encontró el Fe y Mg con los mayores valores, esto se puede deber a que las muestras tomadas en Coral Bay el flujo de agua era poco y en ocasiones se encontraba estancado, esto favorece a que el metal se encuentre más tiempo en contacto con el agua y estar mayormente disponible en la fase disuelta, así mismo puede ser aporte ocasionando por la urbanización.

Tomando en cuenta los datos de Reimann y coautores (1998) los valores reportados son menores a los que aquí se encontraron (Tabla XIII). El régimen de precipitación anual afecta en gran medida a la partición química de metales, Drever (1997) interpreta que los contenidos de metales totales van a estar controlados por procesos de formación de complejos en solución, disolución, precipitación, sorción y desorción en los metales. Los elementos bioacumulables analizados en este trabajo son Cu y Ni, reporte la EPA (Tabla XXIV Apéndice E), los cuales se encuentran abajo del valor presentados por ellos.

Tabla XIII. Concentración de elementos químicos en agua (mg/L), por (Reimann & De Caritat, 1998). (Para referencias ver las notas) y, los encontrados en las cuencas de St. John.

Elemento	Agua de Arroyos Mundo	LL	GL	CB
Ba	0.02*	0.012	0.014	0.043
Ca	18*	12.39	4.06	46.70
Cu	0.003*	0.050	0.031	0.154
Fe	0.04*	0.123	0.162	0.015
K	2.3*	7.36	3.56	121
Mg	4.1*	11.48	4.82	52.28
Ni	0.000,3*	0.050	0.050	0.051
Sr	0.07*	0.092	0.034	0.321
V	0.000,9*	0.011	0.001	0.069

* Valores estimados con la media, (Koljonen, 1992) datos recopilados.

Capítulo V.

Conclusiones

El tamaño de grano encontrado mayormente fue de arena muy fina para la mayoría de las cuencas, donde las cuencas de Lameshur (no urbanizada) y Coral Bay (urbanizada) presentan simetría positiva, el grado de selección de estas cuencas se encontró dentro de las formas platicúrticas y el tamaño de grano es variada, lo cual nos origina grado de pobremente a muy pobremente seleccionado.

La zona de Manglar presento un tamaño de grano de arena muy fina, con simetría negativa y el grado de selección fue de forma muy leptocúrtica la cual tiene una mejor selección de grano.

Los mayores porcentajes de C_{Org} y C_{Inorg} se encontraron en la cuenca de Great Lameshur (no urbanizada).

Los metales encontrados en la isla de St. John son transportados por pequeñas corrientes hacia el océano, siendo detectados en el suelo, sedimento y agua de arroyos, los cuales son mayormente visibles en la fase particulada que en la disuelta.

La cuenca que presenta mayor transporte de metales en el suelo es Great Lameshur (no urbanizada) y, en el sedimento y agua Coral Bay (urbanizada).

Es necesario realizar monitoreo constantes, así mismo una mejor comprensión del papel de los sumideros de metal, tales como salinas y manglares los cuales son necesarios para comprender y abordar esta cuestión.

Bibliografía

- Alminas, H. V., Foord, E. E., & R.E., T. (1995). Geochemistry, Mineralogy, and Geochronology of the U.S. Virgin Islands. U.S Geological Survey.
- Altares, P. E. (1993). Datos hidrológicos. 5, 41-54.
- Anderson, D. M. (1994). *Analysis and modeling of erosion hazards and sediment delivery on St. John, U.S. Virgin Islands*. Colorado State University.
- Barona, A., Aranguiz, I., & Elias, A. (1999). Assessment of metal extraction, distribution and contamination in surface soils by a 3-step sequential extraction procedure. *Chemosphere*, 39, 1911 – 1922.
- Bradley, S. B. (Ed.). (1995). *Long-term dispersal of metals in mineralized catchments by fluvial processes*.
- Brooks, G. R., Devine, B., Larson, R. A., & Rood, B. (2007). Sedimentary development of Coral Bay, St. John, USVI: A Shift from natural to Anthropogenic Influences. *Caribbean Journal of Science*, 43(No. 2), 226-243.
- Calmano, W., & Förstner, U. (1983). Chemical extraction of heavy metals in polluted river sediments in central Europe. *The Science of the Total Environment*, 28, 77– 90.
- Campos, D. F. A. (Ed.). (2007). *Estimación y aprovechamiento del escurrimiento* (Primera ed.).
- Daesslé, L. W., Ramos, S. E., Carriquiry, J. D., & Camacho-Ibar, V. F. (2002). Clay dispersal and the geochemistry of manganese in the Northern Gulf of California. *Continental Shelf Research*, 22, 1311-1323.
- Davidson, C. M., Wilson, L. E., & Ure, A. M. (1999). Effect of sample preparation on the operational speciation of cadmium and lead in a freshwater sediment. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 363, 134–136.

Dawson, E. J., & Macklin, M. G. (1998). Speciation of heavy metals on suspended sediment under high flow conditions in the River Aire. *Hydrological Processes*, 12, 1483–1494.

Donnelly, T. W. (1959). Geology of St. Thomas and St. John, Virgin Islands: Princeton University, Ph. D. thesis. 191.

Donnelly, T. W. (1966). Geology of St. Thomas and St. John, U.S. Virgin Islands. *Geological Society of America memoir*, 98, 85-176.

Drever, J. I. (Ed.). (1997). *The geochemistry of natural waters* (Third edition ed.): Prentice Hall.

Folk, R. L. (Ed.). (1980). *Petrology Sedimentary Rocks* (2nd ed.). Austin, Texas, U.S.A: Hemphill.

Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). Brazos river bar: a study of significant of grain size parameters. *Journal of Sedimentology Petrology*, 27, 3-26.

Förstner, U., Calmano, W., Condradt, K., Jaksch, H., Schimkus, C., & Schoer, J. (1981). *Chemical speciation of heavy metals in solid waste materials (sewage sludge, mining wastes, dredged materials, polluted sediments) by sequential extraction*. Paper presented at the International Conference on Heavy Metals in the Environment.

Förstner, U., & Kersten, U. (1988). Sediment–water interactions: chemical mobilisation.

Förstner, U., & Solomon, W. (1980). Trace metal analysis on polluted sediments. *Environ. Technol. Lett.*, 1, 494-505.

Friedman, G. M. (1962). On sorting, sorting coefficients, and the lognormality of the grain-size distribution of sandstones. *Journal Geology*, 70, 737-756.

Gardner, T. A., Cote, I. M., Gill, J. A., Grant, A., & Watkinson, A. R. (2003). Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science*, 301, 958-960.

Gudiño, E. N. (2012). Erosión e interperismo en las cuencas Coral Bay y Lameshur, Isla Saint John de Islas Vírgenes, *EUA.*, Centro de Investigación Científica de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, B.C.

Hans, K. W. (1995). Ingerson Lecture The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica*, 59(7), 1217-1232.

Hedges, J. I., Hartnett, H. E., Keil, R. G., & Devol, A. H. (1998). Influence of oxygen exposure time on organic carbon preservation in continental margin sediments. *Nature*, 391, 572–574.

Hirner, A. V. (1992). Trace element speciation in soils and sediments using sequential chemical extraction methods. *Inern. J. Environ. Anal. Chem*, 46, 77-85.

Horowitz, A. J. (Ed.). (1991). *A primer on sediments-trace element chemistry* (2nd ed.). Chelsea, Michigan: Lewis.

Hursthouse, A. S. (2001). The relevance of speciation in the remediation of soils and sediments contaminated by metallic elements—an overview with specific examples from central Scotland. *Journal of Environmental Monitoring*, 3, 49-60.

Ingersoll, C., D. MacDonald, N. Wang, J. Crane, L. Field, P. Haverland, et al. (2000). Prediction of sediment toxicity using consensus-based freshwater sediment quality guidelines. *Prepared by U.S. Geological Survey for U.S. Environmental Protection Agency Great Lakes National Program Office (GLNPO).* , EPA 905/R-00/007. Tomados de <http://www.cerc.usgs.gov/pubs/center/pdfDocs/91126.pdf>

Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J*, 61, 4-10.

Kerstner, M., & Förstner, U. (1989). Speciation of trace elements in sediments.

Koljonen, T. (1992). *Geochemical Atlas of Finland* (pp. 218). Finland.

Lindsay, W. L., Mortvedt, J. J., & Giordano, P. M. (Eds.). (1972). *Micronutrients in agriculture*. Madison, WI: Soil Sci Soc Am Inc.

Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulhues, L. H. (Eds.). (1949). *Applied Hidrology*. Tokyo.

Ma, L., & Rao, G. N. (1997). Chemical fractionation of Cd, Cu, Ni and Zn in contaminated soils. *Journal of Environmental Quality* 26, 259-264.

MacGrath, S. P., & Loveland, P. J. (Eds.). (1992). *The Soil Geochemical Atlas of England and Wales*, Blackie Academic and Professional. London.

Macklin, M. G. (1992). Metal pollution of soils and sediments: a geographical perspective.

Mayer, L. M. (1994). Relationships between mineral surfaces and organic carbon concentrations in soils and sediments. *Chem. Geol.*, 114, 347–363.

Mester, Z., Criemisini, C., Ghiara, E., & Morabito, R. (1998). Comparison of 2 sequential extraction procedures for metal fractionation in sediment samples. *Analytica Chimica*, 359, 133– 142.

Nemeth, R. S., & Nowlis, J. S. (2001). Monitoring the effects of land development on the near-shore reef environment of St. Thomas, USVI. *Bulletin of Marine Science*, 69, 759-775.

Nirel, P. M. V., & Morel, F. M. M. (1990). Pitfalls of sequential extractions. *Water Research*, 24, 1055– 1056.

Nölte, J. (Ed.). (2003). *ICP Emission Spectrometry: a practical guide*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH.

Puchelt, H. (Ed.). (1972). *Handbook of Geochemistry II*. Springer.

Ramos, C. E., & MacDonald, L. H. (1998). In Press. Runoff and suspended sediment yields from an unpaved road segment, St. John, U.S. Virgin Islands. *Hydrological Proceses*.

Ramos, P. C., Gines, S. C., & McDowell, W. H. (1989). Influence of Bedrock Geochemistry on the Heavy Metal content of Stream Water, Marine Water, Marine Sediments and Organisms in St. John, USVI *Caribbean Journal of Science*, 25, 218-227.

- Rankin, D. W. (Ed.). (2002). *Geology of St. John, U.S. Virgin Islands*. U.S. Geological Survey Professional Paper. Denver, CO: Eastern Region, Reston Va.
- Rantala, R. T. T., & Loring, D. H. (1985). Partition and determination of cadmium, copper, lead and zinc in marine suspended particulate matter. *Intern. J. Environ. Anal. Chem*, *19*, 165-173.
- Rapin, F., Tessier, A., Cambell, G. C., & Cargnan, R. (1986). Potential artifacts in the determination of metal partitioning in sediments by a sequential extraction procedure. *Environ. Sci. Technol.*, *20*, 836-840.
- Reilly, A. E. (1991). The effects of Hurricane Hugo in three tropical forests in the U.S. Virgin Islands. *Biotropicana*, *23*, 414-419.
- Reimann, C., & De Caritat, P. (Eds.). (1998). *Chemical Elements in the Environment. Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist*: Springer.
- Rogers, C. M. (1979). The effects of shading on coral-reef structure and function. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *41*, 269-288.
- Rogers, C. S., & Teytaud, R. (1988). Marine and terrestrial ecosystems of the Virgin Islands National park and Biosphere Reserve. Unpublished Biosphere Reserve Report. Virgin Islands Resource management Cooperative.
- Salomon, W., & Förstner, U. (Eds.). (1984). *Metal in the hydrocycle*. Berlin: Springer.
- Shaw, D. M., Reilly, G. A., Muysson, J. R., Pattenden, G. E., & Campbell, F. E. (1967). The chemical composition of the Canadian Precambrian Shield. *Canadian J. Earth Sci*, *4*, 829-854.
- Shepard, F. P. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Sedimentology Petrology*, *24*, 151-158.
- Stein, R. (Ed.). (1991). *Accumulation of organic carbon in marine sediments*. Berlin: Springer.

Thalman, F., Scherman, O., Schroll, E., & Hausberger, G. (Eds.). (1988). *Geochemischer Atlas der Republik Oesterreich. Boehmische Masse und Zentralzone der Ostalpen-Bachsedimente*. Viena, Geologische Bundesanstalt.

Tucker, R. E., Alminas, H. V., & R.T., H. (1985). *Geochemical evidence for metallization on St. Thomas and St. John, U.S. Virgin Islands*: U.S. Geological Survey.

Vázquez, G. I. (2007). *Estudio geoquímico de suelos y aguas como base para evaluar la contaminación. Relación Roca-Suelo-Agua*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

Villaescusa, C. J. A. (1996). *Metales y coprostanol en sedimentos costeros como indicadores de contaminación por aguas residuales en la región fronteriza de Baja California, México-California, E.U.A.* UABC, IIO, Ensenada B.C.

Wedepohl, K. H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochim et Cosmochimica*, 59, 1217-1232.

Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Geology*, 30, 377-392.

Woodbury, R. O., & Weaver, P. L. (1987). *The Vegetation of St. John and Hassellsland, U.S. Virgin Islands, US National Park Service*, Virgin Islands, US National Park Service, Research and Resources Management Report.

<http://www.epa.gov/reg3hscd/risk/eco/btag/sbv/fw/screenbench.htm>

Apéndice A

Tablas de parámetros texturales

Tabla XIV. Contenido en porcentaje del tamaño del sedimento de St. John 2010.

Muestra (I.D)	> 1000 µm	< 1000 µm	Cuencas	Muestra (I.D)	> 1000 µm	< 1000 µm	Cuencas
WS-L2-19 (14)	80	20	Little Lameshur	WS-L1-15 (34)	50	50	Great Lameshur
WS-L2-23 (23)	69	31	Little Lameshur	WS-L1-12 (33)	56	44	Great Lameshur
WS-L2-26 (26)	54	46	Little Lameshur	WS-L1-4 (30)	59	41	Great Lameshur
WS-L2-29 (24)	83	17	Little Lameshur	WS-L1-5 (22)	67	33	Great Lameshur
WS-L1-17 (32)	64	36	Little Lameshur	WS-L1-16 (36)	33	67	Great Lameshur
WS-L1-2 (17)	92	8	Little Lameshur	WS-CB-37 (15)	44	56	Coral Bay
WG-L2-7 (3)	71	29	Little Lameshur	WS-CB-34 (5)	41	59	Coral Bay
WG-L2-20 (18)	69	31	Little Lameshur	WS-CB-31 (10)	73	27	Coral Bay
WG-L2-6 (6)	56	44	Little Lameshur	WS-CB-43 (11)	42	58	Coral Bay
WG-L2-24 (12)	65	35	Little Lameshur	WG-CB-38 (21)	60	40	Coral Bay
WG-L2-27 (16)	80	20	Little Lameshur	WG-CB-35 (13)	73	27	Coral Bay
WG-L2-8 (9)	41	59	Little Lameshur	WG-CB-32 (20)	83	17	Coral Bay
WG-L2-30 (25)	68	32	Little Lameshur	WG-CB-44 (8)	43	57	Coral Bay
WG-L2-10 (2)	86	14	Little Lameshur	WS-CB-39 (29)	63	38	Coral Bay
WG-L2-1 (4)	68	32	Little Lameshur	WS-CB-41 (7)	41	59	Coral Bay
WG-L2-9 (1)	24	76	Little Lameshur	WG-CB-40 (28)	63	37	Coral Bay
WS-L1-13 (35)	67	33	Great Lameshur	WMG-HH-46 (27)	59	41	Manglar
WS-L1-14 (19)	50	50	Great Lameshur	WWG-HH-45 (31)	71	29	Manglar

Tabla XV. Contenido porcentual y de tamaño en sedimento arrojados por el Horiba LA-910, en mm y phi de St. John 2010.

Muestra (I.D)	Contenido Porcentual (µm)			Tamaño (mm)			Tamaño Φ			Cuencas
	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	
WS-L2-19 (14)	45.2	49	5.80	0.045	0.049	0.006	4.47	4.35	7.43	Little Lameshur
WS-L2-23 (23)	34.2	63.5	2.30	0.034	0.064	0.002	4.87	3.98	8.76	Little Lameshur
WS-L2-26 (26)	28.7	65.8	5.50	0.029	0.066	0.006	5.12	3.93	7.51	Little Lameshur
WS-L2-29 (24)	77.1	22.3	0.60	0.077	0.022	0.001	3.70	5.49	10.7	Little Lameshur
WS-L1-17(32)	68.9	28.6	2.50	0.069	0.029	0.003	3.86	5.13	8.64	Little Lameshur
WS-L2-2 (17)	51.1	44.1	4.80	0.051	0.044	0.005	4.29	4.50	7.70	Little Lameshur
WG-L2-7 (3)	14.7	76.9	8.40	0.015	0.077	0.008	6.09	3.70	6.90	Little Lameshur
WG-L2-20 (18)	47.0	44.5	8.50	0.047	0.045	0.009	4.41	4.49	6.88	Little Lameshur

Continuación (Tabla XV)

Tabla XVI. Contenido porcentual y de tamaño en sedimento arrojados por el Horiba LA-910, en mm y phi de St. John 2010.

Muestra (I.D)	Contenido Porcentual (μm)			Tamaño (mm)			Tamaño Φ			Cuencas
	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	
WG-L2-6 (6)	44.4	49.3	6.30	0.044	0.049	0.006	4.49	4.34	7.31	Little Lameshur
WG-L2-24 (12)	32.7	64.1	3.20	0.033	0.064	0.003	4.93	3.96	8.29	Little Lameshur
WG-L2-27 (16)	40.4	54.1	5.50	0.040	0.054	0.006	4.63	4.21	7.51	Little Lameshur
WG-L2-8 (9)	19.2	70.6	10.2	0.019	0.071	0.010	5.70	3.82	6.62	Little Lameshur
WG-L2-30 (25)	79.0	13.5	7.50	0.079	0.014	0.008	3.66	6.21	7.06	Little Lameshur
WG-L2-10 (2)	35.8	58.1	6.10	0.036	0.058	0.006	4.80	4.11	7.36	Little Lameshur
WG-L2-1 (4)	69.8	25.6	4.60	0.070	0.026	0.005	3.84	5.29	7.76	Little Lameshur
WG-L2-9 (1)	54.0	43.5	2.50	0.054	0.044	0.003	4.21	4.52	8.64	Little Lameshur
WS-L1-13 (35)	83.4	16.6	0.00	0.083	0.017	0.000	3.58	5.91	0.00	Great Lameshur
WS-L1-14 (19)	28.8	65.3	5.90	0.029	0.065	0.006	5.12	3.94	7.41	Great Lameshur
WS-L1-15 (34)	84.2	15.2	0.60	0.084	0.015	0.001	3.57	6.04	10.7	Great Lameshur
WS-L1-12 (33)	84.1	14.6	1.30	0.084	0.015	0.001	3.57	6.10	9.59	Great Lameshur
WS-L1-4 (30)	25.0	56.1	18.9	0.025	0.056	0.019	5.32	4.16	5.73	Great Lameshur
WS-L1-5 (22)	26.4	62.5	11.1	0.026	0.063	0.011	5.24	4.00	6.49	Great Lameshur
WS-L1-16 (36)	85.9	13.6	0.50	0.086	0.014	0.001	3.54	6.20	11.0	Great Lameshur
WS-CB-38 (15)	41.1	54.9	4.00	0.041	0.055	0.004	4.60	4.19	7.97	Coral Bay
WS-CB-34 (5)	37.6	55.4	7.00	0.038	0.055	0.007	4.73	4.17	7.16	Coral Bay
WS-CB-31 (10)	29.1	65.8	5.10	0.029	0.066	0.005	5.10	3.93	7.62	Coral Bay
WS-CB-43 (11)	34.0	61.9	4.10	0.034	0.062	0.004	4.88	4.01	7.93	Coral Bay
WS-CB-32 (20)	52.7	37.5	9.80	0.053	0.038	0.010	4.25	4.74	6.67	Coral Bay
WS-CB-39 (29)	32.3	64.1	3.60	0.032	0.064	0.004	4.95	3.96	8.12	Coral Bay
WS-CB-41 (7)	28.4	64.3	7.30	0.028	0.064	0.007	5.14	3.96	7.10	Coral Bay
WG-CB-37 (21)	29.7	56.2	14.1	0.030	0.056	0.014	5.07	4.15	6.15	Coral Bay
WG-CB-35 (13)	57.2	32	10.8	0.057	0.032	0.011	4.13	4.97	6.53	Coral Bay
WG-CB-44 (8)	26.3	67.3	6.40	0.026	0.067	0.006	5.25	3.89	7.29	Coral Bay
WG-CB-40 (28)	50.0	30.8	19.2	0.050	0.031	0.019	4.32	5.02	5.70	Coral Bay
WMG-HH-45 (31)	39.0	58.7	2.30	0.039	0.059	0.002	4.68	4.09	8.76	Manglar
WMG-HH-46 (27)	29.0	70.3	0.70	0.029	0.070	0.001	5.11	3.83	10.5	Manglar

Tabla XVII. Contenido del porcentaje de grano arrojados por el Horiba LA-910 de suelo y sedimento de las cuencas en St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.

Cuencas	Arenas	Limos	Arcillas
Little	70	29	1
Great	75	24	1
Coral	66	33	1
Manglar	70	29	1
Total	70	29	1

Tabla XVIII. Contenido del tamaño de grano promedio (Media Mz) (Wentworth, 1922), en las diferentes muestras de suelo y sedimento de las cuencas en St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.

Cuencas	Arena (%)				Limo (%)			
	Gruesa	Medio	Fina	Muy Fina	Grueso	Medio	Fina	Muy Fina
Little	6	N.P	19	44	6	25	N.P	N.P
Great	N.P	57	N.P	N.P	N.P	14	29	N.P
Coral	N.P	11	N.P	44	44	N.P	N.P	N.P
Manglar	N.P	N.P	N.P	100	N.P	N.P	N.P	N.P

Tabla XIX. Distribución de los límites para los valores del Grado de Selección (Std), (Folk & Ward, 1957), para las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.

Cuencas	Muy Pobremente Seleccionado	Pobremente Seleccionado	Moderadamente Seleccionado
Little	56	44	N.P
Great	14	86	N.P
Coral	67	33	N.P
Manglar	N.P	50	50

Tabla XX. Valores de Kurtosis (Kg), (Folk, 1980; Friedman, 1962), la cual es una medida de cuan picuda es una curva de distribución y mide la concentración de la muestra alrededor del valor central; para las cuencas de St. John, Islas Vírgenes EE.UU.A.

Cuencas	Mesocúrtica	Platicúrtica	Leptocúrtica	Muy Leptocúrtica
Little	13	56	19	13
Great	14	43	43	N.P
Coral	N.P	100	N.P	N.P
Manglar	N.P	N.P	N.P	100

Apéndice B

Tablas de concentraciones (%) de carbono total, orgánico e inorgánico

Tabla XXI. Concentración (%) de C_T , $C_{Org.}$ y $C_{Inorg.}$ en sedimento de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

Muestra (I.D)	C_T	$C_{Org.}$	$C_{Inorg.}$	Cuencas
WS-L2-19 (14)	5.16	3.57	1.59	Little Lameshur
WS-L2-23 (23)	5.93	5.45	0.48	Little Lameshur
WS-L2-26 (26)	4.72	3.64	1.08	Little Lameshur
WS-L2-29 (24)	11.3	---	---	Little Lameshur
WS-L1-17(32)	14.5	10.7	3.77	Little Lameshur
WS-L2-2 (17)	6.31	4.98	1.32	Little Lameshur
WG-L2-7 (3)	4.15	2.96	1.19	Little Lameshur
WG-L2-20 (18)	0.99	0.54	0.45	Little Lameshur
WG-L2-6 (6)	2.90	2.16	0.73	Little Lameshur
WG-L2-24 (12)	2.26	1.79	0.47	Little Lameshur
WG-L2-27 (16)	1.14	1.01	0.13	Little Lameshur
WG-L2-8 (9)	2.27	1.66	0.61	Little Lameshur
WG-L2-30 (25)	9.58	---	---	Little Lameshur
WG-L2-10 (2)	2.32	1.67	0.66	Little Lameshur
WG-L2-1 (4)	0.46	0.11	0.36	Little Lameshur
WG-L2-9 (1)	11.2	---	---	Little Lameshur
WS-L1-13 (35)	30.3	22.8	7.43	Great Lameshur
WS-L1-14 (19)	5.00	4.11	0.89	Great Lameshur
WS-L1-15 (34)	28.7	24.7	3.98	Great Lameshur

Continuación (Tabla XX)

Tabla XXII. Concentración (%) de C_T , $C_{Org.}$ y $C_{Inorg.}$ en sedimento de St. John Islas Vírgenes EE.UU.A.

Muestra (I.D)	C_T	$C_{Org.}$	$C_{Inorg.}$	Cuencas
WS-L1-12 (33)	26.0	17.6	8.48	Great Lameshur
WS-L1-4 (30)	1.86	1.13	0.69	Great Lameshur
WS-L1-5 (22)	2.34	1.06	1.28	Great Lameshur
WS-L1-16 (36)	28.2	26.8	1.42	Great Lameshur
WS-CB-38 (15)	2.49	2.04	0.45	Coral Bay
WS-CB-34 (5)	1.73	0.96	0.77	Coral Bay
WS-CB-31 (10)	2.23	1.37	0.86	Coral Bay
WS-CB-43 (11)	6.93	4.74	2.19	Coral Bay
WG-CB-37 (21)	2.69	1.86	0.83	Coral Bay
WG-CB-35 (13)	0.20	0.18	0.02	Coral Bay
WS-CB-32 (20)	0.32	0.28	0.04	Coral Bay
WG-CB-44 (8)	3.28	1.13	2.16	Coral Bay
WS-CB-39 (29)	2.84	2.27	0.57	Coral Bay
WS-CB-41 (7)	1.67	1.12	0.55	Coral Bay
WG-CB-40 (28)	0.58	0.38	0.20	Coral Bay
WMG-HH-46 (27)	3.83	3.67	0.15	Manglar
WMG-HH-45 (31)	0.59	0.25	0.34	Manglar

Apéndice C

Tablas de concentraciones (ppm) de cationes en muestra de suelo y sedimento

Tabla XXIII. Concentración (ppm) de los elementos traza, y (extracción parcial 5%) de elementos mayores, de cationes en suelo y sedimento en la Isla de St. John 2010.

I.D.	Muestra	Elementos Traza (ppm)				Elementos Mayores (%)			Cuencas
		Sr	Ba	Zn	V	Fe	Mg	Ca	
14	WS-L2-19	28.7	24.0	18.8	<0.001	0.50	0.41	0.36	Little Lameshur
23	WS-L2-23	47.7	42.8	23.9	<0.001	0.37	0.24	0.62	Little Lameshur
26	WS-L2-26	52.6	47.5	21.6	<0.001	0.35	0.26	0.49	Little Lameshur
24	WS-L2-29	3164	9.15	3.72	<0.001	0.08	0.54	31.7	Little Lameshur
32	WS-L1-17	74.6	23.3	33.6	<0.001	0.42	0.43	1.51	Little Lameshur
17	WS-L1-2	53.9	16.9	56.9	<0.001	0.60	0.46	0.73	Little Lameshur
3	WG(D)-L2	23.5	35.7	21.7	<0.001	0.53	0.32	0.36	Little Lameshur
18	WG-L2-20	8.99	23.2	14.7	<0.001	0.29	0.12	0.01	Little Lameshur
6	WG-L2-6	24.8	26.2	15.5	<0.001	0.35	0.29	0.18	Little Lameshur
12	WG-L2-24	16.5	35.6	17.8	<0.001	0.43	0.19	0.16	Little Lameshur
16	WG-L2-27	11.2	34.6	17.0	<0.001	0.41	0.19	0.08	Little Lameshur
9	WG-L2-8	15.7	33.7	18.0	<0.001	0.43	0.23	0.14	Little Lameshur
25	WG-L2-30	3200	11.0	5.41	<0.001	0.11	0.54	30.0	Little Lameshur
2	WG-L2-10	27.2	53.7	30.8	<0.001	0.67	0.28	0.25	Little Lameshur
4	WG-L2-1	40.9	16.1	17.0	<0.001	0.53	0.34	0.34	Little Lameshur
1	WG(D)-L2-9	2766	11.9	9.88	<0.001	0.09	0.25	29.5	Little Lameshur
35	WS-L1-13	990	129	37.3	<0.001	0.12	0.46	6.1	Great Lamehsur
19	WS-L1-14	51.8	51.3	21.7	<0.001	0.38	0.24	0.46	Great Lamehsur
34	WS-L1-15	204	105	42.0	<0.001	0.13	0.45	2.23	Great Lamehsur
33	WS-L1-12	129	339	21.5	<0.001	0.26	0.52	1.13	Great Lamehsur

Continuación (Tabla XIX)

Tabla XXIV. Concentración (ppm) de los elementos traza, y (extracción parcial 5%) de elementos mayores, de Cationes en suelo y sedimento en la Isla de St. John 2010.

I.D.	Muestra	Elementos Traza (ppm)				Elementos Mayores (%)			Cuencas
		Sr	Ba	Zn	V	Fe	Mg	Ca	
30	WS-L1-4	11.3	41.5	22.3	<0.001	0.49	0.37	0.02	Great Lamehsur
36	WS-L1-16	182	233	135	<0.001	0.08	0.29	1.61	Great Lamehsur
15	WS-CB-37	17.4	76.8	51.6	<0.001	0.38	0.28	0.21	Coral Bay
5	WS-CB-34	16.0	35.9	58.5	<0.001	0.31	0.20	0.23	Coral Bay
10	WS-CB-31	167	33.4	52.9	<0.001	0.34	0.22	1.49	Coral Bay
29	WS-CB-39	23.3	73.0	23.8	<0.001	0.23	0.10	0.18	Coral Bay
7	WS-CB-41	10.9	62.3	19.8	<0.001	0.26	0.12	0.38	Coral Bay
11	WS-CB-43	123	130	49.3	<0.001	0.30	0.19	1.13	Coral Bay
21	WG-CB-38	23.4	67.2	45.4	<0.001	0.38	0.29	0.25	Coral Bay
13	WG-CB-35	27.9	33.3	31.2	<0.001	0.38	0.27	0.40	Coral Bay
20	WG-CB-32	21.7	31.9	30.8	<0.001	0.37	0.25	0.31	Coral Bay
8	WG-CB-44A	350	58.8	30.1	<0.001	0.43	0.26	3.19	Coral Bay
28	WG-CB-40	44.6	25.3	17.2	<0.001	0.32	0.14	0.12	Coral Bay
31	WWG-HH-45	59.3	36.9	21.2	<0.001	0.22	0.21	0.84	Manglar
27	WVG-HH-46	30.4	9.42	12.2	<0.001	0.23	0.22	0.18	Manglar

Apéndice D

Tablas de concentraciones (ppm) de cationes en muestra de agua

Tabla XXV. Concentración (ppm) de elementos traza y mayores disueltos, en muestras de agua, St. John Islas Vírgenes, 2010.

I.D.	Muestras	Elementos traza				Elementos mayores			
		Sr	Ni	Cu	Ba	Fe	K	Mg	Ca
17-18	SW-L2-25 (A)	0.071	<0.050	<0.031	0.014	0.091	6.13	9.78	8.00
15	SW-L2-22 A	0.181	<0.050	0.069	0.018	0.096	9.24	7.68	7.51
16	SW-L2-22 (A)	0.106	<0.050	0.080	0.021	0.098	9.48	10.78	12.61
2	SW-EN-2 A	0.090	<0.050	0.031	0.009	0.149	6.95	13.6	13.6
21-22	SW-L2-28 A	1.72	0.137	0.457	0.023	0.049	163	236	128
3	SW-EN-3 A	0.094	0.064	0.108	0.009	0.204	6.96	14.2	14.2
1	SW-EN-1 A	0.060	0.054	0.032	0.009	0.267	5.12	8.53	8.53
10	SW-EN-1 A	0.088	<0.050	<0.031	<0.010	0.151	7.76	12.2	12.2
11	SW-EN-2 A	0.035	<0.050	<0.031	0.013	0.143	2.86	4.66	3.91
7	SW-EN-6 A	0.036	<0.050	<0.031	0.016	0.124	4.25	4.77	4.22
4	SW-EN-4 A	0.033	<0.050	<0.031	0.015	0.225	5.28	4.88	4.31
12	SW-EN-3 A	0.034	<0.050	0.072	0.013	0.181	2.36	5.06	3.87
20	WW-CB-36 (A)	0.326	<0.050	0.181	0.044	<0.015	126	54.6	46.9
24	WW-CB-33 (A) B	0.316	0.052	0.127	0.043	<0.015	115	49.9	46.5

Tabla XXVI. Concentración total (ppm) en elementos traza y mayores, en muestras de agua en la Isla de St. John 2010, donde N.C es valor no medido.

I.D.	Muestras	Elementos traza				Elementos mayores			
		Sr	Ni	Cu	Ba	Fe	K	Mg	Ca
19	WW-CB-36 (A)	0.314	<0.050	0.126	0.044	0.033	122	53.85	47.00
23	WW-CB-33 (A) A	0.315	<0.050	0.125	0.044	0.032	114	49.87	47.47
25	WW-CB-42 (A) A	0.457	<0.050	0.142	0.094	<0.015	107	45.52	N.M

Apéndice E

Tablas de valores de toxicidad en sedimento y agua

Tabla XXVII. Tabla de valores de toxicidad en sedimento (mg/kg peso seco) y agua ($\mu\text{g/L}$) tomados por sus siglas en Inglés de U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Donde b son elementos bioacumulables.

EPA	Ba	Ca	Cd	Co	Cu	Fe	K	Mg	Ni	Sr	V	Zn
Agua	4	116000	0.25 ^b	23	9 ^b	300	53000	82000	52 ^b	1500	20	120 ^b
Sedimento	--	--	3.00	--	86	--	--	--	61	--	--	540