



# Universidad Nacional Autónoma de México

## Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Evaluación Ambiental de la Porción Norte del SAV y  
Zona Marítima Adyacente de la Plataforma Continental  
Somera del Estado de Veracruz, México.

# TESIS

Que para optar por el grado académico de

Doctor en Ciencias

Presenta

M. en C. Omar Celis Hernández

Directora de tesis:

Dra. Leticia Rosales Hoz

(Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM)

Jurado:

Dra. María Aurora Armienta Hernández

(Instituto de Geofísica, UNAM)

Dr. Jesús Gracia Mora

(Facultad de Química, UNAM)

Dr. Alejandro Granados Barba

(Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, UV)

Dr. John S. Armstrong Altrín

(Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM)

México D.F, Octubre de 2014





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Agradecimientos:

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme una educación integral desde el bachillerato hasta el doctorado.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología CONACYT, por el apoyo económico recibido, para la realización de mis estudios de doctorado.

A la Dra. Leticia Rosales Hoz, por brindarme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo y ser parte importante en mi trayecto de formación para llegar a ser un investigador en el área de las Ciencias del Mar y Limnología; Agradezco también su amistad, consejos y apoyo brindadas a un servidor tanto en lo profesional como en lo personal durante toda mi estancia en el Laboratorio de Química Acuática.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por las facilidades otorgadas para la realización del muestreo en la zona del sistema Arrecifal Veracruzano y por el uso de sus instalaciones para la realización de los análisis y escritura de tesis.

A DGAPA por el apoyo económico brindado a través del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica PAPIIT No. IN- 108808, del cual se desprende esta tesis.

A la Q.F.B Susana Santiago Pérez, por su apoyo técnico en la realización de los análisis químicos, además de brindarme su amistad.

Al Dr. Arturo Carranza Edwards, al M.C. Eduardo Morales de La Garza, por el apoyo para la realización de los análisis texturales y a las asesorías brindadas en lo referente a la parte geológica.

Al M en C. Rufino Lozano Santa Cruz y a la M en C. Patricia Girón, por los análisis de elementos mayores realizados en el laboratorio de Fluorescencia de Rayos X perteneciente al Instituto de Geología de la UNAM.

A la M en C. Elena Lounejeva por la realización de los análisis de metales traza realizado en el laboratorio de análisis instrumental de ICPMS del Instituto de Geología de la UNAM.

Al Dr. Andrew Cundy por los análisis de datación realizados en el laboratorio de Geoquímica "the school of Environmental and Technology, University of Brighton" Reino Unido.

Al Posgrado en Ciencias del Mar por el apoyo otorgado en la compra de boletos de avión para realizar una estancia de tres meses en la universidad de Brighton Inglaterra.





A los integrantes de la coordinación del posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Dra. Gloria Vilaclara Fatjó, M en C. Diana Juárez Bustos, Maestra Chantal G. Ruiz Guerrero y Licenciadas Guadalupe Godoy Medina, y Gabriela Almaraz Mejía, por el apoyo recibido para ayudar a facilitar la realización de trámites y entrega de documentos para inscripciones, tramites de revisión de estudios, etc, como también por su amistad durante mi estancia en la maestría y doctorado.

Al Buque Oceanográfico Justo Sierra y a su tripulación, por las facilidades otorgadas para la colecta de muestras, sin las cuales no hubiera podido ser posible la realización de este proyecto.





### *Dedicatorias*

*A mis padres Héctor Manuel Celis Guzmán y Nora Hortensia Hernández Zúñiga, por todo el cariño, comprensión, paciencia y apoyo incondicional recibido en lo que llevo de vida, sin el cual no podría estar llegando hasta donde estoy ahora.*

*A mis hermanos Nora y Aarón, por estar en las buenas y en las malas cuando hemos necesitado estar unidos para salir adelante y ojala también esta tesis les inspire a seguir persiguiendo sus sueños.*

*A mis amigos Tom, Jorge (Galon), Delia, Alejandro, Jorge Cruz que han estado en todo momento conmigo, sin importar el paso del tiempo.*

*A todos los integrantes del Laboratorio de Química Acuática donde he pasado muchas horas trabajando: Susana, Sra. Bertha, Paola y Francisco siempre tendrán un amigo en mi persona.*

*No tengo más palabras, pero sepan que este triunfo no es solo mío, sino de muchas personas que han estado conmigo en algún momento de mi vida y que me han enseñado algo.*

*Por Mi Raza Hablara el Espíritu  
UNAM*

*Amor Orden y Progreso  
ENP*

*La ciencia se compone de errores, que a su vez son los pasos hacia la verdad.  
Julio Verne (1828-1905) escritor francés.*

*Para mí todos los días son vacaciones, porque me gusta lo que hago.  
Yo (1979- ¿?)*





## Índice general

## Página

### Capítulo I

1.1 Introducción_____	23
1.2 Objetivo general_____	25
1.3 Objetivos particulares_____	25

### Capítulo II

2.1 Antecedentes_____	27
2.2 Problemática ambiental que sufren las zonas costeras_____	27
2.3 Tipos de contaminantes arrojados al ambiente y sus efectos en los ecosistemas_____	29
2.4 Metales y su interacción con el ambiente y los organismos vivos____	31
2.5 Variables bióticas que influyen y/o regulan la transferencia de metales en tramas de ambiente marino_____	34
2.6 Principales mecanismos involucrados en la incorporación y/o eliminación de metales pesados en organismos acuáticos_____	36
2.7 Matrices ambientales donde se puede analizar metales traza____	36
2.8 Mecanismos mediante los cuales ocurre la fijación de contaminantes en los sedimentos y los diferentes mecanismos de separación de contaminantes en estos_____	37
2.9 Indicadores o referencias que se pueden usar para determinar si la concentración de metales en los sedimentos es normal o están contaminados_____	39
2.10 Reconstrucción histórica de contaminación ambiental a través de los años usando isótopos como el $Pb^{210}$ _____	42
2.11 Trabajos hechos a nivel mundial utilizando a los sedimentos como indicadores de calidad ambiental_____	43
2.12 Planteamiento del problema_____	45





## Índice general

### Capítulo III

## Página

3.1 Metodología_____	51
3.2 Trabajo de campo_____	51
3.3 Trabajo de laboratorio_____	52
3.4 Determinación de carbono orgánico en sedimento_____	53
3.5 Determinación del contenido de carbonatos en sedimento por titulación_____	55
3.6 Análisis de elementos mayores por fluorescencia de rayos X__	57
3.7 Procedimiento de preparación de muestras para la determinación de elementos mayores reportado por el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) en el Instituto de Geología de la UNAM_____	57
3.8 Análisis de metales y tierras raras en sedimento superficial por ICP (MS)_____	58
3.9 Procedimiento reportado por el laboratorio de ICPMS del Instituto de Geología UNAM_____	58
3.10 Análisis de isótopos de Pb <sup>210</sup> y Cs <sup>137</sup> usando espectrometría gamma_____	59
3.11 Procedimiento de preparación de muestras para la determinación de isótopos de Pb <sup>210</sup> y Cs <sup>137</sup> hecho en el laboratorio de Geoquímica "the school of Environmental and Technology, University of Brighton" Reino Unido_____	59
3.12 Análisis de elementos traza por EAA (Espectroscopia de absorción atómica)_____	60
3.13 Proceso de lavado del material- vidrio y plástico- para: Absorción atómica de flama_____	60
3.14 Extracción de metales en sedimento para absorción atómica_	61
3.15 Extracción de metales para análisis de fraccionamiento geoquímico en sedimento. (Usando el método de Tessier, modificado)___	62





## Índice general

## Página

3.16 Estandarización de los métodos analíticos_____	66
3.17 Análisis granulométrico_____	67
3.18 Procedimiento reportado por el Laboratorio de Geología Marina del ICMYL_____	67
3.19 Cálculo de los distintos índices de calidad del sedimento (Factor de enriquecimiento, índice de geoacumulación, grado de contaminación y grado de contaminación modificado)_____	68
3.20 Tratamiento estadístico de la información_____	69
<b>Capítulo IV</b>	
4.1 Área de Estudio_____	72
4.2 Cuenca del río La Antigua_____	73
4.3 Uso de suelo en la cuenca del río La Antigua_____	74
4.4 Población en la cuenca del río La Antigua_____	75
4.5 Actividad industrial en la cuenca del río La Antigua_____	76
4.6 Actividad agrícola en la cuenca del río La Antigua_____	77
4.7 Actividad ganadera en la cuenca del río La Antigua_____	78
4.8 Plantas de tratamiento de aguas residuales Instaladas en la cuenca del río La Antigua_____	79
4.9 Presas instaladas en la cuenca del río La Antigua_____	79
4.10 Litología en la cuenca del río La Antigua_____	80
4.11 Tipo de clima predominante en la cuenca del río La Antigua_	81
4.12 Cuenca del río Jamapa_____	82
4.13 Uso de suelo en la cuenca del río Jamapa_____	83
4.14 Población en la cuenca del río Jamapa_____	84







## Índice general

## Página

4.15 Actividad industrial en la cuenca del río Jamapa_____	85
4.16 Actividad agrícola en la cuenca del río Jamapa_____	86
4.17 Actividad ganadera en la cuenca del río Jamapa_____	87
4.18 Plantas de tratamiento de aguas residuales instaladas en la cuenca del río Jamapa_____	88
4.19 Presas instaladas en la cuenca del río Jamapa_____	89
4.20 Litología de la cuenca del río Jamapa_____	90
4.21 Tipo de clima predominante en la cuenca del río Jamapa__	91
4.22 Comparación entre las cuencas de los ríos La Antigua y Jamapa_____	92
<b>Capítulo V</b>	
5.1 Resultados y discusión_____	94
5.2 Sedimento superficial_____	94
5.3 Textura del sedimento superficial_____	95
5.4 Composición química de los sedimentos superficiales_____	98
5.5 Carbonatos_____	98
5.6 Carbono orgánico_____	99
5.7 Análisis de elementos mayores en sedimentos superficiales__	101
5.8 Análisis de los metales traza en sedimentos superficiales_____	102
5.9 Comparación de la concentración de algunos de los metales traza en sedimentos superficiales analizados en otras regiones del Golfo de México_____	103
5.10 Análisis de clúster_____	105
5.11 Análisis de factores_____	107





## Índice general

## Página

5.12 Fraccionamiento geoquímico_____	110
5.13 Índices de calidad del sedimento_____	113
5.14 Factor de enriquecimiento_____	113
5.15 Comparación del Factor de enriquecimiento de las áreas estudiadas con otros sitios a nivel mundial_____	116
5.16 El grado de contaminación ( $C_d$ )_____	118
5.17 Índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ )_____	119
5.18 Índices de calidad del sedimento (SQGs)_____	120
5.19 Comparación entre los índices de calidad de sedimentos____	122
5.20 Núcleos de sedimento_____	124
5.21 Zona costera adyacente a la desembocadura del río Jamapa	124
5.22 Zona costera adyacente a la desembocadura del río La Antigua_____	124
5.23 Análisis textural en núcleos de sedimento_____	125
5.24 Análisis de la composición química en los núcleos de sedimento_____	130
5.25 Carbonatos en los núcleos de sedimento_____	130
5.26 Carbono orgánico en los núcleos de sedimento_____	132
5.27 Elementos mayores en los núcleos de sedimento_____	134
5.28 Metales traza en los núcleos de sedimento_____	138
5.29 Análisis de clúster en los perfiles de los núcleos de sedimento	143
5.30 Análisis de factores en los perfiles de los núcleos de sedimento	144
5.31 Factor de enriquecimiento en los perfiles de los núcleos de sedimento_____	146





<b>Índice general</b>	<b>Página</b>
5.32 El grado de contaminación modificado ( $mC_d$ ) en los perfiles de los núcleos de sedimento_____	151
5.33 Índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ ) en los núcleos de sedimento_____	152
5.34 Índices de calidad del sedimento (SQGs) en los núcleos de sedimento_____	157
5.35 Comparación entre los índices de calidad en los núcleos	158
5.36 Datación de los núcleos con $Pb^{210}$ y $Cs^{137}$ _____	160
5.37 Reconstrucción histórica de todas las variables en los núcleos J25 y J29_____	164
5.38 Reconstrucción histórica de todas las variables en los núcleos A15 y A16_____	164
<b>Capítulo VI</b>	
Conclusiones_____	173
<b>Bibliografía</b>	177





**Índice de tablas**

**Capítulo II**

Tabla 1. Metales involucrados en los distintos procesos industriales (Modificado de Figueruelo, 2001)\_\_\_\_\_ 31

Tabla 2. a) Concentraciones promedio reportados para la corteza de algunos metales, b) Promedio de la corteza considerando el promedio de rocas basálticas + Promedio de granitos y c) Promedio de la corteza continental superior\_\_\_\_\_ 32

Tabla 3. Concentración letal de metales en organismos acuáticos en un tiempo de exposición de 96h. (Modificado de (Connen and Miller, 1984)\_\_\_\_\_ 34

Tabla 4. Niveles de metales traza en diferentes matrices ambientales (modificado de Moreno y Cervantes,1999)\_\_\_\_\_ 37

**Capítulo III**

Tabla 5. Estandarización de carbono orgánico. n=10\_\_\_\_\_ 55

Tabla 6. Estandarización de carbonatos. n=10\_\_\_\_\_ 56

Tabla 7. Exactitud para el estándar certificado AGV-1. Nota: PXC = pérdida por calcinación y t= total\_\_\_\_\_ 57

Tabla 8. Programa para digestión de sedimentos\_\_\_\_\_ 62

Tabla 9. Condiciones del espectrofotómetro de absorción atómica de flama\_\_\_\_\_ 64

Tabla 10. Condiciones del espectrofotómetro del generador de hidruros\_\_\_\_\_ 64

Tabla 11. Condiciones del equipo de absorción atómica por horno de grafito\_\_\_\_\_ 65

Tabla 12. Porcentaje de recuperación para el estándar MESS-3 66

Tabla 13. Porcentaje de recuperación para el estándar PACS-2 66

Tabla 14. Porcentaje de recuperación para el estándar PACS-2 (Concentración reportada en mg kg<sup>-1</sup>), Analizado en AAF\_\_\_\_\_ 67

Tabla 15. Formulas estadísticas\_\_\_\_\_ 69





**Índice de tablas**

**Capítulo IV**

Tabla 16. Superficie total, urbana, agrícola y ganadera de cada uno de los municipios que pertenecen a la cuenca del río La Antigua. (Modificado de INEGI, 2010)_____	74
Tabla 17. Crecimiento de la población en la cuenca del río La Antigua, INEGI, 1984, 1995, 2000 y 2012_____	75
Tabla 18. Consumo de energía eléctrica por parte de la industria y los servicios en los municipios que pertenecen a la cuenca del río La Antigua, Modificado del INEGI 1995 y 2000_____	76
Tabla 19. Superficie total sembrada en cada uno de los municipios que pertenecen a la cuenca del río La Antigua, Modificado de INEGI, 1984, 1995 y 2000 _____	77
Tabla 20. Superficie total dedicada a la ganadería en cada uno de los municipios que pertenecen a la cuenca del río La Antigua____	78
Tabla 21. Plantas de tratamiento en operación y volumen tratado en la cuenca del río La Antigua en 2011. Modificado de INEGI 2012_____	79
Tabla 22. Presas instaladas en la cuenca del río La Antigua_____	79
Tabla 23. Litología predominante en la cuenca del río La Antigua, INEGI, 1984_____	80
Tabla 24. Tipo de clima predominante en la cuenca del río Antigua según la clasificación de Peter Kropen_____	81
Tabla 25. Superficie total, urbana, agrícola y ganadera de cada uno de los municipios que pertenecen a la cuenca del río Jamapa. (Modificado de INEGI, 2012)_____	83
Tabla 26. Distribución de la población en la cuenca del río Jamapa, INEGI, 1984, 1995, 2000 Y 2012_____	84





## Índice de tablas

Tabla 27. Consumo de energía eléctrica por parte de la industria y los servicios en los municipios que pertenecen a la cuenca del río Jamapa, el valor subtotal es sin considerar el municipio de Veracruz y poderlo comparar con el consumo de los municipios que pertenecen a la cuenca del río La Antigua, Modificado del INEGI 1995_____	85
Tabla 28. Superficie total sembrada en cada uno de los municipios que pertenecen a la cuenca del río Jamapa, Modificado de INEGI, 1995 y 2000_____	86
Tabla 29. Superficie total dedicada a la ganadería en cada uno de los municipios que pertenecen a la cuenca del río Jamapa. Modificado de INEGI 1995, 2000, 2012. (Unidades en km <sup>2</sup> )_____	87
Tabla 30. Plantas de tratamiento en operación y volumen de agua tratada en la cuenca del río Jamapa en 2011. Modificado de INEGI 2012_____	88
Tabla 31. Presas instaladas en la cuenca del río Jamapa_____	89
Tabla 32. Litología predominante en la cuenca del río Jamapa, INEGI, 1984_____	90
Tabla 33. Tipo de clima predominante en la cuenca del río Jamapa según la clasificación de Peter Kropfen_____	91
<b>Capítulo V</b>	
Tabla 34. Rangos de porcentajes de texturas y elementos mayores de las tres áreas estudiadas_____	101
Tabla 35. Rangos de concentración y promedios de los metales traza en las tres áreas estudiadas_____	103
Tabla 36. Comparación de los rangos de concentración y promedios de metales traza reportados en otras regiones del Golfo de México_____	104
Tabla 37. Análisis de factores para el área de la desembocadura del río Antigua, con rotación varimax_____	107
Tabla 38. Análisis de factores para el área de la desembocadura del río Jamapa, con rotación varimax_____	108





**Índice de tablas**

Tabla 39. Análisis de factores para el área del Talud, con rotación varimax_____	108
Tabla 40. Distribución de los metales traza en las 5 fracciones geoquímicas de los sedimentos de las tres áreas de estudio_____	110
Tabla 41. Porcentajes de elementos traza en fraccionamiento geoquímico de los sedimentos de las tres áreas estudiadas_____	112
Tabla 42. Valores de referencia (mg kg <sup>-1</sup> ) para calcular el factor de enriquecimiento usando la corteza continental superior <sup>a</sup> McLennan (2001) y valores de fondo del área <sup>b</sup> Rosales L., et al. 2007, <sup>c</sup> Celis O., 2009 y <sup>d</sup> Cerón A.,2008_____	113
Tabla 43. Factores de enriquecimiento de diferentes áreas costeras_____	118
Tabla 44. Factores de contaminación (C <sub>f</sub> ) y grado de contaminación modificado (mC <sub>d</sub> ) de las tres áreas de estudio_____	118
Tabla 45. Índices de geoacumulación para las tres áreas, usando la corteza continental superior como referencia_____	119
Tabla 46. SQGs y porcentaje de incidencia de efectos (modificado de Long et. al 1995)_____	122
Tabla 47. Perfil de textura vs profundidad de los núcleos J25 y J29, las secciones de color rojo indican que están por arriba del promedio, mientras que las de color negro están por debajo del promedio_____	126
Tabla 48. Perfil de textura vs profundidad de los núcleos A15 y A16, las secciones de color rojo indican que están por arriba del promedio, mientras que las de color negro están por debajo del promedio_____	127
Tabla 49. Perfiles del % carbonatos vs profundidad en los núcleos J25, J29, A15 y A16_____	131





**Índice de tablas**

Tabla 50. Perfiles del % de carbono orgánico vs profundidad núcleos J25, J29, A15 y A16_____	133
Tabla 51. Perfil de elementos mayores vs profundidad en el núcleo J25_____	134
Tabla 52. Perfil de elementos mayores vs profundidad en el núcleo J29_____	135
Tabla 53. Perfil de elementos mayores vs profundidad en el núcleo A15_____	136
Tabla 54. Perfil de elementos mayores vs profundidad núcleo A16_	137
Tabla 55. Perfil de elementos traza vs profundidad núcleo J25_____	138
Tabla 56. Perfil de elementos traza vs profundidad núcleo J29_____	139
Tabla 57. Perfil de elementos traza vs profundidad núcleo A15_____	140
Tabla 58. Perfil de elementos traza vs profundidad núcleo A16_____	141
Tabla 59. Parámetros que diferenciaron a los núcleos del área de Jamapa y Antigua_____	143
Tabla 60. Análisis de factores para los núcleos A15, A16, J25 y J29, con rotación varimax_____	144
Tabla 61. Perfiles del F.E de cada elemento traza vs profundidad en el núcleo J25_____	147
Tabla 62. Perfiles del F.E de cada elemento traza vs profundidad en el núcleo J29_____	148
Tabla 63. Perfiles del F.E de cada elemento traza vs profundidad en el núcleo A15_____	149
Tabla 64. Perfiles del F.E de cada elemento traza vs profundidad en el núcleo A16_____	150
Tabla 65. Perfil del factor de contaminación modificado vs profundidad de los núcleos J25, J19, A15 y A16_____	151







## Índice de tablas

## Página

Tabla 66. Perfil del Igeo vs profundidad en el núcleo J25_____	153
Tabla 67. Perfil del Igeo vs profundidad del núcleo J29_____	154
Tabla 68. Perfil del Igeo vs profundidad en el núcleo A15_____	155
Tabla 69. Perfil del Igeo vs profundidad en el núcleo A16_____	156
Tabla 70 .Índices de calidad del sedimento (SQGs) y porcentaje de incidencia de efectos (modificado de Long et. al 1995) para los núcleos J25, J29, A15 y A16_____	157
Tabla 71. Perfil de textura vs profundidad de los núcleos A15 y A16, las secciones de color rojo indican que están por arriba del promedio, mientras que las de color negro están por debajo del promedio_____	165
Tabla 72. Cambios en las concentraciones de metales en los últimos 60 años visto en la columna sedimentaria del núcleo A15_____	169
Tabla 73. Cambios en las concentraciones de metales en los últimos 60 años visto en la columna sedimentaria del núcleo A16_____	170
Tabla 74. Diferencias de las concentraciones promedio de metales entre décadas, nota: el promedio de la década 10's se obtuvo de sumar los años 2008, 2005 y 2001 y la década 00's de sumar los años 1998, 1995 y 1991, y así sucesivamente, y fue un procedimiento similar para el caso del núcleo A16_____	171





## Índice de figuras

### Capítulo II

Figura 1. Diagrama del impacto de contaminantes sobre los componentes y funciones de ecosistemas naturales (Tomado de Connell D. and Miller G. 1984)	30
Figura 2. Efectos de elementos esenciales al cambiar las concentraciones	32
Figura 3. Efectos de elementos no esenciales al cambiar las concentraciones	33
Figura 4. Adsorción	38
Figura 5. Quimiosorción	38
Figura 6. Intercambio iónico	38
Figura 7 Diagrama de predominancia del Zn (Brookins D.G.,1988)	39

### Capítulo III

Figura 8. Diagrama general de los análisis hechos en sedimentos superficiales y en núcleos. Nota: en los núcleos no se realizó el análisis de fraccionamiento	52
---	----

### Capítulo IV

Figura 9. Área de estudio A) Desembocadura del río La Antigua, B) Desembocadura del río Jamapa, C) Talud Continental	72
Figura 10. Cuenca hidrológica del río La Antigua	73
Figura 11. Cuenca hidrológica del río Jamapa	82

### Capítulo V

Figura 12. Batimetría en D. R. Antigua	94
Figura 13. Batimetría en D. R. Jamapa	94
Figura 14. Batimetría en el Talud	94
Figura 15. Distribución de lodos en D. R. Antigua	96
Figura 16. Distribución de lodos en D. R. Jamapa	96





## Índice de figuras

## Página

Figura 17. Distribución de lodos en el Talud_____	96
Figura 18. Tamaño de partícula predominante en D. R. Antigua__	97
Figura 19. Tamaño de partícula predominante en D. R. Jamapa__	97
Figura 20. Tamaño de partícula predominante en el Talud_____	97
Figura 21. Distribución de carbonatos en D. R. Antigua_____	98
Figura 22. Distribución de carbonatos en D. R. Jamapa_____	98
Figura 23. Distribución de carbonatos en el Talud_____	99
Figura 24. Distribución del carbono orgánico en D. R. Antigua____	100
Figura 25. Distribución del carbono orgánico en D. R. Jamapa____	100
Figura 26. Distribución del carbono orgánico en el Talud_____	100
Figura 27. Dendograma para 30 casos por vecinos cercanos y usando 1- Pearson r_____	105
Figura 28. Diagrama de cajas del F.E D.R. Antigua (med, max, min)	115
Figura 29. Diagrama de cajas del EF D.R. Jamapa (med, max, min)	115
Figura 30. Diagrama de cajas del EF D.R. Talud (med, max, min)____	115
Figura 31. Clasificación de muestras D.R. Antigua basado en SQGs	122
Figura 32. Clasificación de muestras D.R Jamapa basado en SQGs	122
Figura 33. Clasificación de muestras Talud basado en SQGs_____	122
Figura 34. Ubicación de los núcleos J25, J29, A15 y A16_____	125
Figura 35. Textura predominante en el núcleo J25_____	129
Figura 36. Textura predominante en el núcleo J29_____	129
Figura 37. Textura predominante en el núcleo A15_____	130





## Índice de figuras

## Página

Figura 38. Textura predominante en el núcleo A16_____	130
Figura 39. Isocona de elementos traza en los núcleos J25 vs J29__	142
Figura 40. Isocona de elementos traza en los núcleos A15 vs A16_	142
Figura 41. Dendograma para 47 casos por vecinos lejanos y usando distancia de Manhattan_____	143
Figura 42. Diagrama de cajas del F.E núcleo J25 (med, max, min)_	146
Figura 43. Diagrama de cajas del F.E núcleo J29 (med, max, min)_	146
Figura 44. Diagrama de cajas del F.E núcleo A15 (med, max, min)	147
Figura 45. Diagrama de cajas del F.E núcleo A16 (med, max, min)	147
Figura 46. Diagrama de cajas del Igeo núcleo J25 (med, max, min)	152
Figura 47. Diagrama de cajas del Igeo núcleo J29 (med, max, min)	152
Figura 48. Diagrama de cajas del Igeo núcleo A15 (med, max, min)	152
Figura 49. Diagrama de cajas del Igeo núcleo A16 (med, max, min)	152
Figura 50. Clasificación de secciones en el núcleo J25 basado en SQGs_____	158
Figura 51. Clasificación de secciones en el núcleo J29 basado en SQGs_____	158
Figura 52. Clasificación de secciones en el núcleo A15 basado en SQGs_____	158
Figura 53. Clasificación de secciones en el núcleo A16 basado en SQGs_____	158
Figura 54. Actividad del $Pb^{210}$ vs Profundidad núcleo J25_____	160
Figura 55. Ln de la actividad del $Pb^{210}$ en exceso vs Profundidad núcleo J25_____	160





## Índice de figuras

## Página

Figura 56. Actividad del $Pb^{210}$ vs Profundidad núcleo J29_____	161
Figura 57. Ln de la actividad del $Pb^{210}$ en exceso vs Profundidad núcleo J29_____	161
Figura 58. Actividad del $Pb^{210}$ vs Profundidad núcleo A15_____	162
Figura 59. Ln de la actividad del $Pb^{210}$ en exceso vs Profundidad núcleo A15_____	162
Figura 60. Actividad del $Pb^{210}$ vs Profundidad núcleo A16_____	163
Figura 61. Ln de la actividad del $Pb^{210}$ en exceso vs Profundidad núcleo A16_____	163
Figura 62. Influencia de aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre aportes de arena en NA15_____	164
Figura 63. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre aportes de lodo en NA15_____	164
Figura 64. Influencia de aumento de población en la cuenca del río Antigua sobre el aporte de arena en el NA16_____	165
Figura 65. Influencia de aumento de población en la cuenca del río Antigua sobre el aporte de lodos en NA16_____	165
Figura 66. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de V en NA15_____	166
Figura 67. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de V en NA16_____	166





## Índice de figuras

## Página

Figura 68. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Zn en NA15_____	166
Figura 69. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Zn en NA16_____	166
Figura 70. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Cr en NA15_____	167
Figura 71. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Cr en NA16_____	167
Figura 72. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Ni en NA15_____	167
Figura 73. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Ni en NA16_____	167
Figura 74. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Cu en NA15_____	167
Figura 75. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Cu en NA16_____	167
Figura 76. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Co en NA15_____	168
Figura 77. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Co en NA16_____	168
Figura 78. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Pb en NA15_____	168
Figura 79. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Pb en NA16_____	168
Figura 80. Influencia de aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de As en NA15_____	168
Figura 81. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de As en NA16_____	168





# Capítulo 1

# Introducción





## 1.1 Introducción

La zona costera es la franja donde ocurre la interacción de procesos de la tierra y el mar, siendo este espacio un sitio con alta dinámica, debido a las descargas continentales (ríos, lagunas, estuarios y escurrimientos costeros) como a procesos oceanográficos (corrientes, vientos y oleaje).

Los diferentes procesos que interactúan en esta zona, hacen necesario estudiar parámetros fisicoquímicos como salinidad, oxígeno disuelto, temperatura, nutrientes y materia orgánica disuelta en la columna de agua, así como las características sedimentológicas y composicionales de los sedimentos. También, el conocimiento de las corrientes predominantes y la productividad del área, permiten tener un panorama de cómo operan los procesos que se están llevando a cabo en la misma.

En las zonas costeras se localizan ecosistemas importantes como los manglares, actualmente considerados los sitios donde se fija una alta cantidad de carbono de la atmosfera; los estuarios, donde es retenida gran parte de la carga antrópica llevada por los ríos o los arrecifes de coral, donde la diversidad biológica es alta (Crossland C., 2005). Debido a su alto contenido en materia orgánica disuelta y nutrientes, las zonas costeras constituyen una de las áreas de mayor riqueza biológica del planeta, donde se encuentran hasta el 90 % de las pesquerías y el 25 % de la productividad primaria global (Crossland C., 2005). Además existen recursos, petroleros y mineros que también son explotados, lo que ha provocando que en este lugar, se hayan establecido el 75% de las ciudades con más de 10 millones de habitantes (el 45 % de la población mundial). Por otro lado cabe destacar que el sitio conocido como zona costera representa menos del 20% de la superficie continental, ya que está definida como la franja de tierra comprendida dentro de los 60 km a partir de la línea de costa (SEMARNAT, 2005).

Las zonas costeras están sometidas a diferentes tipos de presiones ambientales, ya sean naturales o antrópicas, que afectan de diferente forma y medida su fisiografía y la calidad de sus aguas; dentro de las presiones naturales, se pueden mencionar el calentamiento global, aumento en el nivel del mar, huracanes, tsunamis, temblores, mareas rojas, sequías, lluvias, descargas de ríos superficiales y subterráneos; mientras que dentro de las antrópicas se pueden considerar alteraciones del ciclo hidrológico por presas o desviación de cauces de ríos, descargas de nutrientes y contaminantes químicos, introducción de organismos patógenos y de especies no-nativas, los cuales causan así su deterioro ambiental (Rosales et al., 2006).

El área costera recibe descargas urbanas, la mayor parte de las veces sin tratamiento (Ruiz C., 2012). Los ríos que desembocan en la zona costera acarrean en sus aguas descargas continentales, agrícolas, urbanas e industriales; además, ser la principal fuente de sedimentos hacia el mar, que es de aproximadamente el 95 % (Mil, 2009).







Los sedimentos representan un papel importante desde el punto de vista físico y ambiental, debido a que están involucrados en los distintos procesos geológicos, que se llevan a cabo en la naturaleza; por ejemplo, un aporte constante de sedimento ayuda a mitigar los procesos naturales de la erosión costera. A través de estudios geológicos se pueden establecer sitios óptimos para el establecimiento de puertos, espigones, barreras de protección costera, etc. Los estudios geoquímicos permiten conocer los lugares de procedencia de sedimentos, de minerales de placer o de algún tipo de contaminante, permiten la preservación de fósiles; dependiendo de la textura de los sedimentos, se puede inferir el tipo de organismos que se encuentran en una zona (Carranza, 1997).

Los sedimentos son considerados como receptores de metales u otro tipo de contaminantes que se encuentran en el ambiente acuático producto de las distintas actividades humanas (libes, 2000). El estudio de núcleos de sedimento permite obtener información sobre la variación del tipo de sedimento, su composición a través del tiempo y las velocidades de sedimentación (Ruiz C., 2012). Un análisis de este tipo, con la información necesaria, permite inferir los cambios históricos que luego pueden asociarse a la presencia de fenómenos como el cambio climático, -calentamiento global, fenómenos del niño y la niña, cambios en el nivel del mar o flujo de contaminantes desde los años de la revolución industrial hasta nuestros días (Hosono T., 2011), siendo una parte del panorama que ofrece el estudio de los sedimentos.

Es importante realizar estudios sobre el grado de afectación ambiental en las zonas costeras de México tomando en consideración que nuestro país posee una extensión aproximada de 11,122 km de litoral (INEGI, 2012).

En la zona central del estado de Veracruz desembocan los ríos La Antigua y Jamapa, donde cercanos a sus riveras se han establecido algunos centros urbanos e industriales -La Antigua, Puerto de Veracruz, entre otros mas- los cuales han descargado históricamente desde finales del siglo XIX hasta nuestros días, distintos tipos de desechos de industrias como son la textil, azucarera, eléctrica, metalúrgica, turística, agrícola y urbana, etc.; además, dentro de esta área se encuentra el Sistema Arrecifal Veracruzano, (SAV), el cual es considerado un ecosistema cuya biodiversidad, propicio que fuera decretado área protegida en 1992 por el gobierno de México, así como Reserva de la Biosfera por la UNESCO en 2006, (Jiménez-Hernández et al., 2007).

Debido a que el SAV está influenciado por las descargas de los ríos mencionados y por el desarrollo urbano, este ecosistema se encuentra bajo un estrés ecológico que puede afectar en diferente forma a todas las especies que viven en él. Por ello es importante determinar el grado de impacto ambiental actual, así como los cambios en el tiempo mediante estudios geocronológicos y geoquímicos que permitan generar un perfil histórico de la aportación de contaminantes en el área.





## 1.2 Objetivo general

Evaluar el área de influencia de las descargas continentales de los Ríos Jamapa y La Antigua en la zona costera inmediata a su desembocadura y zona marítima adyacente, determinando la concentración, distribución y origen de metales (Fe, Ti, Ni, As, Cu, Zn, Co, Cr, V, Cd y Pb) y As en el área. Así como también observar la evolución en las variaciones en el flujo de los mismos en la zona de estudio durante el periodo de 1950 hasta el 2008.

## 1.3 Objetivos particulares

- Estudiar las características texturales (grava, arena, limo, arcilla) de las muestras de sedimento de las zonas costeras adyacentes a las desembocaduras de los ríos La Antigua, Jamapa, Talud Continental adyacente y núcleos.
- Estudiar la composición química de componentes mayores (%) de los sedimentos, su contenido de materia orgánica, carbonatos y elementos mayores ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $P_2O_5$ )
- Evaluar las concentraciones de metales traza (Ni, As, Cu, Zn, Co, Cr, V) en los sedimentos de las zonas costeras adyacentes a las desembocaduras de los ríos La Antigua, Jamapa y el talud continental adyacente.
- Determinar en los sedimentos superficiales que presenten mayor concentración de metales las fracciones geoquímicas (fácilmente intercambiables, carbonatos, óxidos de hierro y manganeso, materia orgánica y residual) en las que se encuentran asociados los metales.
- Evaluar las condiciones ambientales de los sedimentos en el área de estudio empleando el Factor de Enriquecimiento (EF), Grado de Contaminación ( $C_d$ ), Índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ ), y criterios de calidad del sedimento (SQGs) como indicadores ambientales.
- Evaluar el flujo de metales a través del tiempo por medio del estudio de  $^{210}Pb$  y  $^{137}Cs$  en núcleos de sedimentos escogidos estratégicamente en las diferentes áreas de este estudio.





# Capítulo 2

Antecedentes





## 2.1 Antecedentes

### 2.2 Problemática ambiental que sufren las zonas costeras.

Las presiones ambientales a las que se enfrenta la zona costera, son causadas principalmente por los distintos usos que se le da al suelo (Crossland C., 2005, Ruiz C., 2009), y cada uno afecta en diferente forma; por ejemplo:

- a) La agricultura, es uno de los causantes de la eutrofización de las aguas, ya que para aumentar la producción agrícola, se hace uso excesivo de fertilizantes ricos en nitratos y fosfatos, lo cual favorece un enriquecimiento de nutrientes que aumenta la productividad biológica, este hecho propicia el agotamiento del oxígeno disuelto en el agua lo que da origen a masas de agua anóxicas llamadas comúnmente como las zonas de la muerte.
- b) Las mareas rojas que también son generadas por un exceso de nutrientes, se ha asociado a la proliferación de una especie de dinoflagelado productor de una clase de toxina, que afecta a diferentes organismos marinos y al hombre.
- c) La deforestación en general de los bosques templados y tropicales para generar nuevos espacios de tierras de cultivo, es el causante de la pérdida de miles de hectáreas de selvas y bosques en el mundo, acelerando o cambiando esto el balance de los procesos de erosión natural, viéndose este fenómeno reflejado en un aumento de los aportes de sedimentos finos en la zona costera, los cuales al estar en suspensión en la columna de agua propicia la disminución de la penetración de la luz y por ende hay una disminución de la productividad primaria, afectando esto la calidad de vida de organismos como el fitoplancton y los arrecifes de coral que necesitan aguas de poca turbidez para la realización de la fotosíntesis.
- d) La construcción de infraestructura como son las presas para el almacenamiento de agua y generación de energía eléctrica, alteran los procesos naturales de erosión-deposito de la línea de costa, debido al azolvamiento de las presas que impide el depósito de nuevo material al área costera; aunque también se afectan a los procesos de productividad y diversidad de ecosistemas estuarinos.
- e) El desarrollo urbano, industrial y turístico influyen en la desaparición de ecosistemas que son pieza clave para el sano desarrollo de la vida, -como son los manglares, dunas costeras entre otros-, modificando su equilibrio y contribuyendo a la degradación del ambiente costero.
- f) La extracción en exceso de recursos como el agua subterránea de las zonas costeras produce intrusiones salinas, disminuyendo la disponibilidad de agua potable para las personas.





- g) El aumento de las temperaturas causadas por el exceso de gases de efecto invernadero que arrojan las industrias y las ciudades genera entre otros problemas el blanqueamiento de los arrecifes de coral, los cuales son los lugares de mayor biodiversidad en el ambiente marino.
- h) Las alteraciones del ciclo del carbono, genera cambios en el pH de las aguas marinas y continentales, lo que afecta el proceso de calcificación de diversos organismos marinos entre otros procesos más.
- i) Los excesos de descargas de aguas negras sin tratar, con altos contenidos de organismos patógenos y de materia orgánica, producen problemas de salud en las playas.
- j) El transporte marítimo, que moviliza el 95 % de las mercancías del comercio mundial impacta negativamente a los sistemas marinos por derrames involuntarios de materiales tóxicos o por el transporte de especies invasoras que son liberadas al lavar sus tanques de almacenamiento en los distintos puertos del mundo.
- k) Las actividades de extracción petrolera en las zonas costeras o en plataformas marinas, son una actividad extractiva que causan daños al ambiente, por los procesos mismos de explotación y por accidentes que pudiera haber y han solido ser de gran magnitud.
- l) Aumento de la infraestructura turística provoca un estrés ambiental constante, ya que duplica o triplica de forma intermitente la población que viven en las costas; ésta población al igual que los residentes permanentes, demandan servicios de agua, luz y alimento. Por consiguiente las afectaciones al ambiente son de manera directa.
- m) El aumento en el desarrollo industrial dado en las últimas décadas alrededor de todo el planeta, genera bienestar para la humanidad; pero involucra un costo ecológico que ha sido el precio a pagar por el mundo, ya que cada nueva industria, ciudad, o asentamiento humano arroja miles de toneladas de desechos a la atmosfera, cuerpos de aguas y por ende a los mares.
- n) El crecimiento desmedido de la población mundial, dificulta el manejo de todos los tipos de desechos vertidos al ambiente, ya que se generan más de los que se pueden manejar de una manera adecuada y segura, por lo que en muchas ocasiones son arrojados a los sistemas acuáticos sin tratamiento alguno, afectando esto severamente al balance biológico de los ecosistemas (Förstner U; 1979).





### 2.3 Tipos de contaminantes arrojados al ambiente y sus efectos en los ecosistemas

Las sustancias vertidas a los ecosistemas terrestres o acuáticos son muy diversas, como variadas son las actividades que las arrojan; pero de manera general se puede hablar tanto de sustancias orgánicas (compuestos aromáticos policíclicos, pesticidas, etc.), como inorgánicas (material radiactivo, metales pesados, etc.), que pueden tener consecuencias sobre los ecosistemas, los cuales, si se ve de forma general (Figura 1), se pueden observar los efectos a nivel macroscópico, como por ejemplo, modificaciones en los ciclos biogeoquímicos, cambios en la estructura y función de las distintas poblaciones de organismos en la comunidad y modificaciones en las características y dinámicas de las poblaciones con su entorno (Connell and Miller, 1984).

Las afectaciones se pueden observar de forma particular sobre los organismos, los cuales pueden presentar cambios en sus características fisiológicas (mutaciones, crecimiento, o muerte, etc.), además de presentar fenómenos bioquímicos como la bioacumulación, biotransformación etc., siendo esto respuesta a los contaminantes presentes en los distintos compartimentos ambientales.



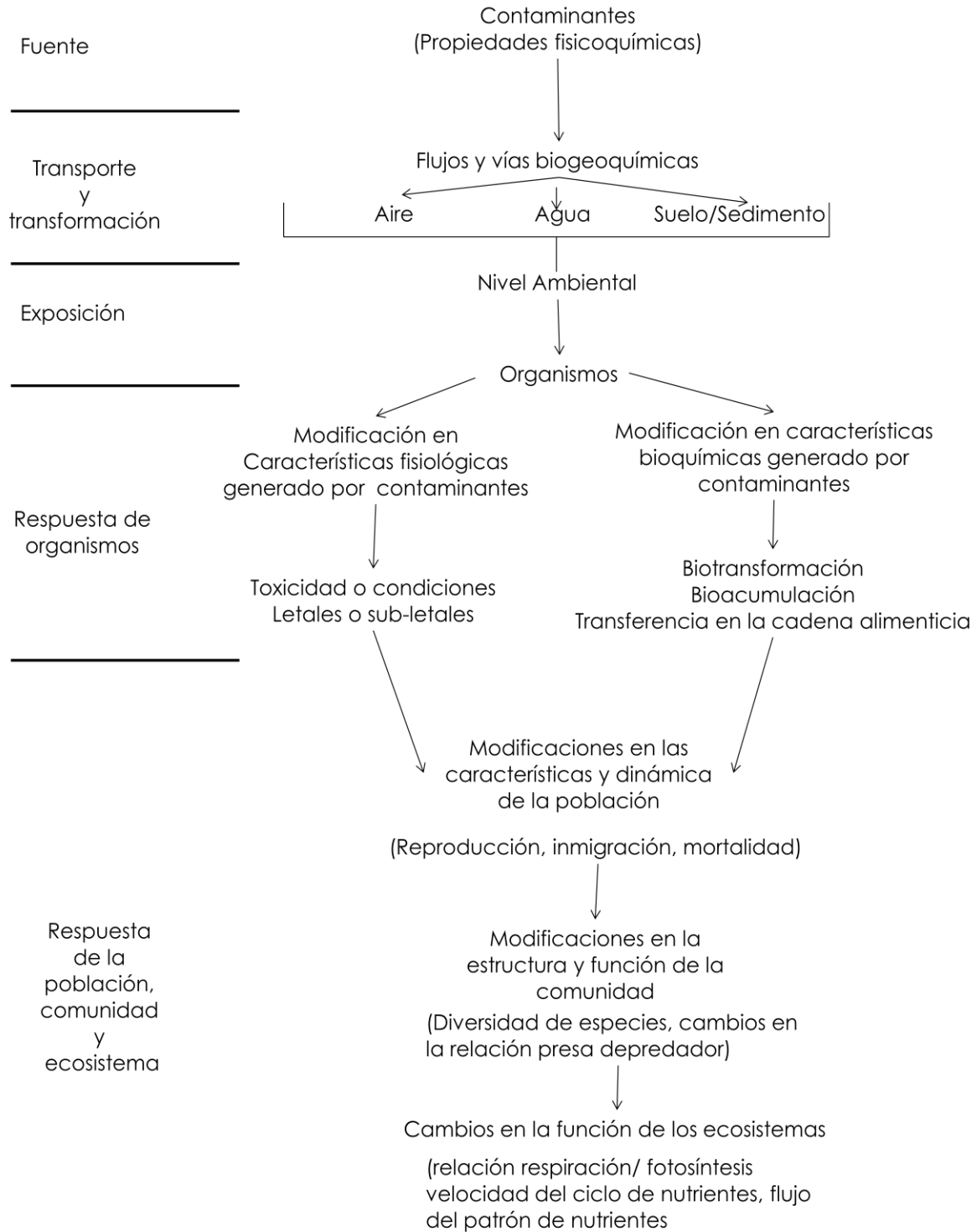


Figura 1. Diagrama del impacto de contaminantes sobre los componentes y funciones de ecosistemas naturales (Tomado de [Connell and Miller 1984](#))





## 2.4 Metales y su interacción con el ambiente y los organismos vivos

Entre los contaminantes potencialmente tóxicos al ambiente, están los metales, ya que dependiendo de las concentraciones y de la especie química en que se presenten, pueden causar la muerte de organismos, o pueden bioacumularse al ir pasando de un nivel a otro dentro de la cadena trófica (Manahan,2005).

A diferencia de los contaminantes orgánicos (como los hidrocarburos, pesticidas, etc.) donde su presencia en los ecosistemas señala su origen antropogénico; en los estudios de metales no es fácil atribuirlos al ser humano, debido a que se encuentran de manera natural en la corteza terrestre, siendo parte de las rocas y los distintos minerales presentes en la litología de cada lugar (Tabla 2), y pueden ser liberados por procesos de intemperismo físico y/o químico (Figueroa, 2001). Adicionalmente, muchos procesos industriales incluyen diversos metales en sus procesos, los cuales son introducidos al medio ambiente como desechos, (Tabla 1).

Por lo anterior, los metales presentes en los diferentes compartimentos de los sistemas acuáticos pueden ser de origen natural o antrópicos, lo que hace un reto el diferenciar el origen de los metales pesados.

	Minería	Metalurgia	I. Química	Aleaciones	Pinturas	Vidrio	I. Papelera	Curtidurías	Textiles	Abonos	I. Cloro	Refinerías	C. carbon	T. Nucleares
As	X	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X
Ba			X		X	X		X	X				X	X
Be	X	X		X									X	X
Bi		X												
Cd	X	X	X		X				X	X	X	X	X	X
Cr		X	X		X		X	X		X	X	X		
Cu		X	X				X	X	X	X		X	X	
Hg	X	X	X				X	X	X	X	X		X	
Mn	X									X			X	
Fe	X	X		X						X	X	X		
Ni		X				X	X		X	X		X	X	
Pb	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	
Se	X												X	
Sn			X								X			
U	X		X										X	X
V		X	X										X	
Zn	X	X	X		X			X		X	X	X		

Tabla 1. Metales involucrados en los distintos procesos industriales (Modificado de Figueroa, 2001)







	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Al	Fe
	(mgkg <sup>-1</sup> )										(%)
<b>Taylor 1964 (a)</b>	135	100	25	75	55	70	1.8	0.2	12.5	8.23	5.63
<b>Wedepohl 1995 (b)</b>	98	126	24	56	25	65	1.7	0.1	14.8	7.96	4.32
<b>Taylor y Mclenan 2001 (c)</b>	107	83	17	44	25	71	1.5	0.098	17	8.04	3.5

Tabla 2. a) Concentraciones promedio reportados para la corteza de algunos metales, b) Promedio de la corteza considerando el promedio de rocas basálticas + Promedio de granitos y c) Promedio de la corteza continental superior.

Desde el punto de vista biológico, se sabe que la presencia de cantidades traza de ciertos elementos como Fe, Zn, Cu, Mn, entre otros, ejerce una influencia positiva sobre plantas, animales y el ser humano (Forstner Ü., 1979), debido a que participan en algunos de los procesos metabólicos relacionados con el buen funcionamiento de órganos, crecimiento y reproducción entre otras cosas más, por lo que se les puede conocer como elementos esenciales cuando se encuentran en las concentraciones adecuadas y sin su presencia no podría haber un adecuado desarrollo de los organismos. Sin embargo, un exceso de metales en el ambiente, en vez de ayudar a tener un buen desarrollo, se vuelve tóxico y finalmente genera la muerte (Figura 2)

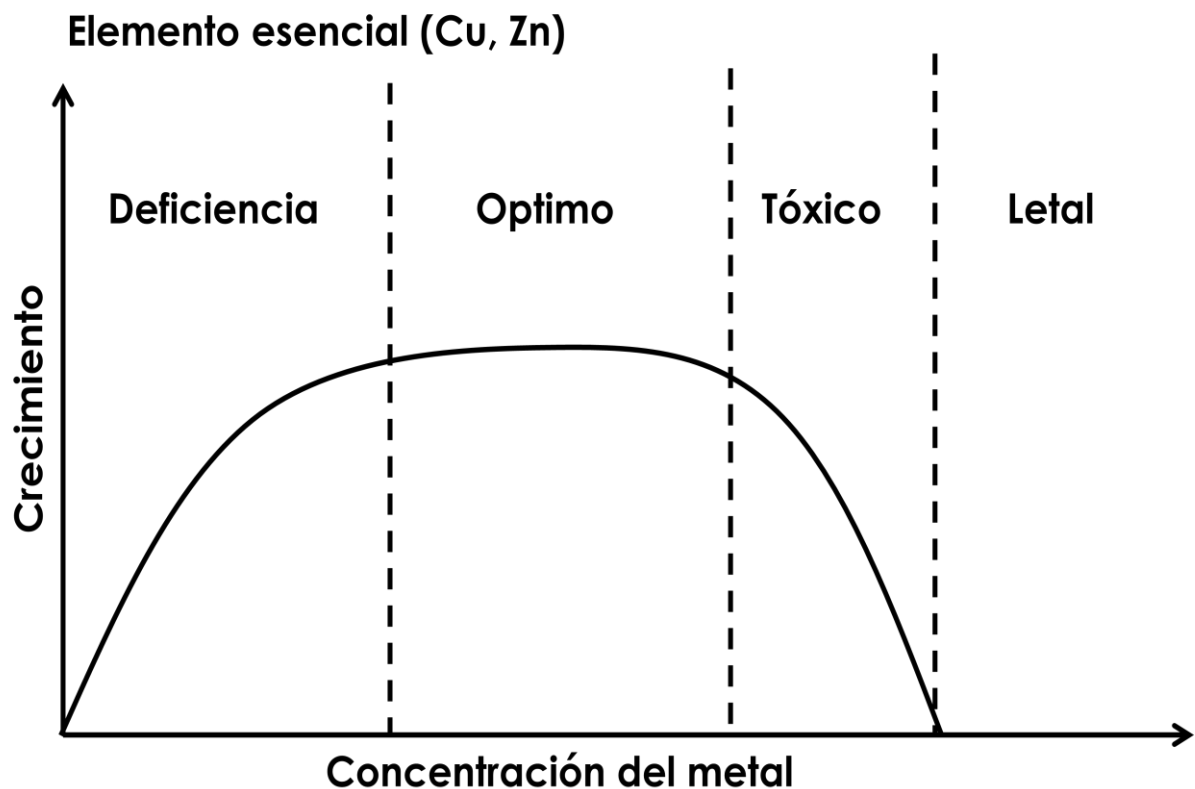


Figura 2. Efectos de elementos esenciales al cambiar las concentraciones





También cabe destacar que no todos los metales traza pueden ser considerados como esenciales, debido a que no participan en los procesos bioquímicos de los organismos, al no ser útil para el desarrollo de plantas o animales, el cuerpo de los seres vivos responde tolerando a esos elementos hasta cierto límite, a partir del cual comenzará a ser tóxico, para finalmente ser letal (Figura 3).

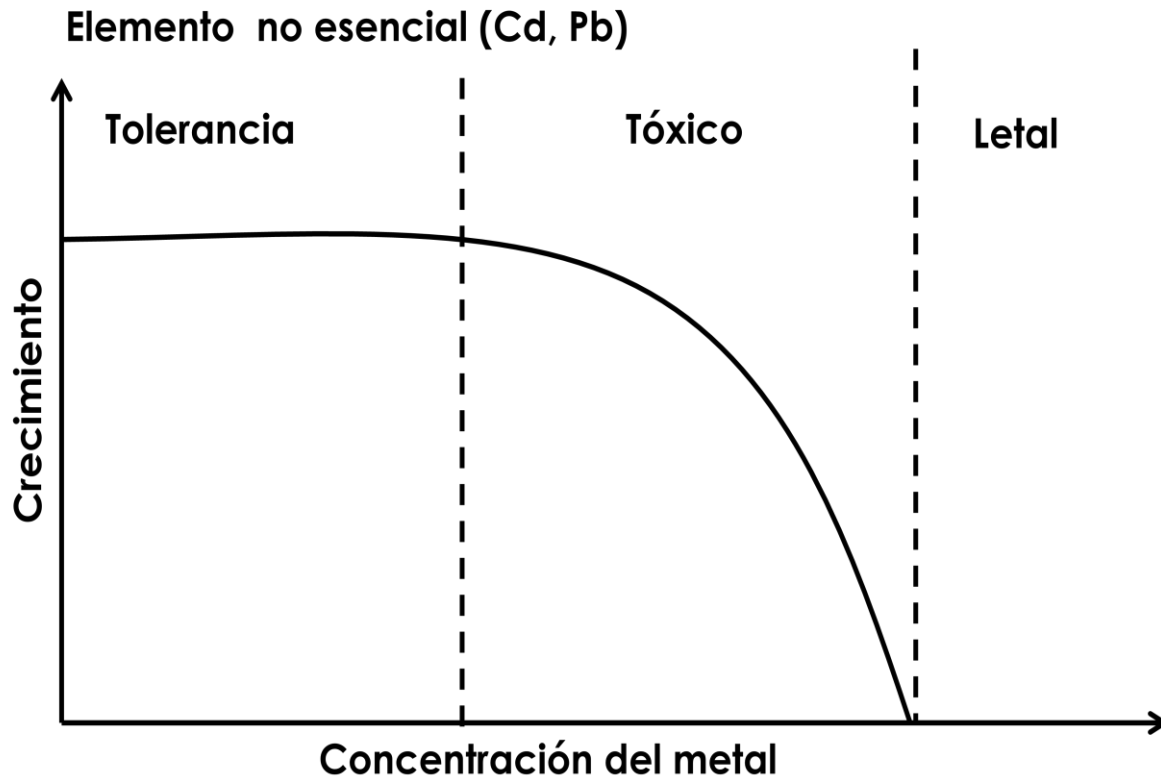


Figura 3. Efectos de elementos no esenciales al cambiar las concentraciones

En general cuando se han sobrepasado los niveles óptimos o de tolerancia a ciertos iones metálicos, los efectos que se pueden presentar en un organismo a nivel bioquímico, son el bloqueo de los grupos funcionales de algunas biomoléculas biológicas esenciales (Proteínas y enzimas), el desplazamiento del ión metálico en una biomolécula esencial y la modificación de la conformación activa de las biomoléculas (Connell F., 1997).

Para poder determinar la relación entre efectos tóxicos y biodisponibilidad de cualquier sustancia, es necesaria la elaboración de bioensayos en condiciones controladas (temperatura, pH, concentración, tiempo etc.) y sobre diferentes matrices que contengan los contaminantes en estudio, como por ejemplo agua o sedimento en el caso de organismos marinos, logrando tener información como la mostrada en la tabla 3.





Clase de organismos	Metales						
	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
<b>Peces</b>	22-55	91	-	2.5,3.2	350	188	60,60
<b>Crustáceos</b>	0.015-47	10	4.5	0.17-100	6,47	-	0.4-50
<b>Moluscos</b>	2.2-35	14-105	-	0.14,2.3	72,320	-	10-50
<b>Poliquetos</b>	2.5-12.1	2.0 >5.0	-	0.16-0.5	25,72	7.7-20	1.8-55
<b>Equinodermos (solo 1 especie)</b>	0.82	-	-	-	150	-	39

Tabla 3. Concentración letal de metales en organismos acuáticos en un tiempo de exposición de 96h. (Modificado de [Connell and Miller, 1984](#))

## 2.5 Variables bióticas que influyen y/o regulan la transferencia de metales en tramas de ambiente marino

La transferencia de metales en la trama trófica de ambiente marino, está influenciada por distintas variables bióticas, como son: a) el tipo de especie, b) la edad y el tamaño, c) los hábitos de alimentación y d) el ciclo e historia de vida de cada uno de los organismos que forman parte de la cadena alimenticia.

- El tipo de especie es un factor importante, debido a que no todos los organismos van a reaccionar de la misma forma ante la presencia de metales en su ambiente, ya que algunos son capaces de eliminar sustancias que no le son de utilidad para su desarrollo, como son el caso de las bacterias, las cuales son capaces de desechar, degradar, transformar o almacenar a los metales que se encuentren disueltos en la columna de agua o en el sedimento, pero hay otros que no poseen estas habilidades, como el fitoplancton, almejas, aves, peces, ballenas, etc., por lo que una manera de responder ante cualquier sustancia extraña asimilada, es la de acumularlos en lugares preferenciales de su cuerpo, por ejemplo en los músculos, hígado, grasas, entre otros.
- La edad y tamaño de un organismo puede incrementar o reducir la posibilidad de almacenar a los metales, por ejemplo considerando un organismo joven que se encuentre en aguas donde las concentraciones de metales sean relativamente bajas, este tendera a acumular más metales, debido a que se encuentra en desarrollo, una vez que pasa su etapa de crecimiento, la concentración de los metales disminuirá debido a que disminuyo la proporción de alimento que requiere para sobrevivir ([Farkas, 2003](#)).
- Los hábitos de alimentación de un organismo son trascendentes, porque el alimento puede ser una fuente de contaminantes, por ejemplo un pez que





sea filtrador puede adquirir más fácilmente los metales que se encuentren en el sedimento, mientras que otro que sea depredador de otros peces podría no tener problemas de metales, si sus presas se alimentan en lugares relativamente libres de contaminación como podría ser en mar adentro.

- d) El ciclo e historia de vida indican los hábitos e interacción de un ser vivo con respecto a su entorno, ya que dependiendo de esto, un organismos puede estar permanente o intermitentemente sujeto a la presión que ejercen los contaminantes en el ambiente; como es el caso de las almejas, estos seres se encuentran siempre en el mismo sitio desde su nacimiento hasta su muerte, por lo que un cambio en su entorno los afecta considerablemente porque no tienen la opción de moverse a otras áreas, por esta razón, son utilizados como indicadores de contaminación ,debido a sus hábitos e historia de vida; cosa diferente a lo que sucede con organismos migratorios, los cuales podrán estar sujetos a presiones de contaminación de una manera intermitente ya que casi toda su vida pueden encontrarse en mar abierto o en lugares donde la influencia del hombre es casi nula, y solo cuando llega el momento de reproducción regresan a sus lugares de origen, cerca de los ambientes costeros (ríos, estuarios, playas, etc.), como son el caso de camarones, tortugas y algunas especies de peces, por lo que también sus crías, al desarrollarse en los ambientes costeros estarán en contacto con los contaminantes desde el nacimiento hasta la edad adulta, cuando tengan que irse al océano.

La interacción en conjunto de estas variables puede dar como resultado una mayor o menor transferencia de metales a través de la trama trófica, en general se puede decir que la mayoría de los organismos al no poder desechar estos contaminantes de su cuerpo tenderán a acumularlos en algún sitio de su organismo y conforme se avanza en la cadena, la concentración de metales irá aumentando, porque la mayoría de los organismos de eslabones superiores tampoco tienen la capacidad de eliminar a los metales que no le son de utilidad, por lo que se presentara el fenómeno de biomagnificación (Manahan; 2005).





## 2.6 Principales mecanismos involucrados en la incorporación y/o eliminación de metales pesados en organismos acuáticos

En organismos acuáticos, el proceso de incorporación de metales se efectúa mediante tres mecanismos principales, los cuales son a) a través de superficies respiratorias como las branquias, b) adsorción del agua a las superficies corporales y c) a través del aparato digestivo.

En los moluscos bivalvos, la adsorción de los metales por unión a las secreciones mucosas promueve la difusión a través de la superficie corporal, o puede ser que exista cuando las secreciones mucosas pasan a través del aparato digestivo. Las ostras obtienen los metales principalmente del alimento ingerido, más que de la solución; en los poliquetos, la adsorción incluye la difusión a través de la superficie corporal. En los crustáceos el proceso de captación se efectúa por adsorción a la superficie corporal, seguida de la difusión a través del epitelio branquial. En las langostas parece ser más importante la captación a través de la dieta vía estomago o intestino (Moreno et al, 2003), como también sucedería en el caso de los peces, aves y mamíferos marinos.

La eliminación de las sustancias tóxicas en organismos acuáticos como las aves, peces, mamíferos marinos y crustáceos, etc., se puede dar por las vías urinarias, eses fecales (Connell, 1997), por otro lado en algunos invertebrados marinos donde los metales están adsorbidos en la superficie del cuerpo pueden ser desorbidos al cambiar las condiciones fisicoquímicas de la columna de agua, por lo que a este proceso se le conoce como desorción pasiva (Rainbow, 1990), también en algunos experimentos con cangrejos encontraron que en promedio el 61% del Zn presente en el organismo fue perdido o eliminado con cada cambio de exoesqueleto (Renfro, 1975).

## 2.7 Matrices ambientales donde se puede analizar metales traza

Aunque actualmente se tiene conocimiento de la presencia de los metales traza en las distintas matrices ambientales, como son aire, agua de mar y sedimento, son estos últimos las herramientas preferidas del monitoreo de contaminantes de varios investigadores a nivel mundial, debido a su poca variación en una escala de tiempo y espacio, además de que sus órdenes de magnitud son mayores que las reportadas en aire y agua de mar (Tabla 4), permitiendo evaluar de una manera más consistente la contaminación temporal y espacial de este tipo de elementos (Tuncer 2001, Beiras 2003, Caccia 2003, Pekey 2006).





Metales	Atmosfera de países de Europa y América (ngm <sup>-3</sup> )	Lagunas y ríos (mgkg <sup>-1</sup> )	Océanos (mgkg <sup>-1</sup> )	Suelos orgánicos, sedimentos y minerales (mgkg <sup>-1</sup> )
Zn	10-16000	2.5	8X10 <sup>-6</sup>	50-60
Pb	0.2-13000	>4	0.11	17-44
Cu	3-4900	2.2	1.510 <sup>-3</sup>	20-350
Cr	1-1100	N.D	N.D	N.D
Cd	0.5-620	N.D	6X10 <sup>-3</sup>	0.2-0.9
Ni	1-120	2.2	2.1X10 <sup>-3</sup>	16-70
As	1.5-53	0.18	N.D	N.D

N.D: No detectado

Tabla 4. Niveles de metales traza en diferentes matrices ambientales (modificado de Moreno y Cervantes, 1999)

Por otro lado, los sedimentos son considerados como el último reservorio de contaminantes, debido a que permiten la eliminación en el ambiente de sustancias no deseadas en la columna de agua, para que posteriormente continúen en otro compartimento del ciclo biogeoquímico (Manahan, 2005), siendo esto motivo importante para su utilización en estudios ambientales.

## 2.8 Mecanismos mediante los cuales ocurre la fijación de contaminantes en los sedimentos y los diferentes mecanismos de separación de contaminantes en estos

La fijación o separación de contaminantes en los sedimentos, se deben a las interacciones líquido-sólido que suceden entre la columna de agua y el material particulado, los mecanismos mediante los cuales ocurre la fijación de los contaminantes, son conocidos como adsorción (Figura 4), quimisorción (Figura 5) e intercambio iónico (Figura 6), el primero se basa sobre las fuerzas de Vander Waals de las relativamente débiles interacciones ión-dipolo, dipolo-dipolo; el segundo mecanismo se caracteriza, por interacciones químicas entre los iones o moléculas de la solución y la superficie de las partículas; por último el intercambio iónico implica la transferencia de uno o más iones de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales (Salomon, 1984); Como es difícil analíticamente diferenciar a cada uno de estos mecanismos se utiliza el término de sorción para englobar a los tres términos (Sadiq, 1992).



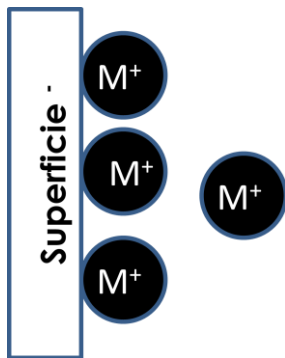


Figura 4. Adsorción

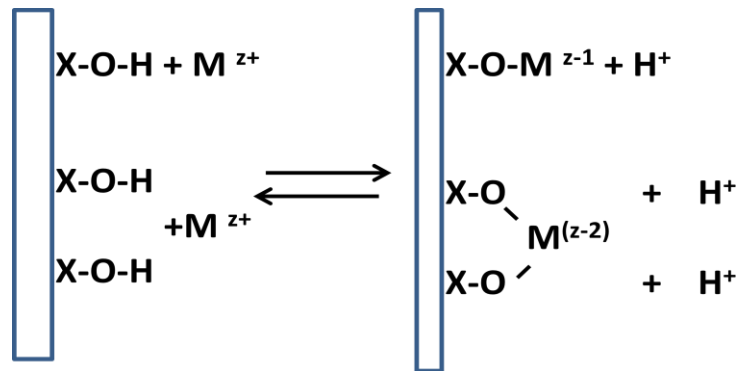


Figura 5. Quimiosorción

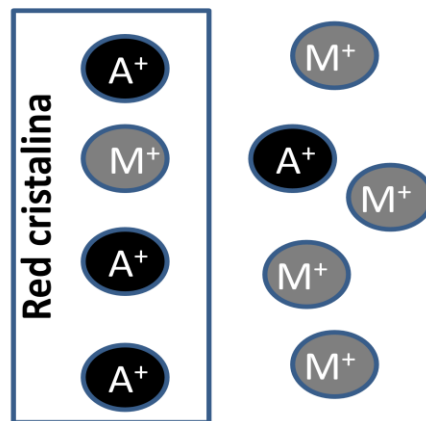


Figura 6. Intercambio iónico

En los sistemas naturales los parámetros fisicoquímicos como son el pH, temperatura, salinidad o la descarga de agentes acomplejantes, además del tipo de sustrato, juegan un papel importante debido a que afectan los procesos de sorción /desorción de los metales en los sedimentos, por ejemplo el uso de diagramas de predominancia (figura 7) en donde se combinan parámetros como el pH, Eh y temperatura, pueden indicar si bajo las condiciones presentes en el medio acuático, el metal se encuentra en forma de ión o está formando compuestos estables que se precipitan en los sedimentos ó la formación de otro tipo de minerales que captura dentro de sus redes cristalinas a las sustancias indeseables presentes; pero así como indican el secuestro de este tipo de contaminantes en los sedimentos, también puede predecir si existen las condiciones para volver a ser reincorporados dentro de la columna de agua, este fenómeno puede ser visto en los sistemas estuarinos (Sadic,1992), donde las condiciones de los parámetros fisicoquímicos pueden cambiar al estarse mezclada las aguas dulces de los ríos con el agua salada del mar; por lo que el riesgo de reincorporación de estas sustancias al ambiente es latente.



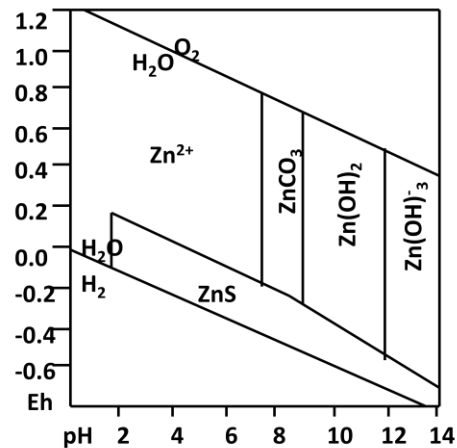


Figura 7 Diagrama de predominancia del Zn (Brookins D.G.,1988)

Por otro lado el tipo de sustrato es considerado como un factor importante, porque de acuerdo al tamaño de partícula que tengan los sedimentos, será el grado de sorción de las sustancias contaminantes.

Se ha demostrado en estudios de distintos lugares del mundo, que entre más pequeña sea la partícula de sedimento, habrá una mayor área de contacto donde pueden interactuar los contaminantes provocando esto una mayor concentración de metales en los sedimentos, mientras que al aumentar el tamaño de partícula las concentraciones son menores, por la disminución del área de contacto (Chapman P.M. et al. 1992).

## 2.9 Indicadores o referencias que se pueden usar para determinar si la concentración de metales en los sedimentos es normal o están contaminados

Para determinar si la concentración de metales presentes en la columna de agua y en los sedimentos son normales o no, se deben establecer cuáles son los niveles naturales de estas sustancias en el ambiente (Salomon, 1984), dichos niveles son conocidos como valores de fondo, y tienen la finalidad de establecer una base de referencia donde se pueda comparar los niveles naturales con los de algún área y así establecer el grado de influencia antropogénica de algún lugar.

En estudios de contaminación de metales en la columna de agua de mar, se ha sugerido usar como valor de fondo la composición promedio de metales en el océano, con el objetivo de inferir si los niveles encontrados en algún área de estudio se encuentra por arriba o por debajo de la media del mar (Chan, 1974).

Con respecto al estudio de los sedimentos, algunos investigadores han propuesto usar como valores de referencia depósitos recientes de sedimento donde no haya influencia humana (zonas prístinas) (Salomon, 1984), otros han planteado determinar los valores de fondo a través del estudio de núcleos de sedimento, ubicando la zona donde no cambie la concentración de los metales traza a lo







largo de la columna sedimentaria (Devesa et al., 2009, Mil et al., 2009), otros consideran el uso de métodos matemáticos o estadísticos para deducir las condiciones naturales (Apitz et al., 2009, Sakan 2009) y por último tomar como referencia las concentraciones promedio de la corteza, o de la lutita promedio, las cuales no son las más adecuadas, porque no pueden representar a la litología de un lugar en específico, pero sirven como una buena aproximación cuando se carece de este tipo de información (Feng et al., 2010, Zhang 2009, Hang, 2006, Feng, 2004).

Por otro lado, en diversos estudios donde se trata de ver el impacto ambiental producido por el hombre, se han desarrollado indicadores como el factor de enriquecimiento (EF) y el índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ ), los cuales son considerados herramientas útiles para determinar el origen o el grado de contaminación de los sedimentos provocado por metales (Chiu W.C., et al., 2007); a diferencia de los estudios de sedimento, en agua de mar no se han podido desarrollar este tipo de índices debido a la constante movilidad del agua de mar, a las bajas concentraciones de los metales y a los diversos problemas analíticos presentados por la matriz de agua salada que dificulta su estudio.

También, para tratar de predecir posibles efectos biológicos adversos en sedimentos contaminados, se han desarrollado diversos índices de calidad de sedimento (SQGs, Sediment Quality Guidelines) en las últimas décadas (McCready et al., 2006, Mc Donald et al., 2000), debido a que la sola concentración total de los metales, no da la suficiente evidencia para estimar el impacto potencial sobre los organismos bentónicos, los cuales viven en el sedimento y son la base de la cadena alimenticia; por lo que al afectarlos, se genera un efecto dominó que perjudica también a los eslabones superiores que se alimentan de ellos (Birch, 2009).

Los índices fueron desarrollados al revisar, filtrar e integrar numerosos estudios hechos en Norteamérica, de bioensayos de laboratorio, "equilibrium-partitioning modeling" y estudios de campo sobre toxicidad de sedimentos y composición de la comunidad bentónica; además de que solamente fueron incluidos trabajos elaborados en sedimento marino (Long et al., 1995), dando como resultado dos índices, el ERL (Rango de efecto bajo) y ERM (Rango de efecto medio), dichos índices permiten agrupar las concentraciones de la sustancia en estudio en tres categorías (raramente (<ERL), ocasionalmente ( $\geq$ ERL<ERM) o frecuentemente ( $\geq$ ERM)), cada categoría representa la frecuencia en la que una cierta cantidad de sustancia podría estar asociado a algún efecto adverso.

Estos índices presentan algunas limitaciones, como son la de no haber SQGs disponibles para muchas sustancias que pueden ser altamente tóxicas en los sedimentos (como son el caso de V y Co en este trabajo), no contabilizan los efectos potenciales que generan los factores geoquímicos (tamaño de partícula, carbono orgánico total, ácidos volátiles, sulfuros etc.) que podrían influenciar la biodisponibilidad de un contaminante en el sedimento (NOAA, 1999); generando esto, un cierto grado de incertidumbre sobre la interpretación, ya que cabe la





posibilidad de determinar que un contaminante este dentro de la categoría de raramente asociado a efectos biológicos adversos, cuando en realidad si pueda estar asociado.

Actualmente los índices son usados por la NOAA como una herramienta interpretativa para asociar datos químicos del ambiente sedimentario a los potenciales efectos biológicos adversos, además permiten comparar el grado de contaminación entre subregiones e identificar elementos en elevadas concentraciones que fueron asociados con mediciones de efectos adversos y no pretenden ser un criterio o estándar de regulación (NOAA, 1999).

Por otro lado, para tratar de discernir el origen y la facilidad de disposición de los metales en los organismos, se han desarrollado distintos métodos analíticos conocidos comúnmente como métodos de extracción secuencial, que permiten obtener información confiable para poder caracterizar las fuentes de contaminación y evaluar la movilidad y biodisponibilidad de los metales traza presentes en los sedimentos (Filgueiras et al, 2002); siendo uno de los más conocidos actualmente a nivel mundial, el método de Tessier, 1979.

Un esquema de extracción secuencial, permite la liberación de los metales traza presentes dentro de las diferentes fracciones geoquímicas que se encuentran en los sedimentos, sometiendo a estos últimos a diferentes condiciones de temperatura y pH debido a que este procedimiento sostiene que los metales más móviles o más biodisponibles, se encuentran en la primera fracción, mientras que los que se encuentren en las otras fracciones, tienen menos biodisponibilidad.

Las fracciones geoquímicas que en general comprenden los esquemas de extracción secuencial son (Tessier, 1979):

Fracción I (fácilmente intercambiable), consiste en la separación de los iones metálicos que se encuentren adsorbidos en los sedimentos por interacciones electrostáticas.

Fracción II (Carbonatos) se basa en la reacción de todos aquellos minerales que sean sensibles a cambios ligeros de pH.

Fracción III (Oxihidroxidos de hierro y manganeso), se basa en la reacción de minerales que sean sensibles a condiciones reductoras.

Fracción IV (sulfuros y materia orgánica) se fundamenta en la reacción de las sustancias sensibles a condiciones oxidantes.

Fracción V (Fracción residual) en la cual se ataca a todas aquellas sustancias que fueron resistentes a las condiciones establecidas en las cuatro primeras etapas, como son el caso de los aluminosilicatos entre otros.





## 2.10 Reconstrucción histórica de contaminación ambiental a través de los años usando isótopos como el $Pb^{210}$

Debido a que el  $Pb^{210}$  tiene un tiempo de vida media corto (aprox. 22 años), permite datar sedimentos en una escala de tiempo de aproximadamente 100 años, lo cual resulta útil para evaluar los cambios ambientales ocurridos a consecuencia del desarrollo y crecimiento generados por la revolución industrial hasta nuestros días, por lo que al usarlo con mediciones de elementos considerados como contaminantes, se puede conocer la historia de los efectos de las actividades antropogénicas en algún sitio (Krishnaswami, 1971; Bruland 1974, Robbins, 1978), dicho método no es nuevo se ha utilizado para determinar las tasas de sedimentación, en lagos, estuarios y sedimento marinos costeros (Ivanovich, 1992).

La técnica de geocronología de  $Pb^{210}$  consiste en la identificación y cuantificación de isótopos radiactivos a lo largo de la columna sedimentaria, con la finalidad de estimar la edad de los sedimentos utilizando la ley de decaimiento radiactivo (Ruiz C., 2012); también se basa en el principio de que el isótopo de  $Pb^{210}$  está siendo continuamente introducido a la superficie terrestre, para posteriormente ser acumulado de manera constante en los sedimentos (Edington y Robbins 1975).

El  $Pb^{210}$  que se forma por decaimiento in situ del  $Ra^{226}$ , se denomina  $Pb^{210}$  "soportado" y se asume que está en equilibrio secular con toda la serie del  $U^{238}$ . Este  $Pb^{210}$  en exceso que proviene principalmente del depósito atmosférico se llama  $Pb^{210}$  "no soportado" Para poder realizar el fechado con  $Pb^{210}$  el trazador geocronológico es el componente "no soportado", dado que se supone que una vez unido a las partículas de sedimento, permanece en la columna sedimentaria, en donde las capas sucesivas del material son enterradas por depósitos posteriores sin más movilidad que el decaimiento isotópico del  $Pb^{210}$  originalmente depositado.

La cantidad de  $Pb^{210}$  depositado en una capa dada se reduce exponencialmente de acuerdo a la desintegración radiactiva constante, por lo que estimando la actividad inicial del  $Pb^{210}$  en exceso de una capa, entonces las mediciones de las actividades de las demás capas pueden ser usadas para determinar la edad en la cual estaban en la superficie de depósito (Goldberg 1963, Appleby y Oldfield, 1992).





## 2.11 Trabajos hechos a nivel mundial utilizando a los sedimentos como indicadores de calidad ambiental

Olivares S. et al., 2005 evaluaron las condiciones actuales en las que se encuentra la cuenca del río Almendares, Cuba; por medio de análisis de extracción secuencial y total, se determinaron Pb, Cu, Zn, Cr, Co y Cd en 15 muestras de sedimento distribuidas a lo largo de la cuenca del río; además, se usó el factor de enriquecimiento como indicador del grado de contaminación del sedimento. Los resultados obtenidos indican una fuerte variación en la concentración de metales a lo largo de la cuenca, los cuales son presentados a continuación (86.1 a 70.8  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) Zn, de (39.3 a 189.0  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) Pb, de (71.6 a 420.8  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) Cu, de (84.4 a 209.7  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) Cr, de (1.5 a 23.4  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) Co y de (1 a 4.3  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) Cd, también los resultados obtenidos por el factor de enriquecimiento se encontraron valores mayores a 10 para metales Pb, Cu, Cd y Zn, las concentraciones y los factores de enriquecimiento más altos fueron encontrados cercanos a los vertederos industriales que se ubican cerca del río, lo cual sugiere la fuerte influencia de las descargas de industrias metalúrgicas, galvanoplastia entre otras, que descargan sus desechos al río.

Los resultados de extracción secuencial en el río Almendares, mostraron que la mayoría de los metales se encuentran asociados principalmente a la fracción orgánica y que el 62% de los metales presentes en el río es susceptible a ser reincorporado a la columna de agua si cambian las condiciones fisicoquímicas del agua del río, también indican los autores que la información generada en este trabajo fue usada para la toma de decisiones sobre la forma de remediación que deben ser aplicada a la cuenca.

Chiu W. C. et al., 2007, por medio de determinaciones de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, análisis textural, análisis de Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Zn y Al y del uso de índices como el factor de enriquecimiento; evaluaron la distribución, enriquecimiento y acumulación de metales traza en muestras de sedimento tomadas en 6 localidades del puerto de Kaohsiung, Taiwan. Los resultados mostraron que el Cd presentó los niveles más bajos con 0.58  $\text{mg kg}^{-1}$  y el Zn con los niveles más altos del estudio con 596  $\text{mg kg}^{-1}$ , también encontraron que las concentraciones más altas en metales fueron las estaciones más cercanas a las inmediaciones de las desembocaduras de los ríos comparado con otras localidades estudiadas, por otro lado, los resultados del factor de enriquecimiento y el índice de geoacumulación, indicaron que todos los metales con la excepción del Cr sugirieron que se pueden considerar como moderado a fuertemente contaminados, lo cual podría indicar la fuerte influencia de las descargas industriales y urbanas que son arrojadas en los ríos que desembocan en esta área. Por otro lado, los autores señalan que los resultados obtenidos en este estudio podrían ayudar para desarrollar estrategias de remediación de los sedimentos del puerto Kaohsiung, en Taiwan.





**Christophoridis C. et al., 2009**, determinaron el nivel de contaminación ambiental generado por metales pesados, utilizando indicadores de contaminación como el factor de enriquecimiento, el factor de contaminación, el grado de contaminación modificado y el índice de geoacumulación, además de usar índices de calidad del sedimento (SQG). En 40 muestras de sedimento superficial se analizó (Zn, Cu, Pb y Cr) y 15 muestras de agua de mar (parámetros fisicoquímicos) del Golfo de Thermaikos y la bahía de Thessaloniki, Grecia. Los resultados de la investigación mostraron altos niveles de metales a lo largo de la línea de costa de la Bahía de Thessaloniki, además de altos valores en el factor de enriquecimiento, lo cual fue apoyado por los demás indicadores empleados en el trabajo, reflejando esto, la influencia por largo tiempo de las actividades antropogénicas cercanas al golfo y a la bahía. Por otro lado, los índices de calidad del sedimento, mostraron que la mayoría de las muestras sedimentarias podrían ser asociados ocasional y frecuentemente a efectos biológicos adversos en Zn, Cu y Pb mientras que los parámetros fisicoquímicos del agua de mar, sugirieron como improbable una reincorporación de los metales al ambiente acuático.

**Zhang W., et al 2009**, empleando análisis químicos, texturales, estadísticos e índices como el factor de enriquecimiento y el de geoacumulación, determinaron la variación espacial de Al, Fe, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, y Zn y la posible contaminación generada por estos metales en 59 muestras de sedimento de la zona intermareal del río Yangtse, China. Los rangos de concentración de los metales fueron de (40803-97213)  $\text{mgkg}^{-1}$  Al, (20538-49627)  $\text{mgkg}^{-1}$  Fe, (0.12-0.75)  $\text{mgkg}^{-1}$  Cd, (36.9-173)  $\text{mgkg}^{-1}$  Cr, (6.87-49.7)  $\text{mgkg}^{-1}$  Cu, (413-1112)  $\text{mgkg}^{-1}$  Mn, (17.6-45)  $\text{mgkg}^{-1}$  Ni, (18.3-44.1)  $\text{mgkg}^{-1}$  Pb, (47.6-154)  $\text{mgkg}^{-1}$  Zn; los resultados de los índices de contaminación señalaron enriquecimiento en la zona intermareal por Cd, Cr y Ni; también se observó la influencia de algunas industrias que se encuentran cercanas a la zona costera al encontrar enriquecimiento de Cu, Mn, Pb y Zn localizado en puntos específicos cercanos a las descargas industriales; por otro lado, el análisis de factores hecho con los datos obtenidos, indican que parámetros como el carbono orgánico total, el tamaño de grano, el Cr y los óxidos de Manganeseo son los factores que explican el 87 % de la varianza del sistema, y juegan un papel importante en la distribución y contaminación de los metales en los sedimentos de la zona intermareal, los análisis de cluster sugieren que el Cd está asociado a la materia orgánica al presentar una relación con el carbono orgánico total, mientras que Cu, Cr, Ni, Pb y Zn están asociados a los óxidos de Mn al estar ligados con el Mn.

**Duan L., et al., 2010**, a través de análisis de extracción secuencial y totales, del uso de índices de contaminación (EF), realizaron un estudio geoquímico en 27 muestras de sedimento de la Bahía de Bohai, China, con la finalidad de determinar las concentraciones, su distribución espacial, mecanismos de transporte e influencias antropogénicas de elementos potencialmente dañinos (PHE) como Ge, Mo, In, Sn, Sb, Te, Tl, Bi y V. Los resultados de los análisis de extracción secuencial, mostraron que una fracción importante de la concentración de los PHE se encontró en la fracción residual, permitiendo inferir





un origen natural al ser aportados por el intemperismo de las rocas continentales y son transportados por los sedimentos acarreados por los ríos, para finalmente ser depositados en la bahía; sin embargo elementos como el Mo, Sb, Te, Bi y V, tendrían una posible influencia antropogénica al estar presente una parte de su concentración total en la fracción no residual, lo cual coincidió con los resultados arrojados por el factor de enriquecimiento, donde se señala que elementos como Sb, Te y Bi, presentaron factores de enriquecimiento mayores a 1.5, lo cual sugiere que los sedimentos se podrían encontrar moderadamente contaminados con estos elementos, también concluyen que la distribución espacial de los PHE en la bahía está influenciado por procesos físicos, químicos y biológicos.

*Marmolejo et al., 2007*, estudiaron el posible impacto de una mina de hierro en el sistema estuarino del río Marabasco (México), para la realización de este proyecto, determinó la concentración total y la fracción labil de Al, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn a 5 muestras de sedimento del río y 8 muestras del estuario, encontrando que la mina de hierro no ha causado un impacto negativo en los sedimentos del sistema del río Marabasco, debido a que la concentración total de todos los elementos estudiados, se encontraron por debajo de los niveles encontrados en otras áreas costeras del mundo que son impactadas por minas metalíferas, además determinó que el Cd, Co, Ni y Zn serían fácilmente incorporados a la fase acuosa, mientras que el Cu, Fe y Pb tienen una baja movilidad en los sedimentos.

*Ruiz C. et al., 2012*, evaluaron el impacto que han tenido las actividades humanas e industriales que se llevan a cabo en la cuenca del río Coatzacoalcos (México) sobre la zona costera adyacente a la ciudad del mismo nombre. En tres núcleos de sedimento, determinaron metales (Pb, V, Zn, Cu, Ni, As, Hg, Al, Ca, Sr y Rb), textura, isótopos ( $Pb^{210}$  y  $C^{13}$ ), materia orgánica e identificaron los tipos de minerales presentes en cada estrato de la columna sedimentaria. Los resultados obtenidos les permitieron concluir que el incremento de las descargas de contaminantes fueran relacionadas a fuentes terrestres y a la erosión del suelo de la cuenca debido a los cambios de uso de suelo de la cuenca; también mencionan que aunque el enriquecimiento de contaminantes como As, Hg, y Ni fue bajo, las concentraciones en que se encontraron podrían ser una amenaza potencial para los organismos acuáticos, y al consumo humano de comida marina.

## 2.12 Planteamiento del problema

En la parte central del estado de Veracruz, la zona marina más estudiada es el Sistema Arrecifal Veracruzano, siendo los trabajos de índole biológico los más abundantes (ecología, invertebrados marinos y taxonomía); sin embargo se requieren estudios en otras áreas, como son, la oceanografía física, perturbaciones ambientales, contaminación de aguas costeras, y geoquímica de sedimentos (*Jiménez-Hernández et al., 2007*); *Rosales et al., (2007)*, incursionaron en el SAV con trabajos de geoquímica, contaminación de agua y sedimento, los





cuales se pueden considerar insuficientes para poder hablar de un manejo sustentable de una reserva natural.

Rosales et al., 2007, estudiaron las implicaciones ambientales ocasionadas por metales pesados en sedimentos cercanos a Isla Sacrificios, Veracruz, analizando 25 muestras de sedimento superficial, evaluando elementos traza (V, Pb, Zn, Ni, Cr y Cu), elementos mayores (Al, Fe y Mn), carbonatos, materia orgánica, textura de sedimentos y usando análisis estadísticos, además de índices como el factor de enriquecimiento, el de efectos biológicos adversos y comparaciones con otras áreas costeras, llegaron a la conclusión de que los metales son aportados por tres fuentes distintas, los cuales fueron, el puerto de Veracruz, las descargas urbanas e industriales de la ciudad y el río Jamapa; por otro lado, las concentraciones de los metales en Isla Sacrificios se pueden considerar como adversas para los organismos, al encontrarse los seis elementos estudiados por arriba de lo establecido por el índice de efectos biológicos adversos.

La evaluación de la composición geoquímica de los sedimentos superficiales alrededor del ecosistema de Isla Sacrificios, Veracruz y la influencia temporal de las descargas naturales por medio del análisis de 23 puntos de muestreo, (Rosales et al., 2008), donde se fue recolectando sedimento superficial durante tres épocas del año (secas, lluvias y nortes), a los cuales se les determino elementos mayores ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $CO_3$ ,  $P_2O_5$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$ ,  $MgO$ ), textura y carbono orgánico; a través de análisis estadísticos, logran concluir que el tamaño de partícula dominante de la zona, está en función de las condiciones prevalecientes del área, las gravas encontradas en los sedimentos son aportados por la erosión de los arrecifes, infiriendo así que los sedimentos medios y finos son aportados por las descargas naturales y urbanas, la temporada de mayor influencia terrígena a Isla Sacrificios fue la de lluvias, pudiendo corroborar la variación estacional del lugar estudiado.

Se determinó la distribución de metales traza disueltos en los alrededores de la Isla Sacrificios (Rosales et al., 2009), ubicada en el Sistema Arrecifal Veracruzano, muy cerca del Puerto de Veracruz; a través del estudio de 23 muestras de agua, a las cuales se les analizaron parámetros como concentración de metales traza (Ni, Cu, Pb y V), nutrientes, salinidad, temperatura, pH, sólidos totales disueltos y con análisis estadísticos, pudieron concluir que las aguas de esta área son afectadas por las aguas residuales de las distintas actividades antropogénicas de la zona, las cuales son la causa de la presencia de V y Pb; por descargas de agua natural provenientes del río Jamapa, contribuyendo así a la aportación de Cu y Ni, y por último a las descargas de la planta de tratamiento de aguas, debido a su contribución en parte, de los nutrientes, sólidos totales disueltos y carbono orgánico total en las aguas cercanas a Isla Sacrificios.

El análisis de la posible afectación de la zona costera adyacente a la parte central del Estado de Veracruz, plantea las siguientes preguntas, y las posibles respuestas





1. ¿Los cambios de uso de tierra, la construcción de presas y otro tipo de infraestructura, han afectado el aporte de sedimentos a la zona central de la plataforma de Veracruz?

Sí, debido a la gran deforestación que se hace de las selvas de la región para generar zonas de pastoreo y tierras agrícolas, además del represamiento de los ríos afectan al aporte de los sedimentos.

No afectan porque la alta energía de oleaje generada por los nortes no permite el depósito de los sedimentos finos que puedan traer los ríos.

2. ¿El flujo de metales generado por las actividades antrópicas que se llevan a cabo en el continente, ha disminuido en los últimos años?

Sí, debido al cambio en las políticas ambientales tomadas por las autoridades y al control más estricto en el manejo de residuos generaron la disminución en el flujo de metales, comparado con los años de principios y mediados de siglo.

No, porque todos los residuos industriales, agrícolas y urbanos siguen siendo descargados sin control a los ríos, los cuales terminan en la zona costera de Veracruz

3. ¿La cantidad de sedimento aportado por los ríos que desembocan en la zona central de la plataforma del estado de Veracruz, han afectado al Sistema Arrecifal Veracruzano?

Sí, debido a que aporte de grandes cantidades de material fino por los tres ríos de la región, producen un aumento en la cantidad de material suspendido, bloqueando la penetración de luz del sol dentro de la columna de agua, la cual es necesaria para el crecimiento de los corales.

No, porque el sedimento fino es transportado a otras zonas rápidamente por las corrientes costeras del área de estudio.

4. ¿Metales como V, Cr, Pb, Zn, Ni, Cu, Co y As son aportados por los ríos que desembocan en el área?

Sí, porque en las márgenes de los dos ríos son descargados los desechos industriales, agrícolas y urbanos de varias ciudades y por la litología por donde atraviesan las aguas de los ríos.

No, porque la litología de la región no aporta este tipo de metales y las industrias presentes no generan este tipo de residuos.

5. ¿Los metales estudiados son de origen antrópico o natural?







Son de origen natural si los valores encontrados del factor de enriquecimiento, sugieren que son aportados por la litología de la zona.

Son de origen antrópico, si los valores encontrados del factor de enriquecimiento son arriba de uno, sugieren que son aportados por otras fuentes además de la litología del área.

6. ¿Las concentraciones de los metales presentes en el sedimento de las desembocaduras de los ríos se encuentran biodisponibles para los organismos que habitan en la zona?

Sí, Está en función de la forma química en que se encuentre el metal. Si los metales están en formas químicas tales como adsorbidos, en forma intercambiable o como carbonatos, están biodisponibles y pueden bajo condiciones naturales pasar a la forma disuelta.

No se encuentran biodisponibles, si los metales están asociados a la materia orgánica, a los óxidos de hierro y manganeso o a las estructuras minerales permanecerán en la fase sólida de los sedimentos.

7. ¿Cuál es la textura predominante en las muestras de sedimentos localizadas a mayor profundidad?

La textura predominante de los sedimentos de mar adentro, debe ser material fino ya que las profundidades son mayores a los 50 metros, y a esa profundidad existen condiciones de baja energía que permiten el depósito de las partículas finas, como son los limos y arcillas.

La textura será una mezcla de gravas, arenas y pocos sedimentos finos, debido a que los fuertes vientos y las corrientes marinas impiden la sedimentación de material fino.

8. ¿Cuáles son los sitios donde se están depositando los sedimentos finos y probablemente los metales aportados por los ríos?

Probablemente las zonas profundas de la plataforma sean los lugares donde se depositen los materiales finos y por ende sea factible encontrar altas concentraciones de metales, debido a la gran afinidad que tienen con este tipo de tamaño de partícula.

9. ¿Se podría hacer una reconstrucción histórica del flujo de metales con los núcleos recolectados?

Si, Se podría hacer una reconstrucción histórica de la zona, si los núcleos no se encuentren bioperturbados, se requiere que no se encuentren grandes contrastes de textura en los sedimentos, los que afecten la adsorción del isótopo del  $Pb^{210}$  y





Cs<sup>137</sup> y que no haya habido eventos como huracanes u otros fenómenos naturales que revuelva las capas de sedimento.

No se podría hacer una reconstrucción si se presenta algunos de los elementos expuestos arriba.

10. ¿Se pueden establecer los sitios de procedencia y depósito de los metales?

Con el empleo de mapas de distribución espacial de los sedimentos finos y de los factores de enriquecimiento de los metales, se puede establecer una dirección hacia donde están más enriquecidos los sedimentos

11. ¿Se puede generar información útil que apoye el manejo sustentable del SAV?

Toda la información generada de este trabajo será valiosa para poder realizar un manejo sustentable del SAV, debido a que no se cuenta con suficiente información del tipo de química y geología ambiental.

12. ¿Son diferentes las concentraciones de metales en las desembocaduras de los ríos Jamapa y Antigua?

Probablemente si sean diferentes las concentraciones de metales aportados por los dos ríos, debido a que no pasan por el mismo tipo de litología y presenta el área una diversidad en industrias las cuales aportarán diferente tipo de metales.

Probablemente no, porque los aportes antrópicos por parte de las actividades humanas que se llevan a cabo en las dos cuencas son despreciables.

Hipótesis nula:

Las distintas actividades antrópicas que han contribuido con aportes de metales a la zona costera de la parte central del estado de Veracruz, han quedado registradas en la columna sedimentaria, de tal forma que se pueden distinguir los cambios a lo largo de los últimos 70 años.

Hipótesis alterna:

Las condiciones de alta energía que caracterizan a la zona costera de la parte central del estado de Veracruz, impiden observar en la columna sedimentaria la influencia antrópica por metales, de tal manera que no se pueden distinguir los cambios a lo largo de los últimos años.





# Capítulo 3

Metodología





### 3.1 Metodología

En el mes de agosto de 2008 se realizó un crucero oceanográfico a bordo del B/O Justo Sierra de la UNAM, con el objetivo de llevar a cabo el proyecto “Evaluación ambiental de la porción norte del SAV y zona marítima adyacente de la plataforma continental somera del estado de Veracruz, México”, para realizar tal fin, se decidió dividir el área en tres secciones; en cada una se desplegó una cuadrícula lo más equidistante posible una de otra, con la finalidad de cubrir la máxima extensión de área; las primeras dos subzonas se ubicaron en las desembocaduras de los ríos La Antigua (15 estaciones y dos núcleos) y Jamapa (16 estaciones y dos núcleos), mientras que la última sección corresponde a la zona del talud continental (15 estaciones)(Figura 9)

La metodología se dividió en dos partes correspondientes al trabajo de campo y al trabajo de laboratorio.

### 3.2 Trabajo de campo

La tripulación científica necesaria para el desarrollo de la campaña y la colecta de datos y muestras estuvo constituida por 20 personas que fueron divididas en tres horarios de trabajo, esto con la finalidad de poder trabajar las 24 horas del día, además de la colaboración de la tripulación del barco en el manejo de la maquinaria pesada.

La rutina de muestreo en cada estación consistió en lo siguiente:

1. Localización de las estaciones. Para ubicar el punto de muestreo se utilizaba el GPS del barco (Global Position System) que indica latitud y longitud.
2. Posicionar la embarcación en el lugar, con los motores laterales de la embarcación y tratar de esta forma de evitar la deriva de la nave.
3. Registrar en una hoja de control, hora, latitud y longitud del sitio seleccionado.
4. Medición de la batimetría con la ecosonda del barco, registrándose el dato en la hoja de control.
5. Medición de parámetros fisicoquímicos (Salinidad, temperatura y oxígeno) mediante un perfil de cada parámetro presente en la columna de agua con el equipo CTD del barco.
6. Recolección del sedimento superficial por medio de una draga tipo Smith McIntyre o nucleador de caja tipo Reineck (se submuestreo el primer





centímetro del sedimento) (El uso de cada tipo de draga, dependía de la profundidad de la estación y de la cantidad de muestra requerida para otro tipo de estudios, como fue el caso de poliquetos).

7. Recolección de núcleos de sedimento con un nucleador de caja, para submuestrear después con tubos de PVC de 10 cm de diámetro y 60 cm de largo (Se tomó un núcleo para análisis químicos y otro para los análisis texturales).
8. Las muestras de sedimentos se guardaron en bolsas de plástico y se mantuvieron en refrigeración a 4°C hasta la realización de los análisis correspondientes. (El almacenaje primero fue hecho en un cuarto frío del barco y después fueron transportadas en hieleras hasta la ciudad de México, donde fueron almacenadas también en otro cuarto frío a una temperatura de 4°C).

### 3.3 Trabajo de laboratorio

En la **figura 8** se muestran de manera resumida los distintos análisis hechos tanto en los sedimentos superficiales como en los núcleos.

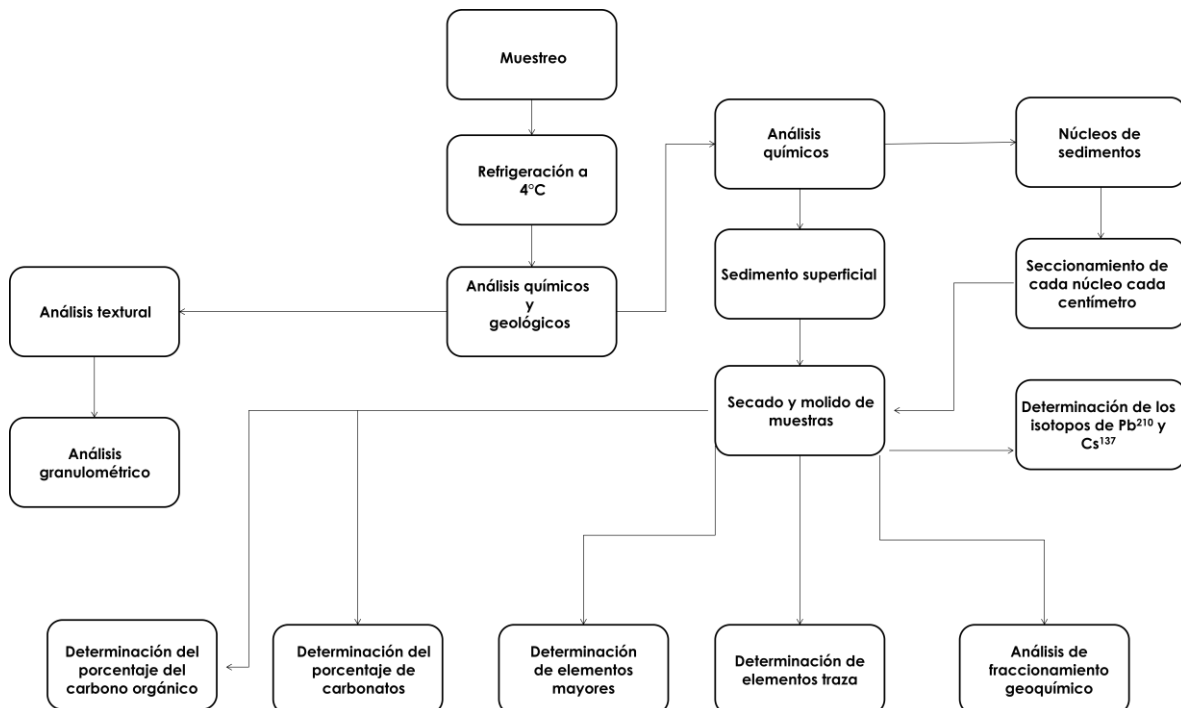


Figura 8. Diagrama general de los análisis hechos en sedimentos superficiales y en núcleos. Nota: en los núcleos no se realizó el análisis de fraccionamiento.





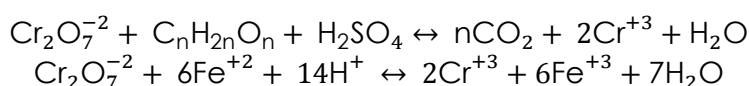
Todas las muestras de sedimento superficial, como también las secciones de cada núcleo, se separaron en dos partes, una fue tomada para realizar los análisis granulométricos y la otra parte de las muestras fueron secadas en una estufa a 50°C por dos días, una vez secas, fueron molidas en un molino SPEX 8000 MIXER/MILL, para finalmente ser depositadas en bolsas de plástico de 10 x 15 cm y etiquetadas con nombre del proyecto y número de muestra; una vez hecho los pasos anteriores, se tomaba el sedimento molido y seco para realizar los análisis de carbono orgánico, carbonatos, elementos traza, elementos mayores, fraccionamiento geoquímico e isotopos.

### 3.4 Determinación de carbono orgánico en sedimento

#### Fundamento:

Este procedimiento diferencia materia húmica de otras fuentes de carbono orgánico, se basa en la reacción de oxidación de la materia orgánica del sedimento, con dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$  y ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  concentrado que genera una reacción exotérmica, posteriormente el exceso de dicromato de potasio es titulado con  $FeSO_4NH_4$  0.5N.

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



El método presenta algunas desventajas, por la presencia de compuestos inorgánicos que consumen dicromato tales como  $CaCO_3$ , Cloruros solubles,  $Fe^{3+}$ , carbono elemental y óxidos de manganeso.

Se ha demostrado que el ión cloruro interfiere en la oxidación de la materia orgánica con el dicromato de potasio, reduciendo al ión cromato y originando un error positivo; propusieron el uso de  $H_3PO_4$ , el cual volatiliza la mayoría de los iones cloruro como HCl y reduce los halógenos restantes a nivel aceptable (<0.1 mg Cl-), en trabajos recientes [Loring y Rantala \(1992\)](#), usaron también  $H_2SO_4$  concentrado con sulfato de plata para eliminar las interferencia de los iones cloruro, la interferencia por iones férricos que al igual que los cloruros consume ión dicromato, se elimina con la adición de fluoruro de sodio (NaF) en la mezcla de digestión, por último los óxidos de manganeso se eliminan con ácido fosfórico, el cual forma fosfatos de manganeso los cuales son insolubles.





## Procedimiento

1. Pesar entre 0.2 y 0.5 g de sedimento seco y molido (La cantidad de muestra está en función del contenido de carbono orgánico, se coloca 1.0 g de sedimento en muestras que tienen menos de 1% de carbono orgánico).
2. Colocar la muestra de sedimento en un matraz Erlenmeyer de 500 mL y adicionar 5 mL de una solución de dicromato de potasio 1N (medidos con pipeta volumétrica) y mezclar.
3. Agregar 10 mL de una mezcla de ácido sulfúrico concentrado  $H_2SO_4$  y sulfato de plata  $Ag_2SO_4$ . (2.5 g de  $Ag_2SO_4$  por cada litro de  $H_2SO_4$ , es importante mezclar los reactivos con el sedimento de tal forma que no quede sedimento adherido a las paredes del recipiente y que no reaccione con los reactivos).
4. Dejar reposar la muestra por 30 minutos y aforar a 100 mL con agua bidestilada.
5. Agregar 5 mL de ácido fosfórico  $H_3PO_4$  al 85%, 0.1g de fluoruro de sodio NaF y 8 gotas de indicador (difenilamina).
6. Titular con una solución de sulfato ferroso amoniacal 0.5 N. El color vira de café verdoso-verde azul oscuro y en el punto de equivalencia pasa a un verde brillante.
7. Correr un blanco de referencia exactamente igual, pero sin sedimento.

Cálculos:

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \left[ \frac{(5)(1.0 \text{ N})(0.003)(100)}{W} \right] \left[ 1 - \frac{T}{S} \right]$$

T= mL de sulfato ferroso amoniacal  $FeSO_4NH_4$  gastado en la titulación de la muestra.

S= mL de sulfato ferroso amoniacal  $FeSO_4NH_4$  gastado en la titulación del blanco.

W= Peso de la muestra.

0.003=  $12/4000$  = peso meq del carbono.

1.0 N= Concentración de la solución de dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$ .

5 mL = Alícuota de la solución de dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$ .





## Estandarización

Para estandarizar el método –[tabla 5](#)–, se evaluó la exactitud y precisión con dextrosa  $C_6H_{12}O_6$ .

Para la exactitud, se pesaron 10 mg de dextrosa 10 veces. En el cálculo, se considera el valor teórico reportado para 10 mg es de 39.99% de carbono orgánico. Para determinar la precisión se analizó la cantidad de carbono orgánico total en una misma muestra 10 veces.

Valor promedio	39.27%
Valor esperado	39.27%
% recuperación	98.90%
IC	+ - 0.3
Desviación estándar	0.283
Coefficiente de variación	0.72%

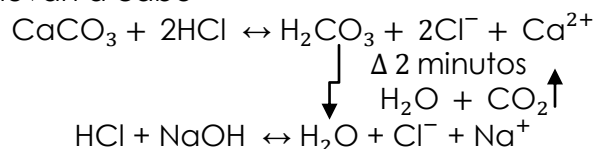
Tabla 5. Estandarización de carbono orgánico. n=10

### 3.5 Determinación del contenido de carbonatos en sedimento por titulación

#### Fundamento:

La técnica para la determinación del carbonato de calcio en sedimento marino, se basa en el principio de una titulación por retroceso, donde a la muestra de sedimento se le agrega un cierto volumen en exceso de ácido clorhídrico de concentración conocida y el ácido que no reacciona con los carbonatos se titula con una solución de hidróxido de sodio ([Hesse, 1971](#)).

Reacciones que se llevan a cabo



Al restar la cantidad de ácido que no reaccionó de la cantidad que adicionamos obtendremos la cantidad de ácido que fue consumido por el total de los carbonatos existentes en la muestra de sedimento ([Hesse, 1971](#)).

#### Procedimiento:

1. Pesar por duplicado 0.2 g de sedimento seco y molido.
2. Agregar 50 mL de ácido clorhídrico 0.1 N (previamente titulado contra carbonato de sodio como patrón primario) y calentar a ebullición. Dejar enfriar, de esta forma se elimina el dióxido de carbono.
3. Titular con una solución de hidróxido de sodio 0.3 N (previamente valorado contra biftalato de potasio como patrón primario) usando como indicador







azul de bromotimol cuyo pH de vire es de 6.0 – 8.6 y la solución cambia de amarillo a azul, lo cual indica que se ha llegado al punto final.

4. Correr tres blancos bajo las mismas condiciones de las muestras.

### Cálculos:

En la determinación se están cuantificando todos los carbonatos, pero como los de calcio son los que se encuentran en mayor concentración, se reportan y calculan como si fuese carbonato de calcio.

$V_{\text{Blanco}}$  = volumen de NaOH gastado al punto de equivalencia de la determinación en el blanco (mL).

$V_{\text{muestra}}$  = volumen de NaOH gastado al punto de equivalencia de la muestra (mL).

N = normalidad de la solución de hidróxido de sodio.

Meq = miliequivalentes de carbonato de calcio = 0.050.

W = peso de la muestra de sedimento (g).

$$\% \text{CO}_3 = \frac{(V_{\text{Blanco}} - V_{\text{muestra}}) \times N_{\text{NaOH}} \times \text{meqCO}_3^{+2}}{W_{\text{muestra}}} \times 100$$

### Estandarización

Para evaluar el método de determinación de carbonato de calcio en sedimento marino, se evaluó la precisión analizando la cantidad de carbonatos en una misma muestra –Tabla 6–.

La exactitud, se determinó pesando 0.2 g de carbonato de calcio previamente secados a 110 °C por 1 hora, realizando el mismo procedimiento para las muestras.

Valor promedio	97.38 %
Valor esperado	100 %
% recuperación	98.90 %
IC	+ - 0.3
Desviación estándar	0.81
Coefficiente de variación	0.84 %

Tabla 6. Estandarización de carbonatos. n=10





### 3.6 Análisis de elementos mayores por fluorescencia de rayos X

#### Fundamento:

La espectroscopia de rayos X, al igual que la óptica, se basa en la medida de la emisión, absorción, dispersión, fluorescencia y difracción de la radiación electromagnética. Los métodos de fluorescencia de rayos X son muy utilizados para la determinación cualitativa y cuantitativa de todos los elementos de la tabla periódica con números superiores al del sodio (Skoog, 2005).

Los elementos que se determinaron fueron los siguientes:  $Al_2O_3$ ,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ . Los análisis se mandaron a realizar al Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) en el instituto de Geología de la UNAM.

La exactitud de los resultados –Tabla 7- fue evaluada con el estándar certificado AGV-1, emitido por el USGS (United States Geological Survey).

Elementos	$SiO_2$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3^t$	$MnO$	$CaO$	$Na_2O$	$K_2O$	$P_2O_5$	PXC	Suma
Porcentaje	58.82	1.04	16.67	6.77	0.09	4.94	4.18	2.95	0.51	0	97.51

Tabla 7. Exactitud para el estándar certificado AGV-1. Nota: PXC = pérdida por calcinación y t= total.

### 3.7 Procedimiento de preparación de muestras para la determinación de elementos mayores reportado por el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) en el Instituto de Geología de la UNAM

1. Fundir 0.8 g de muestra y 7.2 g de fundente, constituido por  $Li_2B_4O_7$  y  $LiBO_2$ , grado ultrapuro, en relación 1:1. (La naturaleza granular, por su mayor densidad, favorece el llenado de los crisoles de una aleación Pt:Au (95:5)).
2. Realizar la fusión bajo un procedimiento programado que controla el calentamiento en un periodo total de aproximadamente 10 minutos. Se utiliza LiBr en solución acuosa y con composiciones de  $250\text{ gL}^{-1}$ , como agente no-mojante.

Nota: La relación muestra: fundente (1:9; dilución al 10% de la muestra) se seleccionó con base en pruebas, de tal manera que las muestras con composiciones extremas de  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  y  $MgO$  fueron fundidas y enfriadas, obteniéndose perlas de vidrio apropiadas para su medición (Lozano Santa Cruz et al, 1995)





### 3.8 Análisis de metales y tierras raras en sedimento superficial por ICP (MS).

Los sedimentos superficiales se mandaron al laboratorio de ICPMS del departamento de geoquímica del Instituto de Geología de la UNAM. Para los análisis de elementos traza y tierras raras; se utilizó un espectrómetro de masas modelo Agilent 7500ce.

### 3.9 Procedimiento reportado por el laboratorio de ICPMS del Instituto de Geología UNAM.

El procedimiento químico se lleva a cabo en laboratorio limpio clase ISO5 del IGL, UNAM.

1. Muestra homogeneizada de sedimento (~ 50 mg) se disuelve en una mezcla de ácidos triplemente destilados de HNO<sub>3</sub> y HF en viales de teflón PFA, manteniéndolos cerrados con tapa de rosca a 115°C durante 24-200h.
2. Una pequeña cantidad de HClO<sub>4</sub> se añade en la etapa de evaporación en casos donde se requiere de aumento de temperatura de evaporación y/o ambiente oxidante para completar la digestión.
3. La fusión con tetra-borato de litio seguida por digestión ácida se utiliza en muestras con minerales refractarios (por ej., rocas intrusivas).
4. El blanco del método, los estándares de calibración seleccionados de los materiales geológicos de referencia internacional (MGRI), el estándar de control de calidad (LABRM) y el estándar de sedimento marino MESS-3 se procesan junto con las muestras incógnitas.
5. Los residuos evaporados se disuelven un día antes del análisis instrumental en HNO<sub>3</sub> (2%), controlando gravimétricamente el total de sólidos disueltos <0.2%.
6. El instrumento de ICPMS (Agilent 7500ce) se optimiza para lograr el mejor compromiso entre la respuesta del detector (~ 10E5 cps/ppb), estabilidad (RSD<5%), formación de óxidos (<2%) y de iones doble cargados (<3%).
7. Los factores entre conteo en modos pulso y análogo se ajustan para todo el rango de masas.
8. La solución que contiene In y Re se añade en línea (15 ng mL<sup>-1</sup>) en calidad de estándar interno y LABRM se analiza repetidamente entre cada 5-15 muestras.





9. Los datos instrumentales se reducen fuera de línea utilizando hojas de cálculo del laboratorio.
10. Las cuentas por segundo se corrigen por interferencias isobáricas de óxido de bario y de tierras raras así como por estándar interno. Cada elemento se calibra en su propio rango entre 0.02 y 1000 ng mL<sup>-1</sup>, partiendo de los valores para MGRI reportados por Govindaraju (1994).
11. Se cuantifica la abundancia de cada elemento.
12. La calidad de resultados obtenidos se evalúa en réplicas de LABRM y de una muestra incógnita.

### **3.10 Análisis de isótopos de Pb<sup>210</sup> y Cs<sup>137</sup> usando espectrometría gamma**

#### **Fundamento:**

Es una técnica no destructiva que permite detectar la energía de radiación gamma generada por ciertos isótopos, sin la necesidad de separar de forma química los radionúclidos de interés, además de permitir la detección simultánea de distintos isótopos de elementos diferentes.

Los núcleos de sedimento se realizaron en el laboratorio de geoquímica de "The school of Environmental and Technology, University of Brighton", Reino Unido, para los análisis se utilizó un espectrómetro de rayos gamma HPGe de alta resolución marca Canberra.

### **3.11 Procedimiento de preparación de muestras para la determinación de isótopos de Pb<sup>210</sup> y Cs<sup>137</sup> hecho en el laboratorio de Geoquímica "the school of Environmental and Technology, University of Brighton" Reino Unido**

1. Moler 5 g de muestra en un mortero de ágata, hasta obtener polvo lo más fino posible.
2. Pesar un vial de plástico de forma cilíndrica con tapa.
3. Verter un poco de sedimento en el vial y compactar con una varilla de vidrio.
4. Repetir el paso anterior hasta llenar el vial con sedimento compactado hasta una marca, donde se representa un contenido aproximado de 3.5 g de sedimento.
5. Pesar el vial con la muestra y tapa.





6. Registrar el peso de la muestra.
7. Etiquetar el vial con nombre de la muestra, profundidad y masa de la muestra.
8. Colocar el vial en el equipo de espectrometría gamma.
9. Dejar analizar la muestra en el equipo aproximadamente 43200 s (12 h) con la excepción de las muestras que representan el fondo que se dejan un tiempo de 172800 s (48 h).

Nota: los tiempos empleados para el análisis fueron los sugeridos por la persona responsable del equipo según su experiencia, pero se debe a que en los primeros centímetros la concentración de los isótopos es mayor que en el fondo por lo que las muestras que representaban el fondo necesitaban más tiempo en el equipo.

### **3.12 Análisis de elementos traza por EAA (Espectroscopia de absorción atómica)**

#### **Fundamento:**

En la espectroscopia óptica, los elementos presentes en una muestra se convierten en átomos o iones elementales en estado gaseoso, por medio de un proceso denominado atomización. De esta manera, se mide la absorción ultravioleta/visible, la emisión o la fluorescencia de las especies atómicas en el vapor (Skoog, 2005).

Para evitar cualquier tipo de contaminación proveniente del material utilizado, se realizan los siguientes procedimientos de lavado de material, según se realice el análisis en un equipo de absorción atómica de flama o un horno de grafito; la diferencia en el proceso de lavado es debido a la sensibilidad de cada equipo.

### **3.13 Proceso de lavado del material- vidrio y plástico- para:**

#### **Absorción atómica de flama:**

1. Lavar con EXTRAN al 20 %.
2. Enjuagar con agua.
3. Dejar sumergido el material durante 20 minutos en ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al 30 %.
4. Enjuagar con agua destilada.
5. Enjuagar con agua tipo I (resistividad  $18.2 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ ).





### **Absorción atómica por horno de grafito:**

1. Lavar con EXTRAN al 20 %.
2. Enjuagar con agua.
3. Lavar en equipo de ultrasonido con HCl al 30 % durante 20 minutos.
4. Enjuagar en equipo de ultrasonido con agua destilada durante 20 minutos.
5. Lavar en equipo de ultrasonido con HNO<sub>3</sub> al 30 % durante 20 minutos.
6. Enjuagar en equipo de ultrasonido con agua bidestilada durante 20 minutos.
7. Enjuagar con agua suprapur en un equipo de ultrasonido durante 20 minutos.

Una vez lavado el material a utilizar, las muestras de sedimento se trataron con los siguientes procedimientos.

### **3.14 Extracción de metales en sedimento para absorción atómica.**

#### **Fundamento:**

Se basa en la descomposición total del sedimento, a través del uso de ácido fluorhídrico en combinación con ácidos oxidantes tales como el ácido nítrico y clorhídrico-, ya que el ácido fluorhídrico es el único ácido que disuelve completamente las estructuras minerales de los silicatos y libera los metales asociados tales como aluminio, hierro y litio (Loring y Rantala, 1992).

#### **Procedimiento:**

1. Pesar 0.5 g de sedimento (seco y molido) y vaciarlo en una bomba de teflón.
2. Adicionar los siguientes reactivos: 10 mL de H<sub>2</sub>O, 5 mL de HNO<sub>3</sub>, 4 mL de HF concentrado y 2 mL de HCl concentrado.
3. Tapar herméticamente.
4. Digerir las muestras en el horno de microondas (marca CEM), bajo las siguientes condiciones:





Etapa	Potencia (%)	Tiempo 1 (min)	Temperatura (°C)	Tiempo 2 (min)
1	80	10	180	40
2	100	10	185	20

Tabla 8. Programa para digestión de sedimentos. La potencia del microondas es de 1600 watts, de del cual en la tabla se indica el porcentaje empleado para este programa de digestión, el tiempo 1 corresponde al tiempo que tarda el equipo en llegar a la temperatura deseada, y el tiempo 2 corresponde al tiempo en que se mantiene las muestras a la temperatura seleccionada.

5. Después de pasar el tiempo de digestión y enfriar los vasos, vaciar el contenido de la bomba a matraces aforados de 25 mL de NALGENE que contengan 2 g de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ).
6. Aforar con agua bidestilada y agitar.
7. Vaciar la muestra a un tubo de NALGENE para centrifugadora y centrifugar a 600 rpm durante 5 minutos.
8. Decantar la muestra y transferirla a un frasco de polietileno limpio, etiquetar y refrigerar hasta su análisis.
9. Se digiere un blanco de reactivos, es decir se sigue el mismo procedimiento pero sin muestra.

### **3.15 Extracción de metales para análisis de fraccionamiento geoquímico en sedimento. (Usando el método de Tessier, modificado).**

#### **Fundamento:**

Un esquema de extracción secuencial, permite la liberación de los metales traza presentes dentro de las diferentes fracciones geoquímicas (fácilmente intercambiable, carbonatos, oxihidróxidos de hierro manganeso, materia orgánica y fracción residual) que se encuentran en los sedimentos, sometiendo a estos últimos a diferentes condiciones de temperatura y pH (Tessier, 1979).

#### **Procedimiento:**

1. Pesar 1 g de sedimento (seco y molido).
2. Agregar 8 mL de  $MgCl_2$  (1 M, pH=7), para después agitar durante 1 hora a 25 °C.
3. Decantar la fase líquida (que contiene la fracción I) en un tubo NALGENE, centrifugar a 600 rpm durante 10 minutos, para finalmente aforar en un





- matraz aforado de 25 mL y almacenar la fracción I en un frasco de polietileno.
4. Enjuagar con agua suprapura el sedimento y desechar esa agua.
  5. Agregar 8 mL de NaOAc (1 M ajustado a pH= 5), para después agitar 5 horas a 25 °C.
  6. Decantar la fase líquida (que contiene la fracción II) en un tubo NALGENE, centrifugar a 600 rpm durante 10 minutos, para finalmente aforar en un matraz aforado de 25 mL y almacenar la fracción II en un frasco de polietileno.
  7. Enjuagar con agua suprapura el sedimento y desechar esa agua.
  8. Agregar 20 mL de  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$  (0.04M en 25% v/v en HOAc), para después agitar 5 horas a 85 °C.
  9. Decantar la fase líquida (que contiene la fracción III) en un tubo NALGENE, centrifugar a 600 rpm durante 10 minutos, para finalmente aforar en un matraz aforado de 25 mL y almacenar la fracción III en un frasco de polietileno.
  10. Enjuagar con agua suprapura el sedimento y desechar esa agua.
  11. Agregar 8 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  (ajustado a pH =2 con  $\text{HNO}_3$ ), para después agitar 2 horas a 85 °C.
  12. Agregar 3 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  (ajustado a pH =2 con  $\text{HNO}_3$ ), para después agitar 3 horas a 85 °C.
  13. Agregar 5 mL de  $\text{NH}_4\text{OAc}$  (3.2 M aforado con  $\text{HNO}_3$  al 6%), para después agitar 30 minutos a 25°C.
  14. Decantar la fase líquida (que contiene la fracción IV) en un tubo NALGENE, centrifugar a 600 rpm durante 10 minutos, para finalmente aforar en un matraz aforado de 25 mL y almacenar la fracción IV en un frasco de polietileno.
  15. Enjuagar con agua suprapura el sedimento y desechar esa agua.







16. Agregar 10 mL de H<sub>2</sub>O, 5 mL de HNO<sub>3</sub>, 2 mL de HCl y 4 mL de HF, vaciar en un tubo de digestión, para ser digerido en un microondas a 185 °C. (siguiendo el programa de la [tabla 8](#)).
17. Verter la muestra digerida (que contiene la fracción V) en un tubo NALGENE, centrifugar a 600 rpm durante 10 minutos, para finalmente aforar en un matraz aforado de 25 mL y almacenar la fracción V en un frasco de polietileno.
18. Almacenar todas las fracciones a 4°C.

Una vez digeridas las muestras de sedimento para los análisis de fraccionamiento geoquímico, se prepararon las condiciones de trabajo para leer cada elemento en los espectrofotómetros de absorción atómica de flama, marca THERMO ELECTRON CORPORATION modelo S SERIES AA SPECTROMETER, horno de grafito, marca VARIAN modelo SPECTRA AA-100 y generador de hidruros marca THERMO ELECTRON CORPORATION modelo VP100 (Vapour system) Como se muestra en las [tablas 9, 10 y 11](#).

	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>
<b>Corriente de lámpara (mA)</b>	10	12	10
<b>Gas</b>	Aire-acetileno	Aire-acetileno	Aire-acetileno
<b>Longitud de onda (nm)</b>	248.3	403.0	213.9
<b>Rango de Trabajo (mg kg<sup>-1</sup>)</b>	1.1-11	0.4-4.4	0.2-2.2
<b>Sensibilidad para 0.4 abs. (mg kg<sup>-1</sup>)</b>	5	2	1

Tabla 9. Condiciones del espectrofotómetro de absorción atómica de flama.

	<b>As</b>
<b>Corriente de lámpara (mA)</b>	12
<b>Gas</b>	Aire-acetileno
<b>Longitud de onda (nm)</b>	193.7
<b>Rango de Trabajo (µg kg<sup>-1</sup>)</b>	6.16-61.6
<b>Sensibilidad para 0.1 abs. (µg kg<sup>-1</sup>)</b>	7

Tabla 10. Condiciones del espectrofotómetro del generador de hidruros.





	V	Cr	Ni	Zn	Cu	Pb
Longitud de onda (nm)	318.5	217.0	232.0	213.9	324.8	217.0
Ancho de abertura (nm)	0.2	1.0	0.2	0.2	0.5	1.0
Corriente de lámpara (mA)	20	7	4	10	4	4
Tipo de medición	Área de pico	Área de pico	Área de pico	Área de pico	Área de pico	Área de pico
Corrector de fondo	No	Si	Si	Si	Si	Si
Modificadores empleados	Pd 1000 mg L <sup>-1</sup>	Pd 1000 mg L <sup>-1</sup>	Pd 1000 mg L <sup>-1</sup>	Pd 1000 mg L <sup>-1</sup>	Pd 1000 mg L <sup>-1</sup>	Pd 1000 mg L <sup>-1</sup>
Volumen de modificadores	10 µL c/u	10 µL c/u	10 µL c/u	10 µL c/u	10 µL c/u	10 µL c/u
Volumen de muestra (µL)	10	10	10	10	10	10
Temperatura máxima de calcinado (°C)	1000	1400	1000	700	2350	2150
Temperatura de atomizado (°C)	2800	2600	2450	1100	2350	2150
Gas	Mezcla Ar-H <sub>2</sub>	Mezcla Ar-H <sub>2</sub>	Ar	Ar	Ar	Mezcla Ar-H <sub>2</sub>

Tabla 11. Condiciones del equipo de absorción atómica por horno de grafito.

### Cálculos:

Para obtener la concentración del elemento a partir de la concentración del equipo, se aplica la siguiente fórmula a cada muestra.

$$M = \frac{(M_{\text{mg L}^{-1}}^*) (\text{aforo}_L) (\text{dilución})}{\text{masa de muestra}_{(g)}}$$

M\* = concentración del elemento en mg L<sup>-1</sup> obtenida del equipo, a esta concentración se le resta el blanco.

M = concentración del metal en el sedimento mg kg<sup>-1</sup>.





### 3.16 Estandarización de los métodos analíticos.

Para la estandarización de los métodos analíticos en el procesamiento de sedimento superficial, núcleos y fraccionamiento geoquímico, se utilizaron para metales traza los siguientes estándares certificados: sedimento marino NCR-CNRC MESS-3 y sedimento estuarino PACS-2. Cada estándar certificado se procesó bajo las mismas condiciones que las muestras y los resultados de los porcentajes de recuperación se presentan en las **tablas 12, 13 y 14**.

<b>MESS-3</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Cr</b>	<b>V</b>	<b>Co</b>	<b>Cd</b>	<b>As</b>
<b>Concentración experimental</b>	31.32	43.94	157.45	19.59	109.51	239.90	13.26	0.10	18.89
<b>Concentración reportada</b>	33.90	46.90	159.00	21.10	105.00	243.00	14.40	0.24	21.20
<b>% Recobro</b>	<b>92.3</b>	<b>93.6</b>	<b>98.90</b>	<b>92.8</b>	<b>103.8</b>	<b>98.7</b>	<b>92.1</b>	<b>41.6</b>	<b>89.1</b>

Tabla 12. Porcentaje de recuperación para el estándar MESS-3 (Concentración reportada en mg kg<sup>-1</sup>). Analizado en ICP.

<b>PACS-2</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Cr</b>	<b>V</b>	<b>As</b>
<b>D.T.</b>	<b>310.00</b>	<b>39.50</b>	<b>364.00</b>	<b>183.00</b>	<b>90.70</b>	<b>133.00</b>	<b>26.20</b>
<b>Frac. V</b>	64.47	22.89	62.70	63.80	56.93	91.11	10.14
<b>Frac. IV</b>	217.21	3.99	15.32	4.35	19.40	1.83	0.67
<b>Frac. III</b>	15.31	6.22	114.53	77.34	6.70	30.36	4.45
<b>Frac. II</b>	50.99	0.97	150.12	39.64	2.19	1.52	0.23
<b>Frac. I</b>	1.00	0.58	14.83	N.D	0.20	0.22	N.D
<b>Suma total</b>	<b>348.98</b>	<b>34.65</b>	<b>357.50</b>	<b>185.13</b>	<b>85.42</b>	<b>125.04</b>	<b>15.49</b>
<b>% Recobro</b>	<b>112.57</b>	<b>87.72</b>	<b>98.21</b>	<b>101.16</b>	<b>94.18</b>	<b>94.02</b>	<b>59.12</b>
<b>L.D</b>	0.00052	0.0027	0.006	0.0037	0.00052	0.00913	

Tabla 13. Porcentaje de recuperación para el estándar PACS-2 (Concentración reportada en mg kg<sup>-1</sup>). Analizado en AAF, GF y HG (para As).





PACS-2	Fe	Mn
D.T.	40900.00	440.00
Frac. V	30289.22	348.56
Frac. IV	2333.43	16.42
Frac. III	6784.18	41.66
Frac. II	265.44	5.44
Frac. I	N.D	3.25
<b>Suma total</b>	<b>39672.27</b>	<b>415.33</b>
<b>% Recobro</b>	<b>97.00</b>	<b>94.39</b>
L.D	0.0687	0.0132

Tabla 14. Porcentaje de recuperación para el estándar PACS-2 (Concentración reportada en mg kg<sup>-1</sup>), Analizado en AAF.

### 3.17 Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se realizó en el laboratorio de Geología Marina del ICMYL, y se utilizó un equipo de difracción láser Coulter modelo LS230 (small volumen plus).

El equipo puede detectar tamaños de partícula de 0.4 µm (arcillas) hasta 2000 µm (arena gruesa). En el caso de que una muestra presente gravas, se tamiza y separarán las gravas de las arenas, limos y arcillas, para ser cuantificadas al final; mientras la otra parte es analizada en el equipo de difracción laser, reajustándose los valores obtenidos con el porcentaje de gravas de la muestra.

### 3.18 Procedimiento reportado por el Laboratorio de Geología Marina del ICMYL

1. Se toma una pequeña porción (5 g), lo más homogénea posible, con la finalidad de tomar una parte representativa de toda la muestra.
2. La porción de la muestra se coloca en un vaso de precipitado del 50 mL, con una solución de dispersante de hexametáfosfato de sodio (100 g en un litro de agua destilada).
3. Dejar interaccionar el dispersante con el sedimento un tiempo de 24 horas para que se disgreguen así todas las partículas.
4. Transcurrido las 24 horas, se agita y homogeniza la muestra.
5. Tomar con una pipeta pasteur una pequeña cantidad para ser adicionada al instrumento.





## 6. Iniciar el análisis de tamaño de partículas.

Una vez analizada la muestra, el equipo manda la información a la computadora y transforma la información detectada en una gráfica (% de volumen de muestras vs diámetro de partículas), señalando también un listado de porcentajes de tamaño de partículas detectados, además de otros parámetros utilizados en sedimentología, como tamaño gráfico promedio, desviación estándar, grado de asimetría y curtosis.

### 3.19 Cálculo de los distintos índices de calidad del sedimento (Factor de enriquecimiento, índice de geocumulación, grado de contaminación y grado de contaminación modificado)

El **factor de enriquecimiento** se calcula con la siguiente expresión:

$$EF = \frac{\left(\frac{X}{Al}\right)_{\text{sedimento}}}{\left(\frac{X}{Al}\right)_{\text{corteza}}}$$

Se deben dividir los resultados de cada metal - X - con la concentración encontrada de aluminio en la muestra - a la división se le conoce como normalizar los datos; después se divide la concentración del metal y aluminio promedio presente en la corteza terrestre (o los valores de fondo del sitio de estudio), se normalizan los resultados con aluminio porque representan a los aluminosilicatos, los cuales son los minerales que predominan en los sedimentos costeros (Chiu W.C. et al; 2007), al realizar la normalización se trata de eliminar el efecto del tamaño de partícula en la concentración de los metales en el sedimento. También se pueden utilizar elementos como Fe y Li para realizar esta normalización debido a que se encuentran en altas concentraciones en la corteza terrestre.

El **índice de geocumulación** se calcula con la siguiente expresión:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5B_n} \right)$$

Se debe calcular el logaritmo en base dos de la división entre la concentración del elemento a analizar -  $C_n$  - y la concentración característica de la zona  $B_n$  y un factor que considera las variaciones en la litología cuyo valor es 1.5 (Müller, 1969).





El grado de contaminación se calcula con las siguientes expresiones:

$$C_f = \frac{M_x}{M_B}$$

$$C_d = \sum_{i=1}^8 C_f^i$$

El **grado de contaminación** - $C_d$ - se define como la suma de 8 factores de contaminación - $C_f$ - de ocho contaminantes en específico (7 metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn) y 1 contaminante orgánico (PCB), el factor de contaminación ( $C_f$ ) se calcula con la división de la concentración del elemento analizado ( $M_x$ ) entre la concentración de ese elemento encontrado en un valor de referencia ( $M_B$ ) (promedio de la corteza continental o valores de fondo) (Hakanson, 1980).

El **grado de contaminación modificado** se calcula con la siguiente expresión

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_f^i}{n}$$

$$C_f = \frac{M_x}{M_B}$$

Este índice se define como la suma de todos los factores de contaminación ( $C_f$ ) para cualquier número de contaminantes dados y deben ser divididos por el número de contaminantes analizados, el factor de contaminación se calcula de la misma forma que el grado de contaminación (Abraham, 2008).

### 3.20 Tratamiento estadístico de la información

Una vez obtenidos los resultados de granulometría, porcentaje de carbono orgánico, porcentaje de carbonatos, elementos mayores y traza, se les calculó a cada uno de ellos, el promedio, máximo, mínimo, desviación estándar y coeficiente de variación, presentados en la **tabla 15**.

Nombre	Fórmula
Promedio	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$
Desviación estándar	$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$
Máximo	Valor máximo de la muestra
Mínimo	Valor mínimo de la muestra
Coeficiente de variación	$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$
$\sigma = S$ Desviación estándar	

Tabla 15. Formulas estadísticas.





### **Análisis de factores**

Es una técnica de análisis multivariante que permite reducir la complejidad de las matrices de datos experimentales, permite también el reconocimiento e identificación de cuáles son las causas de variación presentes en matrices de datos además de ayudar a realizar predicciones o inferencias.

### **Análisis de clúster**

El análisis de cluster es una técnica de análisis multivariado, cuyo principal objetivo es el de agrupar un conjunto de muestras que posean características similares unas con otras, permitiendo esto examinar las relaciones o similitudes que hay entre los miembros de un grupo y también comparar las diferencias que hay entre otros grupos formados en el mismo cluster.





# Capítulo 4

Área de  
Investigación  
en  
Ciencias del Mar y  
Limnología







#### 4.1 ÁREA DE ESTUDIO

La parte central del estado de Veracruz, se encuentra localizada entre las coordenadas  $19^{\circ}42'6.26''$  y  $18^{\circ}53'45.06''$  latitud norte y  $96^{\circ}29'53.8''$ ,  $94^{\circ}54'6.84''$  longitud oeste, cubriendo una extensión de aproximadamente de  $18,709 \text{ km}^2$  (Figura 9), dentro de esta área descargan sus aguas los ríos Antigua y Jamapa, siendo estos pertenecientes a la región hidrográfica centro.

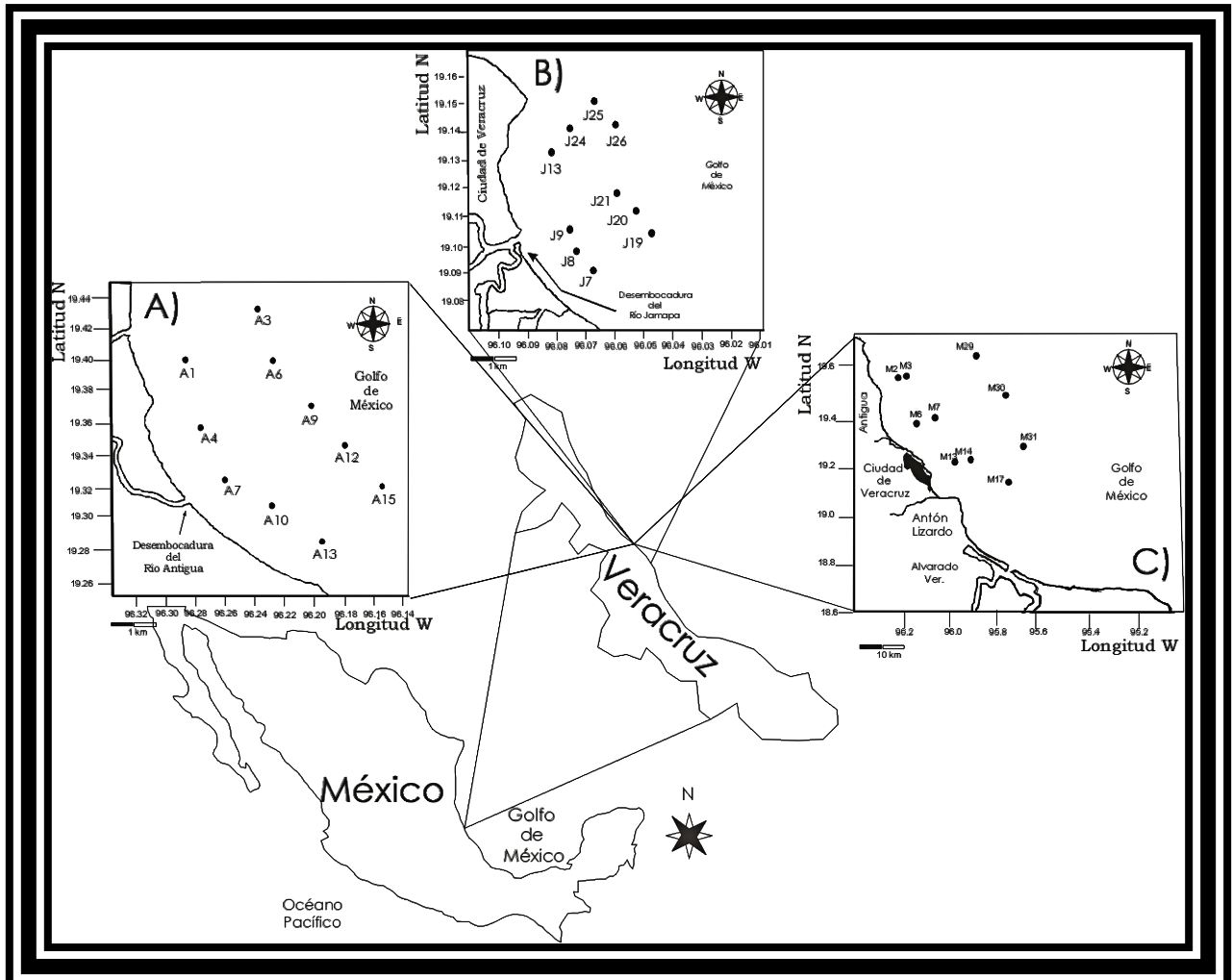


Figura 9. Área de estudio

A) Desembocadura del río La Antigua, B) Desembocadura del río Jamapa, C) Talud Continental





## 4.2 Cuenca del río La Antigua

El río La Antigua nace en el estado de Puebla, entre el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba, su desembocadura se encuentra a 20 km al noroeste del puerto de Veracruz (Figura 10), su flujo anual promedio es de 2,820 millones de metros cúbicos de agua (Tamayo, 2001), sus afluentes más importantes son los ríos Matlacobalt y Los pescados, sobre el cauce del río se encuentran las presas La Antigua y el Carrizal; la extensión de su cuenca de drenaje es de aproximadamente 2,293.67 km<sup>2</sup>, atraviesa 14 municipios del estado de Veracruz, donde viven 303,530 habitantes que representan el 13.0% de la población total del estado, los municipios más poblados son Coatepec, Xico y Paso de Ovejas donde se concentran el 50.88% de la población, mientras que los de mayor extensión territorial son Puente Nacional, Paso de Ovejas y Coatepec con 383.76 km<sup>2</sup>, 387.83 km<sup>2</sup> y 202.44 km<sup>2</sup> cada uno, que corresponde al 42.43 % del total; en general el 35.47% de la superficie de esta zona se usa para la agricultura, el 32.6% para la ganadería y solamente el 0.58% (Tabla 16) lo ocupan las áreas urbanas.

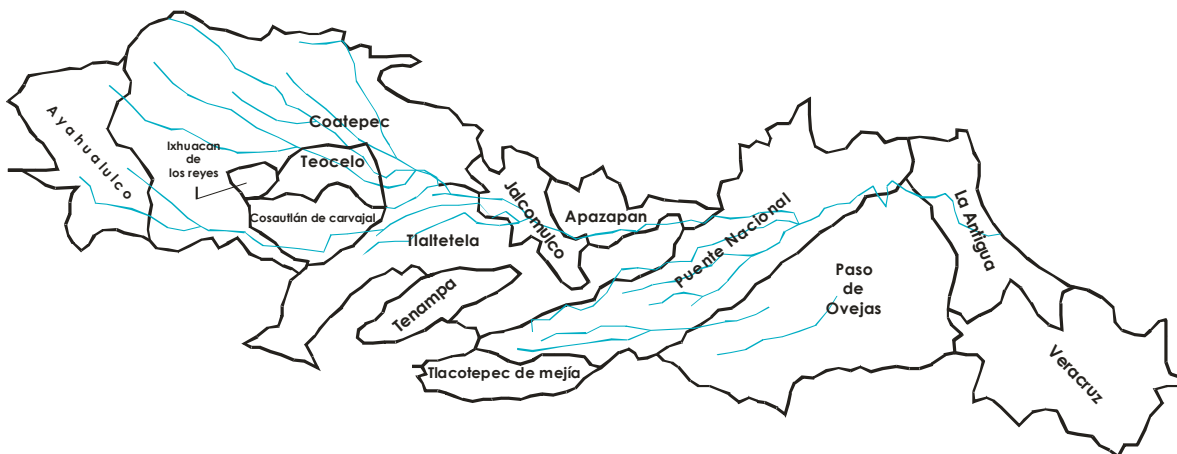


Figura 10. Cuenca hidrológica del río La Antigua





### 4.3 Uso de suelo en la cuenca del río La Antigua

En la cuenca del río La Antigua, el principal uso del suelo es para las actividades agropecuarias, debido a que aproximadamente 1071.37 kilómetros cuadrados de tierra, son empleados para la agricultura, siendo los municipios de Ayahualulco, Coatepec, Paso de Ovejas, Puente Nacional, Apazapan y Tlaltetela los que tienen mayor superficie dedicada a esta actividad, la ganadería es la segunda actividad que ocupa el 32.6% de la superficie total de la región (2,293.97 km<sup>2</sup>), siendo Paso de Ovejas, Puente Nacional, Tlaltetela y Xico los que dedican una mayor cantidad de terreno para este fin (Tabla 16). Por otro lado, las áreas urbanas ocupan el 0.58% del territorio de la extensión total de todos los municipios, siendo La Antigua, Coatepec y Paso de Ovejas los que tienen mayor área urbana, poseyendo cada uno 4.61 km<sup>2</sup>, 4.26 km<sup>2</sup> y 2.09 km<sup>2</sup>, (Tabla 16), estos valores indican el bajo desarrollo industrial y urbano de la cuenca, ya que si se compara con el municipio de Veracruz, se puede observar que este solo sitio tiene 2.6 veces más área urbana (35.68 km<sup>2</sup>) en su territorio que el que se encuentra en esta zona.

Municipio	Uso de suelo			
	Área total	Área urbana	Área agrícola	Área ganadera
La Antigua	131.45	4.61	32.14	44.52
Apazapan	67.27	0.02	91.75	21.67
Ayahualulco	172.83	0.68	286.1	24.31
Coatepec	202.44	4.26	143.10	36.47
Cosautlan de Carvajal	76.59	0.00	44.67	7.36
Ixhuacan de los Reyes	149.81	0.00	13.13	53.09
Jalcomulco	72.35	0.31	26.24	10.24
Paso de Ovejas	387.83	2.09	110.47	211.88
Puente Nacional	383.76	0.90	107.07	119.10
Tenampa	65.31	0.00	32.61	21.16
Teocelo	60.77	0.56	33.49	12.00
Tlacotepec de Mejía	65.4	0.00	26.84	13.54
Tlaltetela	278.52	0.00	82.93	93.80
Xico	179.64	0.00	40.77	80.09
<b>Total</b>	<b>2293.97</b>	<b>13.43</b>	<b>1071.37</b>	<b>749.23</b>

Tabla 16. Superficie total, urbana, agrícola y ganadera de cada uno de los municipios que pertenecen a la cuenca del río La Antigua. (Modificado de INEGI, 2012). Nota: El área agrícola es una aproximación, se obtuvo sumando la superficie sembrada de los cultivos principales y se puede contabilizar una superficie más de una vez si se siembra por lo menos dos veces en el año dependiendo del tipo de cultivo. (Unidades en km<sup>2</sup>).





#### 4.4 Población en la cuenca del río La Antigua

En los últimos 60 años la población de la cuenca ha aumentado un 168.2% comparado con la población reportada por el INEGI en el año de 1960 (Tabla 17), al incrementarse la población, al pasar el tiempo el estrés ambiental sobre la cuenca ha ido en aumento al haber más personas en demanda de servicios y trabajo; las proporciones de la cantidad de personas que habitan cada municipio se han conservado relativamente similares, siendo Coatepec el municipio más poblado en 1960, 1970, 1990, 2000 y 2010, seguidos de Xico, Paso de Ovejas, La Antigua, Ayuhualulco y Puente Nacional. Si en estos municipios se suma la cantidad de habitantes registrados en 2010, se observa que en estos sitios habita el 74.79% de la población total mientras Tlacotepec de Mejía es el menos poblado con 3,965 habitantes en 2010.

Año	Cuenca del río Antigua	
	Población No. de habitantes	Incremento %
1960	113,153	
1970	136,306	20.4
1980	192,921	70.5
1990	233,936	106.7
2000	266,205	135.3
2010	303,530	168.2

Tabla 17. Crecimiento de la población en la cuenca del río La Antigua, INEGI, 1984, 1995, 2000 y 2012.





#### 4.5 Actividad industrial en la cuenca del río La Antigua

Una forma indirecta de medir la actividad industrial de una zona, es la contabilización del consumo de energía eléctrica, por parte del sector industrial y de servicios.

En el caso de la cuenca del río La Antigua, el consumo de energía eléctrica por parte del sector industrial y de servicios en el año 2010 aumentó 314% mas al registrado en el año de 1990 y mientras que en el año 2000 fue de 23.3% (Tabla 18), lo cual sugirió un aumento considerable de la actividad industrial en la región. El municipio de Apazapan era el menos desarrollado de la cuenca en este sector al consumir 0.18 y 0.01 GWatts en los años 90's y 00's pero en la última década sufrió un mayor desarrollo al consumir 86.84 GWatts en el 2010; por otro lado de acuerdo a los dato de consumo de energía, los municipios con un mayor desarrollo industrial son Apazapan, Coatepec y La Antigua, al consumir el 47.0%, 34.9% y 10.4% de la energía total en el año de 2010.

En general se puede decir que la zona basa su economía en las actividades agropecuarias en lugar de las industriales, ya que los 185.70 GWatts consumidos en 2010 son muy inferiores comparado con el del municipio de Veracruz, el cual consumió por si solo 1679.43 GWatts en ese mismo año.

Según lo reportado por el INEGI, 2012, el tipo de industria establecida en el área es del sector de manufactura sin especificar cuáles son los procesos que se llevan a cabo por estas empresas, con la excepción de la industria azucarera, donde se ocupa un porcentaje considerable del sector de la población, por lo que se menciona la presencia de 2 ingenios azucareros El Modelo (La Antigua) y Mahuixtlan (Coatepec), los cuales consumen la producción de caña de azúcar sembrada en la región (INEGI, 2012).

Cuenca del río Antigua		
Año	Consumo de energía eléctrica por parte del sector industrial y de servicios	Incremento %
1990	44.61	
2000	55.00	23.3
2010	184.70	314.0

Tabla 18. Consumo de energía eléctrica por parte de la industria y los servicios en los municipios que pertenecen a la cuenca del río La Antigua, Modificado del INEGI 1995 y 2000 (se obtuvo de la suma del uso industrial y comercial) y 2012 (unidades están en Giga Watts)





#### 4.6 Actividad agrícola en la cuenca del río La Antigua

Los principales cultivos que se siembran en la cuenca del río La Antigua son el café, caña de azúcar y maíz, también, pero en menor proporción frijol, sorgo, papa, chile verde, sandía, naranja, mango, limón, plátano, piña y papaya.

La superficie sembrada en los años de 1994 y 2000 fue menor a la reportada en el año de 1970, siendo hasta el año 2010 donde hay un incremento del 36.2% mas al visto en 1970. Si se compara a partir del año de 1995, la superficie sembrada de la cuenca aumentó 1.05 y 1.59 veces en los años 2000 y 2010 (Tabla 19), esto indica que en vez de tener un desarrollo considerable en la cuenca por parte de la actividad agrícola esta ha tenido un aumento moderado, probablemente por el tipo de cultivos que podrían predominar, como por ejemplo el café, el cual solo se puede cosechar una sola vez al año, o a que una parte de las tierras de cultivo son de temporal, lo que impide poder sembrar más de una o dos veces al año.

Tradicionalmente los municipios de Coatepec, Paso de Ovejas y Puente Nacional son los que han tenido las mayores áreas sembradas, con excepción del 2010, donde el municipio de Ayahualulco incremento en la última década un 675.0% su área dedicada a la agricultura al compararla con la superficie sembrada en 1970.

Cuenca del río Antigua		
Año	Superficie sembrada	Incremento %
1970	786.52	
1994	674.56	-14.23
2000	710.95	-9.60
2010	1071.37	36.2

Tabla 19. Superficie total sembrada en cada uno de los municipios que pertenecen a la cuenca del río La Antigua, Modificado de INEGI, 1984, 1995 y 2000 (valor aproximado, se obtuvo sumando la superficie sembrada de los cultivos principales), 2012, (Unidades están en km<sup>2</sup>).





#### 4.7 Actividad ganadera en la cuenca del río La Antigua

La superficie dedicada a la ganadería ha disminuido en las últimas décadas al compararse con lo reportado en el año de 1994 (Tabla 20), sugiriendo que no se han deforestado más bosques o selvas para aumentar esta actividad; Paso de Ovejas y Puente Nacional son los dos municipios que dedican mayor superficie para la crianza de ganado, siendo esto probablemente debido a que son los municipios con mayor extensión territorial.

Las Aves, el ganado bovino y porcino comparado con el ganado ovino, equino y caprino son los que predominan en mayor proporción (INEGI 2012).

Cuenca del río Antigua		
Año	Superficie dedicada a la ganadería	Incremento %
1994	790.45	
2000	706.12	-10.6
2010	749.23	-5.2

Tabla 20. Superficie total dedicada a la ganadería en cada uno de los municipios que pertenecen a la cuenca del río La Antigua. Modificado de INEGI 1995, 2000 y 2012. (Unidades en km<sup>2</sup>).





#### 4.8 Plantas de tratamiento de aguas residuales Instaladas en la cuenca del río La Antigua

En la región de La Antigua se encuentran instaladas 14 plantas de tratamiento de aguas residuales, de las cuales, 8 tienen la posibilidad de remover materiales orgánicos coloidales y disueltos, mientras que las otras 6 dan un tratamiento primario; Coatepec es el municipio que tiene una mayor capacidad de procesamiento de este tipo de desechos, al tener más plantas instaladas que le permiten manejar un volumen de 7.59 millones de metros cúbicos de agua, seguido de La Antigua que aunque posee una sola planta, tiene una capacidad de 3.42 millones de metros cúbicos, (Tabla 21).

Municipio	Plantas Totales	Tipo de tratamiento			Volumen tratado Mm <sup>3</sup>
		primario	secundario	terciario	
La Antigua	1		1		3.42
Apazapan					
Ayahualulco					
Coatepec	9	4	5		7.59
Cosautlan de Carvajal					
Ixhuacan de los Reyes	1		1		0.06
Jalcomulco	1		1		0.19
Paso de Ovejas					
Puente Nacional					
Tenampa					
Teocelo	1	1			0.04
Tlacotepec de Mejía					
Tlaltetela					
Xico	1	1			0.01
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>11.31</b>

Tabla 21. Plantas de tratamiento en operación y volumen tratado en la cuenca del río La Antigua en 2011. Modificado de INEGI 2012. Nota: el tratamiento primario se refiere a ajuste de pH y remoción de materiales orgánicos y/o inorgánicos en suspensión con tamaño igual o mayor a 0.1 mm; secundario se refiere a remoción de materiales orgánicos coloidales y disueltos y terciario se refiere a remoción de materiales disueltos que incluyen gases, sustancias orgánicas naturales y sintéticas, iones, bacterias y virus (unidades del volumen tratado son en millones de metros cúbicos).

#### 4.9 Presas instaladas en la cuenca del río La Antigua

Sobre la cuenca del río La Antigua se encuentran instaladas 9 presas (Tabla 22), las cuales se están distribuidas en 6 de los 14 municipios que tienen una mayor producción agrícola, ganadera e industrial; las presas de El Sol y Chalahuite se encuentran fuera de funcionamiento, las instalaciones más actuales fueron construidas a finales de los años 70's y principios de los 80's.

Municipio	Nombre oficial de la presa	Num. ID (CONAGUA)	Año	Cuenca	Corriente
Acajete	El Sol (inconclusa)	3698	1979	R. Antigua	R. Los Laureles
Acajete	Alto Pixquiac	3647	1979	R. Antigua	R. Pixquiac
Apazapan	Der. El Carrizal	3663	1971	R. Antigua	R. Los Pescados
Coatepec	Der. Coatepec	3668	N.D	R. Antigua	R. Pixquiac
Coatepec	Der. Bella Esperanza	3655	1949	R. Antigua	R. Pixquiac
Comapa	San Francisco Nacaxtle	5264	1985	R. Antigua	Innominada
Puente Nacional	Der. La Antigua	3651	1951	R. Antigua	R. Antigua
Úrsulo Galván	Der. Chalahuite (destruida)	3657	1958	R. Antigua	A. Agua Fría

Tabla 22. Presas instaladas en la cuenca del río La Antigua. N.D : No hay dato.







#### 4.10 Litología en la cuenca del río La Antigua

En el 50% de los 14 municipios que integran el total de la cuenca del río Antigua predominan solamente rocas ígneas extrusivas básicas, el 28.6% del territorio prevalecen rocas sedimentarias e ígneas extrusivas básicas, un 14.3% presenta rocas sedimentarias y suelos y por último en el 7.14 % predominan suelos y rocas ígneas extrusivas básicas (Tabla 23).

Las rocas sedimentarias están constituidas por conglomerados, calizas y areniscas las cuales pertenecen a la era mesozoica y cenozoica, al periodo del cretáceo y terciario. Las rocas ígneas extrusivas pertenecen a la era cenozoica del periodo cretácico superior. Los suelos son de la era del cenozoico periodo cuaternario reciente.

Municipio	Tipo de roca		
La Antigua	Conglomerado	Suelo	
Apazapan	Conglomerado	Ígnea extrusiva básica	
Ayahualuco	Ígnea extrusiva básica	Ígnea extrusiva intermedia	
Coatepec	Ígnea extrusiva básica	Caliza	Arenisca
Cosautlan de Carvajal	Ígnea extrusiva básica		
Ixhuacan de los Reyes	Ígnea extrusiva básica		
Jalcomulco	Ígnea extrusiva básica	Caliza	
Paso de Ovejas	Conglomerado	Suelo	
Puente Nacional	Suelo	Ígnea extrusiva básica	Conglomerado
Tenampa	Ígnea extrusiva básica		
Teocelo	Ígnea extrusiva básica		
Tlacotepec de Mejía	Conglomerado	Ígnea extrusiva básica	
Tlaltetela	Ígnea extrusiva básica		
Xico	Ígnea extrusiva básica		

Tabla 23. Litología predominante en la cuenca del río La Antigua, INEGI, 1984.





#### 4.11 Tipo de clima predominante en la cuenca del río La Antigua

Siguiendo la clasificación de Peter Kropfen, en el 50% de los municipios de la cuenca predomina únicamente el clima tropical, el 35.7% del territorio imperan los climas tropical y templado, mientras que el 7.1% prevalece solamente el clima seco y finalmente en el 7.1% domina exclusivamente el clima templado (Tabla 24).

En general el régimen de lluvias es en verano, puede haber precipitaciones desde los 1500 hasta los 2000 mm dependiendo de la altitud, las temperaturas promedio anuales pueden variar desde 10 hasta los 25°C dependiendo de la altitud sobre el nivel del mar a la que se encuentre.

Municipio	Tipo de clima	Grupo	Símbolo	Tipo de clima
La Antigua	Aw		Af	Tropical con lluvias todo el año
Apazapan	Am	<b>Tropical</b>	Am	Tropical con lluvias de monzón
Ayahualuco	Bs		Aw	Tropical con lluvias de verano
Coatepec	Am			
Cosautlan de Carvajal	Cw	Am	<b>Seco</b>	Seco estepario
Ixhuacan de los Reyes	Cw		Bw	Seco desértico
Jalcomulco	Am			
Paso de Ovejas	Aw		Cf	Templado con lluvias todo el año
Puente Nacional	Am	Aw	<b>Templado</b>	Templado con lluvias en verano
Tenampa			Cs	Templado con lluvias en invierno
Teocelo	Cw	Am		
Tlacotepec de Mejía	Am		<b>Polar</b>	Polar alta montaña
Tlaltetela	Cw	Am		
Xico	Cw	Am		

Tabla 24. Tipo de clima predominante en la cuenca del río Antigua según la clasificación de Peter Kropfen.





#### 4.12 Cuenca del río Jamapa

El río Jamapa nace en las faldas del Pico de Orizaba en el estado de Puebla, desemboca en el Golfo de México en la zona conocida como Boca del Río, su escurrimiento promedio anual es de 1,895 millones de metros cúbicos de agua (Tamayo, 2001), sus afluentes más importantes son los ríos Chavaxtla, Boca del Monte y Cotaxtla o Atoyac; a lo largo de su cauce se encuentran las presas Alfredo V. Bonfil, Santa Anita, El Chiquihuite, Mata de gallo, Los Limos, Hermanos Calderón, La Oaxaquilla y El Tejar; por otro lado la extensión de su cuenca es de 4,630.48 km<sup>2</sup> (el cual considera la cuenca del río Atoyac), atraviesa 24 municipios del estado de Veracruz (Figura 11) donde se alberga a 1,352,755 habitantes que representa al 17.7% de la población total del estado, los municipios más poblados son Veracruz (el más poblada del estado), Cordoba y Boca del Río, mientras los ayuntamientos con más territorio son Cotaxtla, Paso del Macho, Medellín y Comapa que cuentan con 537.8 km<sup>2</sup>, 398.97 km<sup>2</sup>, 398.20 km<sup>2</sup> y 311.78 km<sup>2</sup>, (Tabla 11), en general el 33.36 % de su área es empleada para la ganadería, seguida con el 31.61% para la agricultura y 2.05% son zonas urbanas, (Tabla 11).

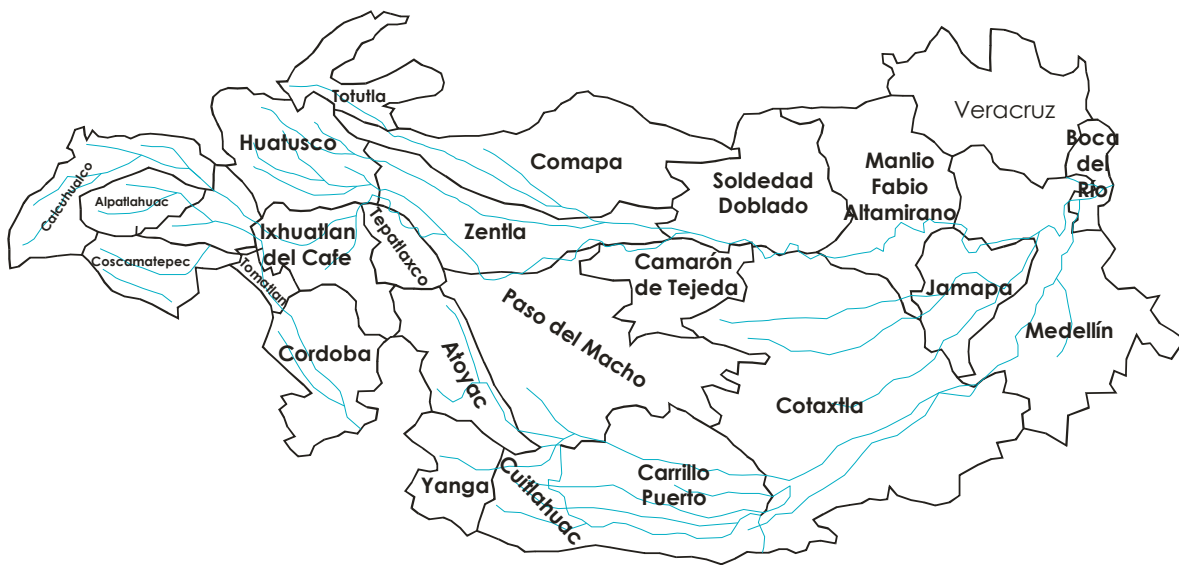


Figura 11. Cuenca hidrológica del río Jamapa





#### 4.13 Uso de suelo en la cuenca del río Jamapa

En la cuenca del río Jamapa el principal uso de suelo es para las actividades agropecuarias, debido a que el 33.3% (1544.64km<sup>2</sup>) es empleado para la crianza de ganado, los municipios de Cotaxtla, Medellín, Paso del Macho, Comapa, Soledad de Doblado y Veracruz son los que dedican mayor extensión a esta labor; la agricultura es la segunda actividad que ocupa el 30.6% (1417.22 km<sup>2</sup>) de su superficie, siendo Boca del Río, Paso del Macho y Huatusco donde se registran las áreas más grandes; finalmente las zonas urbanas rigen el 2.05% del territorio total, correspondiendo a Veracruz (35.68km<sup>2</sup>), Boca del Río (18.84 km<sup>2</sup>) y Córdoba (15.83km<sup>2</sup>) el 78.1% del área urbana (Tabla 25) de la cuenca, explicando esto, la razón del porque son los municipios más poblados (Tabla 25).

Municipio	Uso de suelo			
	Área total	Área urbana	Área agrícola	Área ganadera
Alpañahuac	71.03	0.00	21.26	3.00
Atoyac	122.65	2.78	11.05	0.13
Boca del Río	37.24	18.84	152.01	13.37
Calchualco	134.23	0.00	18.81	23.62
Camarón de Tejeda	125.78	1.22	34.01	39.84
Carrillo Puerto	249.15	0.00	54.82	56.25
Comapa	311.78	0.27	91.79	146.29
Córdoba	159.89	15.83	92.84	1.87
Coscomatepec	157.65	1.88	55.48	53.35
Cotaxtla	537.81	0.32	42.28	295.14
Cuiflahuac	150.2	2.67	42.68	44.76
Huatusco	202.47	3.63	106.61	46.24
Ixhuatlán del Café	129.49	0.73	81.37	11.7
Jamapa	132.41	0.95	19.95	46.92
Manlio Fabio Altamirano	246.75	1.83	70.76	2.80
Medellín	398.2	2.34	48.76	220.55
Paso del Macho	398.97	1.53	125.85	211.88
Sochiapa	16.23	0.00	13.68	2.29
Soledad de Doblado	416.3	1.95	41.72	139.5
Tomatlan	18.85	0.53	26.90	7.39
Totutla	97.76	0.00	85.09	21.97
Veracruz	247.9	35.68	30.11	113.90
Yanga	89.08	1.55	54.69	1.00
Zentla	178.66	0.50	94.70	40.88
<b>Total</b>	<b>4630.48</b>	<b>95.03</b>	<b>1417.22</b>	<b>1544.64</b>

Tabla 25. Superficie total, urbana, agrícola y ganadera de cada uno de los municipios que pertenecen a la cuenca del río Jamapa. (Modificado de INEGI, 2012). Nota: El área agrícola es una aproximación, se obtuvo sumando la superficie sembrada de los cultivos principales y se puede contabilizar una superficie más de una vez si se siembra por lo menos dos veces en el año dependiendo del tipo de cultivo. (Unidades en km<sup>2</sup>).





#### 4.14 Población en la cuenca del río Jamapa

Al comparar la cantidad de población que había en la cuenca en el año de 1960, con el registrado por el INEGI en el 2012, se observa un incremento del 234.5% más de personas que habitan este lugar, generando conforme avanza el tiempo una mayor presión ambiental sobre la cuenca; con el tiempo, la proporción de gente distribuida entre todos los municipios se ha mantenido relativamente similar, conservando a Veracruz, Boca del Río y Córdoba como los lugares donde se concentra al 65.5% de la población total de la zona y que representó en 2010 a 886,755 habitantes, mientras que Sochiapa fue en las décadas pasadas el menos poblado teniendo solamente al 0.25% del total de habitantes (Tabla 26).

Cuenca del río Jamapa		
Año	Población No. de habitantes	Incremento %
1960	404,394	
1970	565,200	39.7
1990	980,351	142.4
2000	1,171,859	189.7
2010	1,352,755	234.5

Tabla 26. Distribución de la población en la cuenca del río Jamapa, INEGI, 1984, 1995, 2000 Y 2012.





#### 4.15 Actividad industrial en la cuenca del río Jamapa

En la cuenca del río Jamapa, Veracruz es el que tiene un mayor desarrollo industrial, debido a que las industrias y servicios establecidos en su territorio consumieron 855%, 1035% y 456.8% más de la energía consumida por el resto de los municipios en los años de 1990, 2000 y 2010, después le siguieron Córdoba, Medellín y Boca del Río al consumir el 13.5% en 2010; por otro lado, en los últimos 30 años podría decirse que sin contar al ayuntamiento de Veracruz, el área ha presentado un ligero desarrollo industrial al aumentar 59.1% y 193% mas el consumo de electricidad en los años 2000 y 2010 (Tabla 27).

Cuenca del río Jamapa			
Año		Consumo de energía eléctrica por parte del sector industrial y de servicios	Incremento %
1990	Subtotal	125.41	
	Total	<b>1323.40</b>	
2000	Subtotal	199.57	59.1
	Total	<b>2500.74</b>	<b>88.9</b>
2010	Subtotal	367.60	193.1
	Total	<b>2047.02</b>	<b>54.6</b>

Tabla 27. Consumo de energía eléctrica por parte de la industria y los servicios en los municipios que pertenecen a la cuenca del río Jamapa, el valor subtotal es sin considerar el municipio de Veracruz y poderlo comparar con el consumo de los municipios que pertenecen a la cuenca del río La Antigua, Modificado del INEGI 1995, 2000 (en estos años el valor reportado se obtuvo de la suma del uso industrial y comercial) y 2012 (unidades están en Giga Watts).

Al igual que en el caso del área ocupada por el río La Antigua, se puede decir que el resto de la zona por donde atraviesa el río Jamapa, basa su economía en las actividades agropecuarias, al presentar bajos consumos de energía comparados a los reportados para Veracruz, donde se encuentran varios parques industriales como son el Bruno Pagliai, Parque 2000, Business Park, Santa Fe (donde se albergan industrias metal-mecánica, farmacéuticas, entre otras), también en otros puntos de este mismo ayuntamiento se encuentran industrias metalúrgicas como son Siderúrgica Tamsa, Tubos de acero de México, fundiciones de Aluminio, Cementeras, y el Puerto de Veracruz, el cual es uno de los más importantes del país, al manejar el 40% de las operaciones portuarias nacionales (API, 2005); también se debe mencionar a la industria hotelera que atiende principalmente al mercado nacional.

Ya de una forma más general, el INEGI, 2012 indica que la industria manufacturera es la que se encuentra establecida en la zona, sin mencionar concretamente su giro, con algunas excepciones como son los ingenios azucareros de El Potrero (Atoyac), San Miguelito (Cordoba), San José de Abajo (Cuitlahuac) y Central Progreso (Paso del Macho).





#### 4.16 Actividad agrícola en la cuenca del río Jamapa

Al igual que en la zona del río La Antigua, los principales cultivos que se siembran en la región ocupada por el Jamapa son el café, caña de azúcar y maíz, igualmente, pero en menor proporción frijol, sorgo, papa, chile verde, sandía, naranja, mango, limón, plátano, piña y papaya.

En las últimas casi tres décadas, la superficie dedicada a la agricultura ha disminuido un -48.0%, -42.4%, -37.7% si se compara con el área reportada por el INEGI en el año de 1970. Tradicionalmente los municipios de Huatusco y Paso del Macho son lo que tienen más área dedicada para uso agrícola, con la excepción del 2010, donde Boca del Río comparado con 1994, aumento 760.05 veces su superficie sembrada y en ese año fue de los municipios que tuvo mayor superficie sembrada de terreno (Tabla 28).

Cuenca del río Jamapa		
Año	Superficie sembrada	Incremento %
1970	2277.73	
1994	1183.87	-48.0
2000	1308.62	-42.4
2010	1417.22	-37.7

Tabla 28. Superficie total sembrada en cada uno de los municipios que pertenecen a la cuenca del río Jamapa, Modificado de INEGI, 1995 y 2000 (valor aproximado, se obtuvo sumando la superficie sembrada de los cultivos principales), 2012, (Unidades están en km<sup>2</sup>).





#### 4.17 Actividad ganadera en la cuenca del río Jamapa

Al comparar el área dedicada a la crianza de ganado en el año de 1994, con los valores reportados en el 2000 y 2010, observamos que la superficie dedicada a esta tarea aumento un 8.6% en el primero, mientras que en el segundo año disminuyó un 16.8% (Tabla 29), sugiriendo esto un probable cambio de uso de suelo; en general, Cotaxtla, Medellín, Comapa, Soledad de Doblado y Veracruz son los que tradicionalmente han dedicado mayor extensión de su territorio a esta actividad.

Similar a lo observado en el área del río La Antigua, las aves, el ganado bovino y porcino son las especies que predominan en la cuenca del Jamapa, mientras que el ganado ovino, equino y caprino están en menor cantidad (INEGI 2012).

Cuenca del río Jamapa		
Año	Superficie dedicada a la ganadería	Incremento %
1994	1857.64	
2000	2018.72	8.6
2010	1544.64	-16.8

Tabla 29. Superficie total dedicada a la ganadería en cada uno de los municipios que pertenecen a la cuenca del río Jamapa. Modificado de INEGI 1995, 2000, 2012. (Unidades en km<sup>2</sup>).







#### 4.18 Plantas de tratamiento de aguas residuales instaladas en la cuenca del río Jamapa

En el área por donde atraviesa el Río Jamapa se encuentran instaladas 62 plantas de tratamientos de aguas residuales, las cuales, 44 pueden dar un tratamiento secundario y las 18 restantes solo ajustan el pH y remueven materiales orgánicos e inorgánicos en suspensión con un tamaño de partícula mayor a 0.01mm; el municipio de Veracruz maneja el 43.5% de la infraestructura total de este tipo, debido a que tiene el mayor número de industrias en su territorio (Tabla 30).

Municipios	Plantas				Volumen tratado Mm <sup>3</sup>
	Totales	primario	Secundario	terciario	
<b>Alpatlahuac</b>					
Atoyac	1	1			0.7
Boca del Río	7		7		12.07
Calcahualco					
Camarón de Tejeda					
Carrillo Puerto					
Comapa	1	1			0.17
Córdoba	9	7	2		1.02
Coscomatepec					
Cotaxtla	1	1			0.33
Cuiclahuac	1	1			8.4
Huatusco	2	1	1		0.01
Ixhuatlán del Café					
Jamapa					
Manlio Fabio Altamirano	1	1			0.01
Medellín	7		7		1.62
Paso del Macho	2	1	1		0.39
Sochiapa					
Soledad de Doblado					
Tomatlan	1		1		NDI
Totutla					
Veracruz	27	2	25		48.96
Yanga					
Zentla	2	2			0.1
<b>Total</b>	<b>62</b>	<b>18</b>	<b>44</b>	<b>0</b>	<b>73.78</b>

Tabla 30. Plantas de tratamiento en operación y volumen de agua tratada en la cuenca del río Jamapa en 2011. Modificado de INEGI 2012. Nota: NDI: no da información; el tratamiento primario se refiere a ajuste de pH y remoción de materiales orgánicos y/o inorgánicos en suspensión con tamaño igual o mayor a 0.1 mm; secundario se refiere a remoción de materiales orgánicos coloidales y disueltos y terciario se refiere a remoción de materiales disueltos que incluyen gases, sustancias orgánicas naturales y sintéticas, iones, bacterias y virus (unidades del volumen tratado son en millones de metros cúbicos).





#### 4.19 Presas instaladas en la cuenca del río Jamapa

A lo largo de la cuenca del río Jamapa se encuentran instaladas 12 presas en 6 de los municipios con mayor actividad agrícola, ganadera e industrial de los 24 municipios donde se extiende la cuenca del río; al igual que en la cuenca del río Antigua, la mayoría de las instalaciones fueron construidas en la década de los 70's y principios de los 80's (Tabla 31).

Municipio	Nombre oficial de la presa	Num. ID (CONAGUA)	Año	Cuenca	Corriente
Atoyac	Der. Alfredo V. Bonfil	3645	1958	R. Cotaxtla	R. Atoyac
Atoyac	Santa Anita	3652	1958	R. Cotaxtla	R. Atoyac
Camarón de Tejeda	Loma Pedregosa	3678	1976	R. Jamapa	A. El Jiote
Cotaxtla	Der. Camelpo	3659	1956	R. Tonto	R. Blanco
Medellín	Der. El Tejar II	3644	1947	R. Jamapa	R. Tejar
Medellín	Der. El Tejar	3690	1958	R. Jamapa	R. Jamapa
Paso del Macho	El Chiquihuite	3686	1982	R. Cotaxtla	R. Canaletas
Paso del Macho	Mata de Gallo	3685	1972	R. Cotaxtla	R. Paso del Macho
Paso del Macho	Los limos	3702	1980	R. Cotaxtla	A. Los Tepetates
Paso del Macho	Hermanos Calderón	3704	1980	R. Jamapa-Cotaxtla	A. Del Panteón
Soledad de Doblado	Loma Triste	3679	1976	R. Jamapa	A. Loma Triste
Soledad de Doblado	La Oaxaquilla	3658	1977	R. Jamapa	A. La Oaxaquilla

Tabla 31. Presas instaladas en la cuenca del río Jamapa.





#### 4.20 Litología de la cuenca del río Jamapa

En la cuenca del río Jamapa el 37.5% del territorio predominan rocas sedimentarias y suelos, el 29.3% de los municipios prevalecen rocas sedimentarias e ígneas extrusivas básicas, un 20.8% imperan solamente rocas sedimentarias mientras que 4.16% sobresalen solamente las rocas ígneas extrusivas básicas y por ultimo solamente el 8.3 % de la cuenca predominan los suelos (Tabla 32).

Al igual que en el caso de la cuenca del río Antigua, las rocas ígneas extrusivas, sedimentarias y suelos pertenecen a la misma era y periodo geológico.

Municipio	Tipo de roca		
Alpatlahuac	Conglomerado		
Atoyac	Caliza	Suelo	
Boca del Río	Suelo		
Calcahualco	Conglomerado	Ígnea extrusiva básica	Ígnea extrusiva intermedia
Camaron de Tejedá	Conglomerado		
Carrillo Puerto	Suelo	Conglomerado	
Comapa	Ígnea extrusiva básica	Conglomerado	
Cordoba	Caliza	Suelo	
Coscomatepec	Caliza	Conglomerado	Ígnea extrusiva básica
Cotaxtla	Suelo	Conglomerado	
Cuiflahuac	Caliza	Conglomerado	Suelo
Huatusco	Caliza	Ígnea extrusiva básica	
Ixhuatlán del Café	Caliza	Ígnea extrusiva básica	
Jamapa	Suelo	Conglomerado	
Manlio Fabio Altamirano	Suelo	Conglomerado	
Medellín	Suelo	Conglomerado	
Paso del Macho	Caliza	Conglomerado	
Sochiapa	Ígnea extrusiva básica	Caliza	
Soledad de Doblado	Suelo	Conglomerado	
Tomatlan	Caliza	Conglomerado	
Totutla	Ígnea extrusiva básica		
Veracruz	Suelo	Conglomerado	
Yanga	Suelo		
Zentla	Conglomerado	Ígnea extrusiva básica	

Tabla 32. Litología predominante en la cuenca del río Jamapa, INEGI, 1984.





#### 4.21 Tipo de clima predominante en la cuenca del río Jamapa

Al igual que en la cuenca de antigua al seguir la clasificación de Peter Kropen, en el 52.2% de los municipios de la cuenca predomina únicamente el clima tropical, el 21.7% del territorio imperan únicamente el clima templado, mientras que el 17.4% prevalecen los climas templado y tropical, en el 4.3% del territorio predominan los climas templado y seco y finalmente en el 4.3% de los municipios domina exclusivamente el clima seco (Tabla 33).

Por la ubicación geográfica se tienen el mismo régimen de lluvias, mismos rangos de precipitación promedio anual y de temperatura que el reportado en la cuenca de La Antigua.

Municipio	Tipo de clima	Grupo	Símbolo	Tipo de clima
Alpatlahuac	Bs		Af	Tropical con lluvias todo el año
Atoyac	Cw	Am	Am	Tropical con lluvias de monzón
Boca del Río	Aw		Aw	Tropical con lluvias de verano
Calcahualco				
Camarón de Tejeda	Am		Bs	Seco estepario
Carrillo Puerto	Am		Bw	Seco desértico
Comapa	Cw	Am		
Córdoba	Cw		Cf	Templado con lluvias todo el año
Coscomatepec	Cw	Bs	Cw	Templado con lluvias en verano
Cotaxtla	Aw		Cs	Templado con lluvias en invierno
Cuiclahuac	Af	Am		
Huatusco	Cw	Am	Eb	Polar alta montaña
Ixhuatlán del Café	Cw			
Jamapa	Aw			
Manlio Fabio Altamirano	Aw			
Medellín	Aw			
Paso del Macho	Am			
Sochiapa	Cw			
Soledad de Doblado	Am	Aw		
Tomatlan	Cw			
Totutla	Cw			
Veracruz	Aw			
Yanga	Cw	Af		
Zentla	Am			

Tabla 33. Tipo de clima predominante en la cuenca del río Jamapa según la clasificación de Peter Kropen.





## 4.22 Comparación entre las cuencas de los ríos La Antigua y Jamapa

Para poder inferir cual de las dos áreas seleccionadas tendría un mayor impacto hacia su entorno, es necesario hacer una comparación de la información mencionada líneas arriba.

De manera general se espera que la zona del río Jamapa comparado con La Antigua, pudiera tener un mayor impacto hacia el ambiente costero, debido a que tiene 4.4 veces más población (Tablas 17 y 25), 7.08 veces más área urbana (Tablas 16 y 24), 11.08 veces más consumo de energía eléctrica (contando al municipio de Veracruz) (Tablas 18 y 26), 4 ingenios azucareros, 3 parques industriales (entre otras industrias mas) y 13 presas en su territorio, esto último explica que a pesar de tener una cuenca de 4630.48 km<sup>2</sup>, el Jamapa tiene 1.5 veces menos flujo anual de agua que la Antigua, cuya área es de 2293.67 km<sup>2</sup>

Sin embargo, un factor común de similar magnitud y tal vez más importante son las actividades agropecuarias en las que se basa la economía de sus localidades, al ocupar respectivamente el 63.97% (Jamapa), 79.37% (Antigua) de su espacio (Tablas 16 y 24).

Por otro lado el 81.5 % de la infraestructura instalada para el tratamiento de aguas residuales, se encuentra en la cuenca del Jamapa (Tablas 21 y 29), debido a que posee un mayor desarrollo industrial y mayor número de población, desafortunadamente ninguno de los sitios analizados tiene la capacidad de dar un tratamiento terciario a las aguas residuales, el cual consiste en la remoción de materiales disueltos que incluyen gases, sustancias orgánicas naturales y sintéticas, iones, bacterias y virus, por lo que el tratamiento de las aguas industriales y domesticas son de manera parcial, además de estar separadas las plantas de tratamiento dedicadas a la industria con las de origen público (INEGI, 2012) que manejan las aguas municipales disminuyendo de esta manera la respuesta de manejo.





# Capítulo 5

ANÁLISIS DE CURSOS





## 5.1 Resultados y discusión

### 5.2 Sedimento superficial

El área de estudio se dividió en tres áreas: a) la zona costera adyacente al río La Antigua con profundidades comprendidas entre 22 y 43 m (Figura 12), b) La zona costera adyacente al río Jamapa donde el rango de profundidad vario de 15 a 25 m (Figura 13) y c) la zona profunda adyacente estas dos áreas, correspondiente al talud continental donde la batimetría osciló desde los 45 hasta los 1000 m (Figura 14).

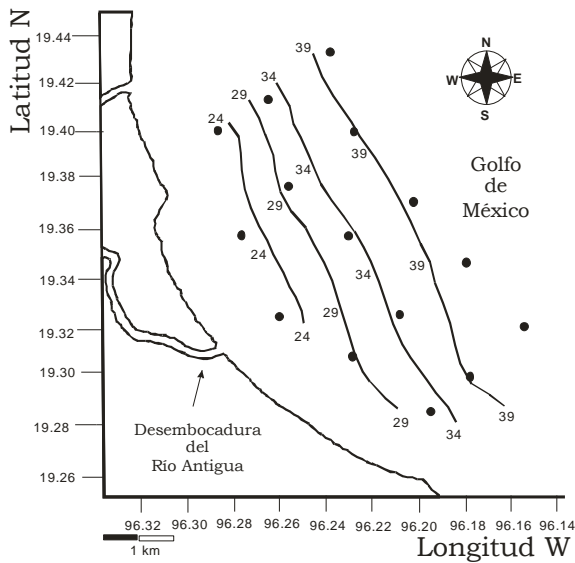


Figura 12. Batimetría en D. R. Antigua

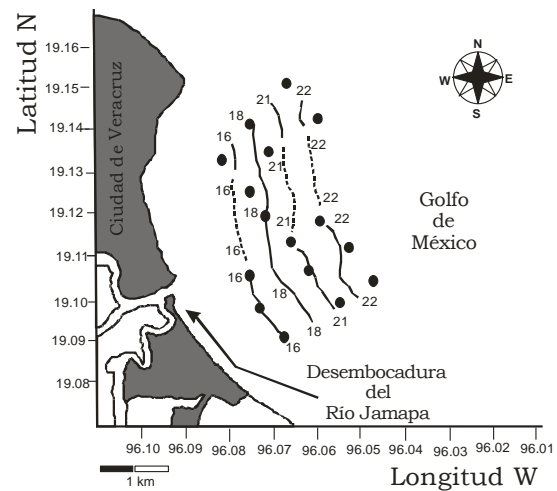


Figura 13. Batimetría en D. R. Jamapa

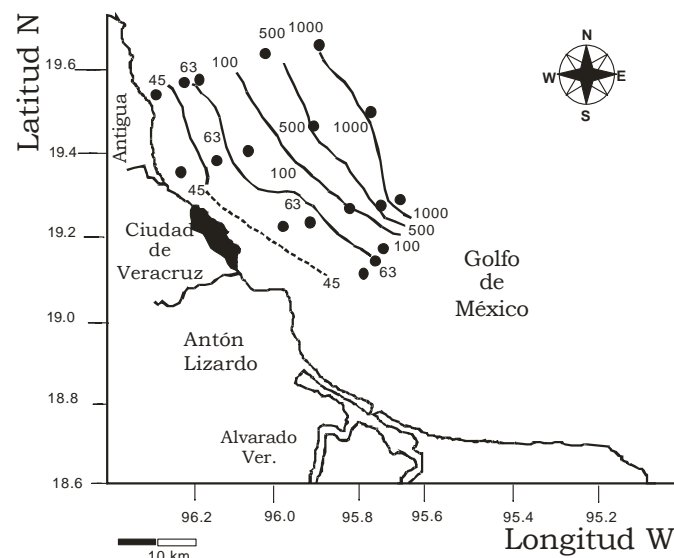


Figura 14. Batimetría en el Talud





### 5.3 Textura del sedimento superficial

Los sedimentos del área costera adyacente a la desembocadura del río La Antigua presentan más alto contenido de lodos (Figura 15) que los sedimentos cercanos a la desembocadura del río Jamapa (Figura 16); esto está asociado con las características de cada una de estas cuencas y a la presencia de presas localizadas en los cauces principales de los ríos, las cuales generalmente retienen los sedimentos de tamaño de partícula mayor como son las arenas y permiten el paso de sedimentos finos suspendidos en la columna de agua. Por ejemplo la presa "Puente Nacional" a 19.342° latitud N y - 96.422° longitud W está localizada a 16 km de la desembocadura del río La Antigua, reteniendo ésta las partículas de sedimento grueso; por otro lado las presas en la cuenca del río Jamapa están localizadas en los ramales secundarios del río y no en el cauce principal; por lo tanto la retención de las partículas gruesas no es tan alta.

Cuando los fuertes vientos afectan el área, los sedimentos someros pueden recibir alta energía del oleaje y mezclar y re suspender los sedimentos; en consecuencia, la profundidad de las tres áreas estudiadas también podría ser un factor importante en el tipo de sedimento predominante; en La Antigua la profundidad es mayor que en la zona costera adyacente a la desembocadura del Río Jamapa, por lo que es más susceptible de ser afectada por los fuertes vientos que influyen en el área.

Esto es apoyado por el patrón de distribución de los sedimentos en el área costera del río La Antigua (Figura 15), donde los sedimentos cercanos a la costa mostraron los contenidos de arenas más altos A1 (84.3%), A4(86.5%), A7 (71.2%) y A13 (77.4%), comparado con el porcentaje promedio de arena observado en el área (32.8%). La estación A10 se diferenció por un bajo contenido de arenas (11.1%) y un alto porcentaje de lodos (88.8%), sugiriendo que esta área es influenciada por los lodos (limos y arcillas) descargados por parte el río La Antigua. Los altos valores de sedimento fino de las estaciones A14 y A15 con contenidos de lodos de 95.7% y 85.2% respectivamente, sugiere que los sedimentos que son acarreados por el río se mueven en dirección sureste en esta época del año, lo cual corresponde a la época de lluvias en las cuencas de los ríos.

El contenido de lodos en el área costera del río Jamapa fue más alto que el promedio (41.0%) en estaciones localizadas en la parte sur de la desembocadura del río (Figura 16), localizados en las estaciones J9 (72.0%), J8 (75.2%), J16 (56.0 %), J7 (48.0%), J18 (53.0%) y J19 (54.4 %), mientras en el norte de la desembocadura del río las muestras de sedimento fueron predominantemente formadas por arenas con valores más altos al promedio (55.7 %) localizados en los puntos de muestreo J13 (87.9 %), J14(78.0 %), J15(64.8 %), J23 (65.3 %), J24 (81.1 %) y J25 (69.9 %).







En la zona del Talud Continental el porcentaje promedio de lodos (84.8%) fue el valor más alto de las tres áreas estudiadas, en general en casi toda esta zona predominó la textura de limo arcilloso (Figura 17), las estaciones M5 (38.6%), M6 (16.4%) y M18(85.2%), presentaron porcentajes de arenas mayor al valor promedio del área (14.0%) sugiriendo que los sitios que se encuentren por debajo de la isobata de los 50 m (como es el caso de estas estaciones) son susceptibles a ser influenciados por la alta energía del oleaje generada por los vientos típicos de la región, siendo esta alta energía la que impide o remueve el material fino depositado en el piso oceánico a esa profundidad; por otro lado los puntos M14 (39.6%), M15(26.3%) y M19 (14.8%) presentaron gravas, esto podría estar asociado a la presencia de un banco arrecifal debido a que en estos puntos se presentaron porcentajes de carbonatos mayores al 50% y este tipo de material se puede encontrar en tamaños de partícula correspondiente a grava (mayores a 2 mm) en los sedimentos.

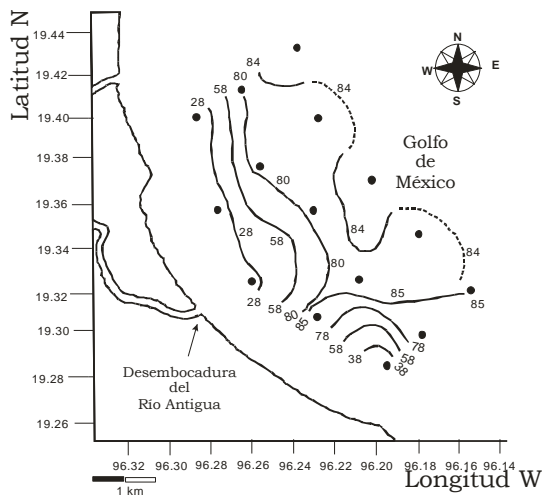


Figura 15. Distribución de lodos en D. R. Antigua

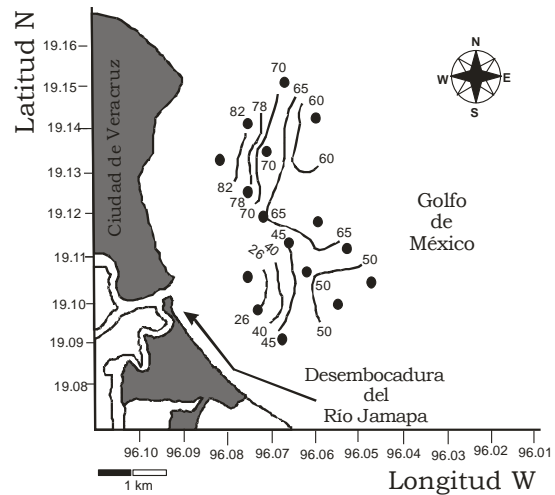


Figura 16. Distribución de lodos en D. R. Jamapa

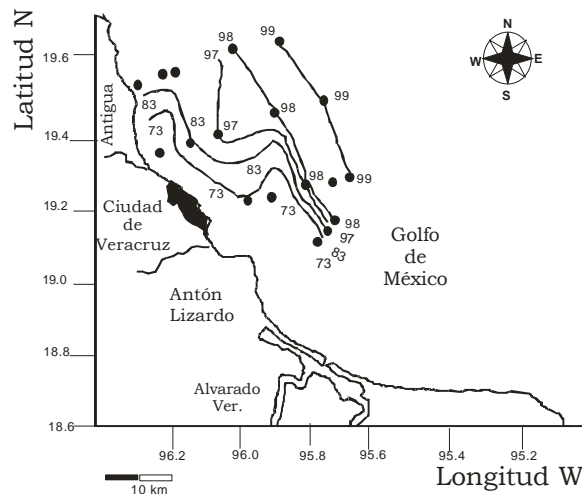


Figura 17. Distribución de lodos en el Talud





El uso del diagrama ternario propuesto por **Sherpard (1954)**, permite observar las tendencias en la distribución textural de los sedimentos en cada área. El diagrama muestra que la mayoría de los sedimentos del área de la Antigua están formados por limo arcilloso, aunque se observa la presencia de muestras formadas por limo arenoso y arenas (**Figura 18**); en tanto los sedimentos del área de Jamapa predomina la arena limosa (**Figura 19**); en la zona del Talud todas las muestras corresponden a limo arcilloso (**Figura 20**).

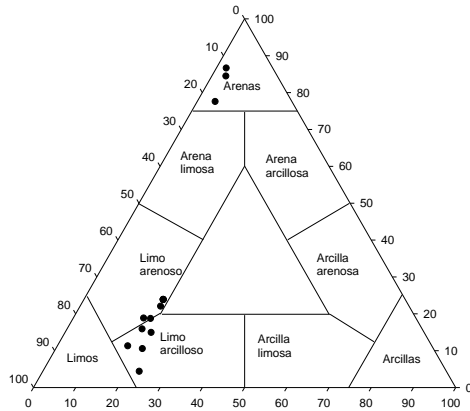


Figura 18. Tamaño de partícula predominante en D. R. Antigua

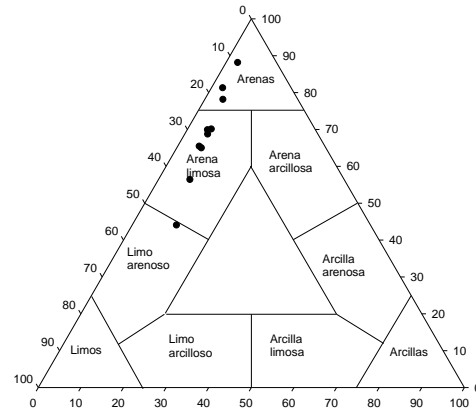


Figura 19. Tamaño de partícula predominante en D. R. Jamapa

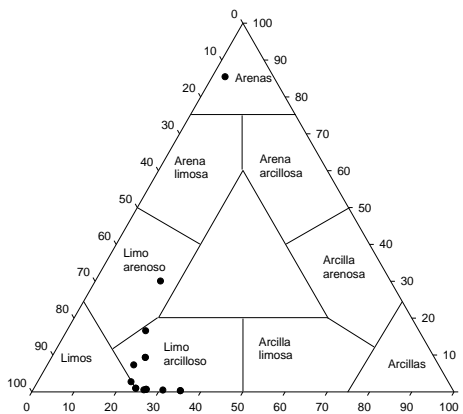


Figura 20. Tamaño de partícula predominante en el Talud





## 5.4 Composición química de los sedimentos superficiales

Se llevó a cabo el análisis del contenido de carbonatos, carbono orgánico, elementos mayores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) y elementos traza (V, Cr, Co, Cu, Zn, As, Ni, Pb) en los sedimentos superficiales de cada una de las áreas estudiadas.

## 5.5 Carbonatos

El contenido de carbonatos en las tres áreas presentó grandes variaciones. El rango de concentración en el área de La Antigua varió de 13.48 a 20.28 %. Todas las estaciones cercanas a la línea de costa (Figura 21) A1, A4, A7 y A13 mostraron valores de carbonato por debajo o cercanos al valor promedio de 17.12 % observado en el área.

El contenido de carbonatos en el área de Jamapa estuvo entre 9.54 y 17.14 %; los sitios de muestreo con valores arriba del promedio (13.67%) fueron localizados (Figura 22) al norte de la desembocadura del río, con los valores más altos localizados en el punto 25 (17.14 %), el cual es cercano al banco Arrecifal que está presente al norte del área.

Por otro lado, la más alta concentración de carbonato promedio (29.5%) fue encontrada en el área del Talud continental (Figura 23); valores de 16.0 a 24.0 % fueron observados, excepto para algunos pocos sitios con valores excepcionalmente altos (38.0 a 78.0 %) en M18, M19, M15, M17 y M14; esas altas concentraciones sugiere la presencia de un antiguo banco de carbonatos, asociado con un nivel bajo del mar y a la presencia del SAV (Sistema Arrecifal Veracruzano) (Rosales et al. 2008).

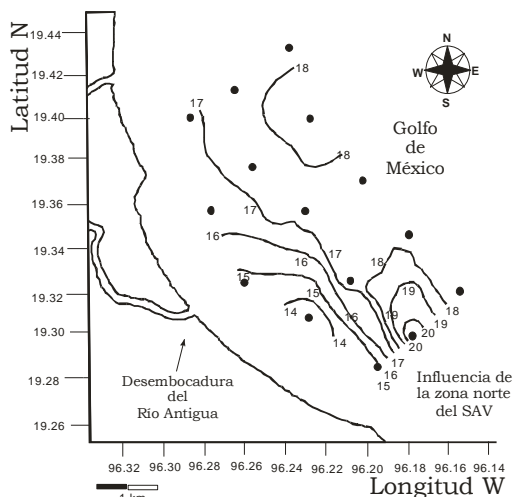


Figura 21. Distribución de carbonatos en D. R. Antigua

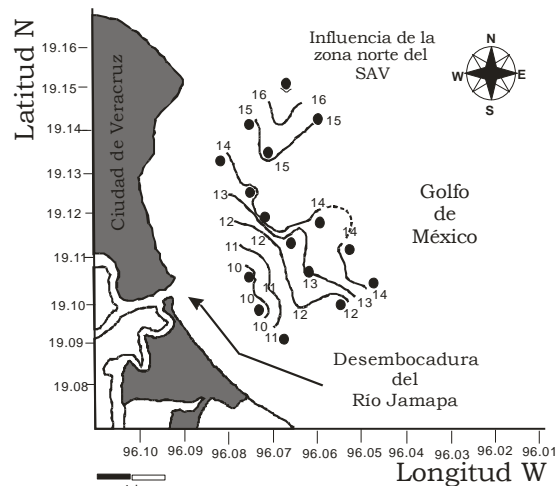


Figura 22. Distribución de carbonatos en D. R. Jamapa



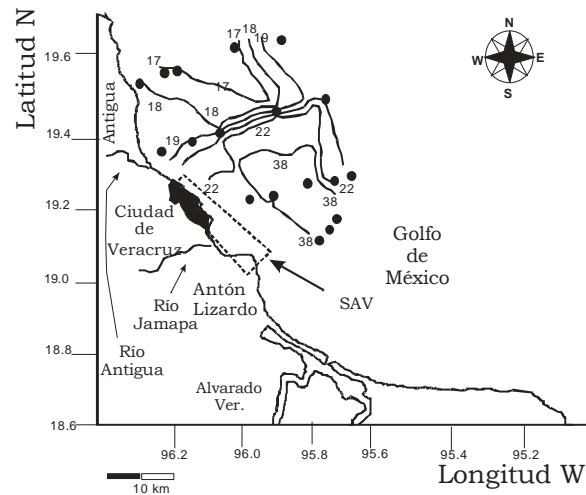


Figura 23. Distribución de carbonatos en el Talud

## 5.6 Carbono orgánico

El carbono orgánico (en forma de materia orgánica) es considerado al igual que los sedimentos finos, como un receptor de metales traza, debido a la formación de compuestos como los quelatos, los cuales atrapan los metales suspendidos en la columna de agua (Libes, 2000). También juega un papel importante en los ecosistemas acuáticos -ya sean lagos u océanos-; porque son la principal fuente de nutrientes para los organismos que viven ahí; pero un exceso de esto puede generar zonas eutróficas y anóxicas, debido a que cuando se oxida el carbono orgánico presente en el sistema, se agota todo el oxígeno de la columna de agua y se liberan los nutrientes al ambiente acuático, tal exceso de nutrientes pueden ser dañinos tanto para el hombre como para otros seres vivos, por la generación de mareas rojas -para el caso del océano y zonas costeras-.

Las principales fuentes de carbono orgánico son los ríos y aportes antropogénicos -desechos urbanos e industriales-, por lo que tener un monitoreo de la concentración de carbono orgánico presente en los sedimentos, puede servir como un indicador de la cantidad aportada por las descargas continentales.

Los valores promedio de carbono orgánico en las tres áreas fueron muy similares (0.64, 0.53 y 0.56 %). Sin embargo, en algunos sitios específicos, valores altos son observados, como tal es el caso de La Antigua, donde un valor alto se observó en A10 (1.63%) y está localizado enfrente de la desembocadura del río (Figura 24), sugiriendo que este valor se encuentra asociado a la descarga de este cuerpo de agua.

Una situación similar fue observado en el área del río Jamapa, los puntos con valores por arriba del promedio (0.53 %) fueron localizados cercanos a la desembocadura del río J8, J9 y J16 (Figura 25).





En el área del Talud continental valores altos de carbono orgánico fueron localizados en las partes más profundas del área, en la estación M16 (0.89 %); por otro lado, los valores más bajos de carbono orgánico (0.11 %) fueron encontrados en el área de la pendiente donde las estaciones M15 y M19 fueron localizadas (Figura 26), sugiriendo que la ruptura de la pendiente es muy fuerte y hay una escases de depositación de materia orgánica en esa área.

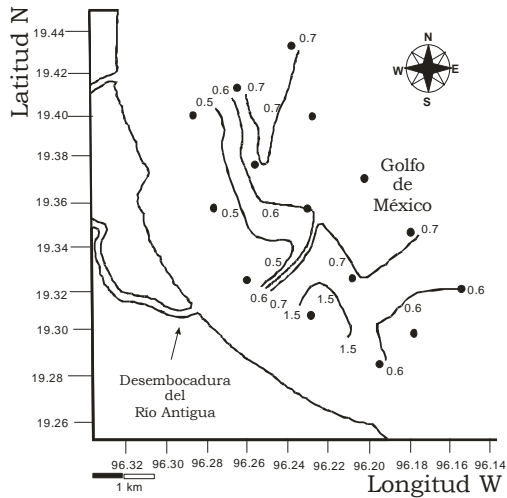


Figura 24. Distribución del carbono orgánico en D. R. Antigua

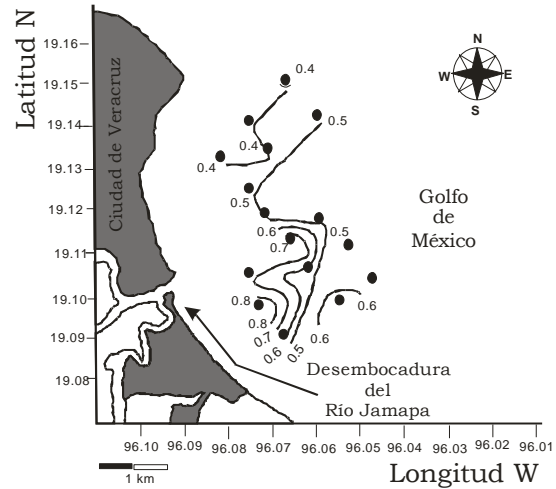


Figura 25. Distribución del carbono orgánico en D. R. Jamapa

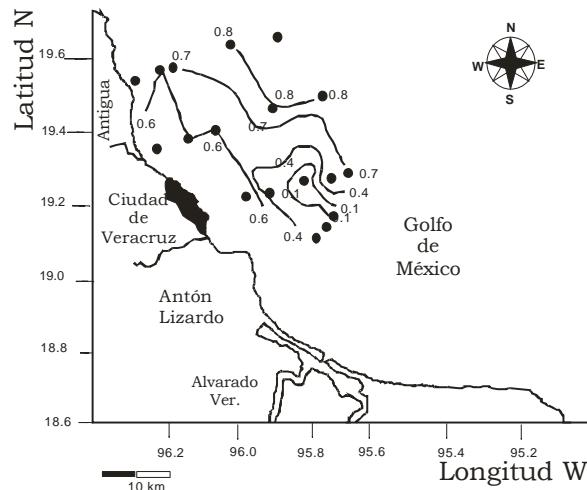


Figura 26. Distribución del carbono orgánico en el Talud





## 5.7 Análisis de elementos mayores en sedimentos superficiales

Los análisis químicos de elementos mayores (Tabla 34) en las tres áreas mostraron los valores más altos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{MgO}$  en Jamapa; esto podría estar relacionado a los altos contenidos de arena presente en esta área. Los puntos de muestreo J7, J8 y J9, los cuales están localizados muy cercanos a la desembocadura del río, presentaron valores por arriba del promedio para esos óxidos.

En el área de La Antigua, valores por arriba del promedio para  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (11.58%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (4.97 %),  $\text{TiO}_2$  (0.78%) y  $\text{MnO}_2$  (0.07%), fueron encontrados en la estación A10, lo cual podría ser debido a su bajo contenido de arenas y a que este punto recibe las más grandes cantidades de sedimento de las descargas del río La Antigua; además los elementos asociados con minerales pesados, tales como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  y  $\text{MgO}$  fueron los más altos en la estación A1, la cual está localizada al norte de la desembocadura. Resultados similares fueron encontrados por Rosales –Hoz et al. (2006) en el área costera del río Panuco, situado a 363.6 km al norte de la desembocadura del río La Antigua, donde los minerales pesados son localizados cerca de la costa.

Unidades %	La Antigua		Jamapa		Talud continental	
	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio
<b>Arenas</b>	22.00–43.53	<b>33.56<sup>a</sup></b>	24.74–87.99	<b>59.00<sup>a</sup></b>	0.14–85.20	<b>13.97<sup>b</sup></b>
<b>Limos</b>	10.97–72.70	<b>51.85<sup>a</sup></b>	9.08–60.50	<b>33.82<sup>a</sup></b>	11.47–75.09	<b>60.80<sup>b</sup></b>
<b>Arcillas</b>	2.52–24.04	<b>15.29<sup>a</sup></b>	2.82–15.06	<b>7.17<sup>a</sup></b>	3.24–35.23	<b>20.79<sup>b</sup></b>
<b><math>\text{Al}_2\text{O}_3</math></b>	10.54–13.49	<b>11.58</b>	10.59–14.97	<b>12.85</b>	5.24–13.42	<b>11.02</b>
<b><math>\text{SiO}_2</math></b>	48.56–55.97	<b>52.86</b>	51.45–56.54	<b>53.26</b>	20.20–53.78	<b>45.76</b>
<b><math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math></b>	4.21–6.59	<b>4.97</b>	4.03–6.28	<b>5.40</b>	2.62–5.21	<b>4.26</b>
<b><math>\text{TiO}_2</math></b>	0.64–1.17	<b>0.78</b>	0.60–1.00	<b>0.83</b>	0.25–0.65	<b>0.56</b>
<b><math>\text{MnO}</math></b>	0.05–0.10	<b>0.07</b>	0.07–0.08	<b>0.07</b>	0.05–0.31	<b>0.12</b>
<b><math>\text{CaO}</math></b>	8.39–11.23	<b>10.00</b>	7.59–10.65	<b>9.23</b>	8.79–33.46	<b>13.69</b>
<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math></b>	2.42–3.17	<b>2.72</b>	2.58–3.51	<b>3.06</b>	1.47–3.58	<b>2.65</b>
<b><math>\text{K}_2\text{O}</math></b>	1.54–1.98	<b>1.80</b>	1.43–1.79	<b>1.61</b>	0.77–2.28	<b>1.85</b>
<b><math>\text{MgO}</math></b>	1.80–2.63	<b>2.10</b>	2.28–2.68	<b>2.44</b>	1.78–2.68	<b>2.19</b>
<b><math>\text{P}_2\text{O}_5</math></b>	0.10–0.23	<b>0.17</b>	0.07–0.20	<b>0.16</b>	0.09–0.19	<b>0.14</b>

Tabla 34. Rangos de porcentajes de texturas y elementos mayores de las tres áreas estudiadas.





## 5.8 Análisis de los metales traza en sedimentos superficiales

Los rangos de concentración encontrados para los metales traza son presentados en la [Tabla 35](#). Las concentraciones promedio más altas de V, Co, Cu, Zn y Cd fueron localizadas en el área de La Antigua; por otro lado, los resultados promedio más altos de Cr y Ni fueron encontradas en el área de Jamapa, mientras que los valores promedio más altos de As y Pb fueron registrados en el área del Talud continental; por otro lado al comparar los rangos de concentración de metales en los tres sitios, se observan similitudes en las áreas costeras de La Antigua y Jamapa; mientras que en el Talud continental fueron los valores más bajos de las tres zonas (excepto As y Pb) ([Tabla 35](#)).

Las áreas costeras de Jamapa y Antigua presentaron algunos sitios específicos donde el valor de la concentración de metales está por arriba del promedio. Por ejemplo en la desembocadura del río La Antigua los valores más altos de V, Cr y Ni estuvieron presentes en las estaciones A1 y A7, los cuales son los sitios con los valores más elevados de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , MnO y MgO; esto podría ser debido a la influencia de la litología, la cual es caracterizada por la presencia de rocas volcánicas intermedias y básicas, compuestas por minerales pesados; el análisis de laminas delgadas mostró la existencia de magnetita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ilmenita (Fe, Mg, Mn ( $\text{TiO}_2$ )) que podría contener Cr, piroxenos y olivino ([Klein y Hurlbut Jr, 1997](#), [Rollinson, 1993](#)). Análisis de magnetita pueden mostrar considerables cantidades de Mg y Mn sustituyendo al  $\text{Fe}^{2+}$  y Al, Cr,  $\text{Mn}^{3+}$  y  $\text{Ti}^{4+}$ , sustituyendo al  $\text{Fe}^{3+}$  los cuales pueden contener V como elemento asociado ([Rollinson, 1993](#)).

En el Talud continental valores altos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  fueron medidos en los sitios M29, M30 y M31 localizados en la parte profunda del área de estudio, la cual está formada principalmente por lodos y en esos sitios, concentraciones altas de V, Ni, Cu, Zn y Pb fueron observados. Por otro lado el sitio M17 presenta los resultados más bajos de metales traza y tienen altas concentraciones de arena y carbonatos, sugiriendo que los carbonatos son probablemente diluyentes de los metales traza.

Una comparación de los valores obtenidos en el área costera en frente de la desembocadura del río Jamapa con valores del mismo río en el área continental ([Rosales et al., 2007, 2008](#)) mostró un enriquecimiento en carbonatos, Ca, Cr, Cu y Zn en el área costera.





Unidades mgkg <sup>-1</sup>	La Antigua		Jamapa		Talud continental	
	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio
V	157.06-87.75	<b>106.25</b>	119.39-74.52	<b>102.58</b>	101.08-23.31	<b>76.66</b>
Zn	122.47-76.79	<b>93.52</b>	123.47-56.30	<b>85.21</b>	95.35-22.29	<b>73.63</b>
Cr	156.14-55.49	<b>84.26</b>	111.53-70.42	<b>93.16</b>	65.62-17.12	<b>48.97</b>
Cu	97.31-17.47	<b>39.14</b>	92.60-13.06	<b>36.68</b>	28.09-8.17	<b>21.85</b>
Ni	33.38-25.22	<b>27.97</b>	33.33-21.67	<b>29.64</b>	37.59-6.52	<b>22.33</b>
Co	32.07-9.80	<b>17.84</b>	17.60-14.04	<b>16.38</b>	14.28-5.56	<b>9.81</b>
Pb	21.51-11.96	<b>16.08</b>	15.17-10.82	<b>13.35</b>	21.68-5.45	<b>16.13</b>
As	12.97-8.22	<b>9.89</b>	13.56-6.59	<b>8.72</b>	15.59-5.38	<b>10.37</b>
Cd	0.15-0.06	<b>0.09</b>	0.088-0.05	<b>0.074</b>	0.089-0.025	<b>0.067</b>

Tabla 35. Rangos de concentración y promedios de los metales traza en las tres áreas estudiadas.

### 5.9 Comparación de la concentración de algunos de los metales traza en sedimentos superficiales analizados en otras regiones del Golfo de México.

En general las concentraciones promedio de metales como Cr, Zn y Cu en las tres áreas de este trabajo se ubicaron por arriba de lo reportado en otras regiones del Golfo de México (Tabla 36), pero por citar un ejemplo de cuantas veces fue mayor, se tomó el caso de la Antigua, donde el Cr fue el elemento más enriquecido encontrándose hasta 50.7 veces más en la desembocadura del río Antigua que en el resto de los sitios comparados; el V también se encontró aproximadamente hasta 5.9 veces por arriba en las desembocaduras de los ríos que en la plataforma de Tamaulipas y Veracruz.

El Pb, único elemento donde el valor promedio fue menor en las zonas estudiadas que en el de los sitios comparados (aproximadamente hasta 5.2 veces menor, excepto en Isla Sacrificios y Bahía Vergara) y por último el Ni se encontró en mayor concentración en la región sureste del Golfo de México que en los demás sitios (Tabla 36).

Estas diferencias en las concentraciones de los metales traza en las distintas zonas del Golfo, puede ser generado por los cambios en la litología continental de los ríos que aportan sedimentos a la cuenca del Golfo de México como también al tipo de actividades humanas que se llevan a cabo a lo largo de su línea de costa.







		V	Zn	Cr	Cu	Ni	Co	Pb	As	Cd
Costa de Veracruz (Vázquez, 1991)	R	82-113	-	-	-	-	-	-	-	-
	P	<b>95.5</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
Plataforma de Tamaulipas	R	1.9-76	Nd-74.9	2.9-18	3.2-24.9	Nd-6.9	-	17.3-115.5	-	-
	P	<b>26.8</b>	<b>39.9</b>	<b>9.14</b>	<b>15.2</b>	<b>4.2</b>	-	<b>71.6</b>	-	-
Plataforma de Veracruz	R	3.4-84.8	Nd-50.3	1.6-5.96	1.6-91.2	Nd-37.7	-	Nd-185.9	-	-
	P	<b>17.8</b>	<b>15.6</b>	<b>1.7</b>	<b>17.9</b>	<b>15.2</b>	-	<b>33.1</b>	-	-
Plataforma de Tabasco (Ponce, 1995)	R	45.7-147	57-157.4	2.8-13.9	Nd-33.5	Nd-27.2	-	47.3-127	-	-
	P	<b>91.0</b>	<b>101.7</b>	<b>7.0</b>	<b>16.8</b>	<b>6.4</b>	-	<b>84.4</b>	-	-
Sureste Golfo de México	R	1.54-211	54.7-97.3	0.05-6.8	0.05-18.3	67.3-263	-	0.54-131	-	-
	P	<b>91.0</b>	<b>74.5</b>	<b>3.4</b>	<b>9.4</b>	<b>107</b>	-	<b>64.6</b>	-	-
Isla Sacrificios y Bahía Vergara, Veracruz, México	R	<b>9.8-257.2</b>	<b>19.8-79.7</b>	<b>19.1-159.7</b>	<b>0.7-20.9</b>	<b>3.4-54.9</b>	-	<b>1.1-42.3</b>	-	-
	P	<b>104.3</b>	<b>51.9</b>	<b>63.3</b>	<b>9.2</b>	<b>32.3</b>	-	<b>11.3</b>	-	-
Antigua, Veracruz México	R	87.7-157.0	76.7-122	55.4-156.1	17.4-97.3	25.2-33.3	9.8-32.0	11.9-21.5	8.2-12.9	0.06-0.15
	P	<b>106.25</b>	<b>93.52</b>	<b>84.26</b>	<b>39.14</b>	<b>27.97</b>	<b>17.84</b>	<b>16.08</b>	<b>9.89</b>	<b>0.09</b>
Jamapa, Veracruz México	R	74.52-119.39	56.3-123	70.4-111.5	13.0-92.6	21.6-33.3	14.0-17.6	10.82-15.17	6.59-13.56	0.05-0.08
	P	<b>102.58</b>	<b>85.21</b>	<b>93.16</b>	<b>36.68</b>	<b>29.64</b>	<b>16.38</b>	<b>13.35</b>	<b>8.72</b>	<b>0.074</b>
Talud, Veracruz México	R	23.31-101.08	22.2-95.3	17.1-65.62	8.1-28.09	6.5-37.59	5.5-14.28	5.4-21.68	5.3-15.5	0.02-0.08
	P	<b>76.66</b>	<b>73.63</b>	<b>48.97</b>	<b>21.85</b>	<b>22.33</b>	<b>9.81</b>	<b>16.13</b>	<b>10.37</b>	<b>0.067</b>

Tabla 36. Comparación de los rangos de concentración y promedios de metales traza reportados en otras regiones del Golfo de México.





## 5.10 Análisis de clúster

Para analizar como las características geoquímicas, texturales y batimétricas influyen la distribución de los sedimentos en las tres áreas, fue hecho un análisis de clúster usando los datos de todas las áreas.

El clúster obtenido muestra la presencia de cuatro grupos distintos (Figura 27).

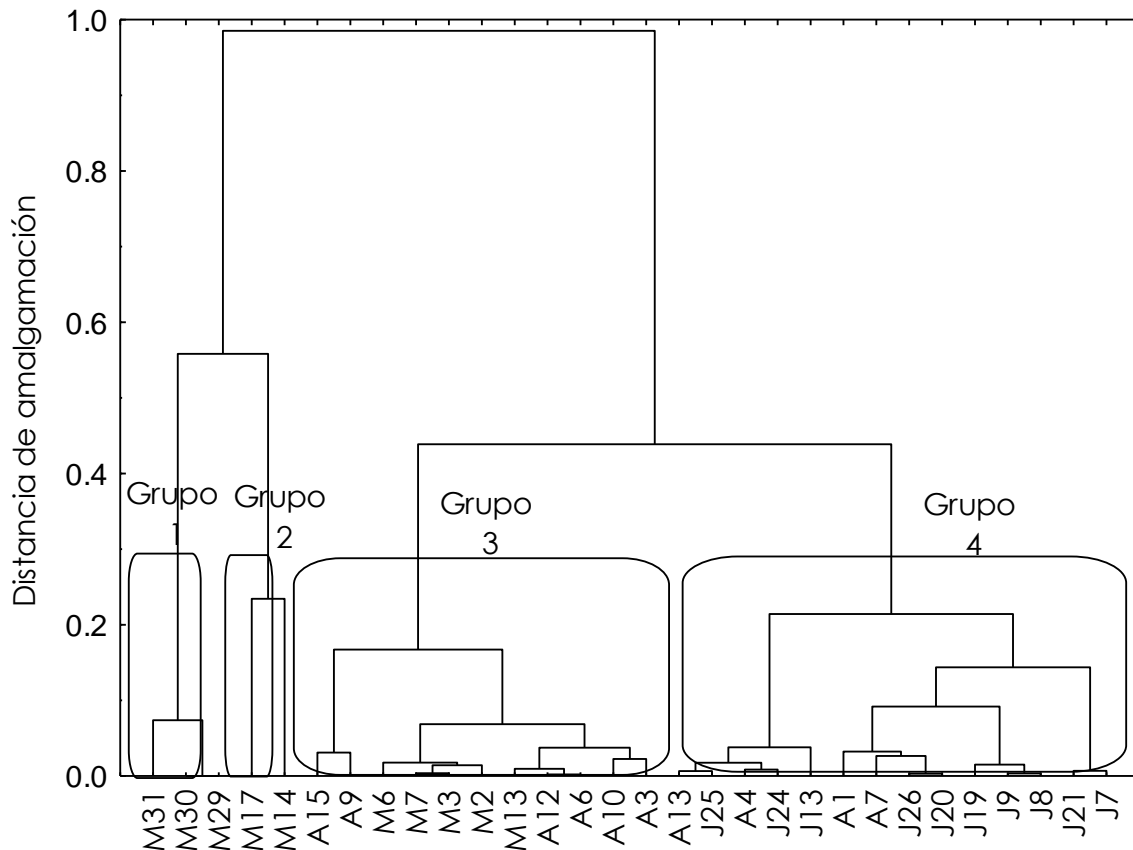


Figura 27. Dendrograma para 30 casos por vecinos cercanos y usando 1-Pearson r.

### Grupo 1:

Formado por los sitios M29, M30, y M31 del área del Talud continental, sus muestras presentan muy bajos valores de arenas (0.51 %) y las concentraciones promedio más altas de arcillas (28.6%), limos (70.9%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (16.2 %),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (6.2 %), MnO (0.30 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (4.1 %), V ( $94.8 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Ni ( $32.7 \text{ mg kg}^{-1}$ ), As ( $12.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y Pb ( $19.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Las estaciones en este grupo son las más profundas en el estudio.

### Grupo 2:

Consistió de las estaciones M17 y M14 del área del Talud continental, presentando los valores promedio más altos de carbonatos (48.7 %), CaO (37.8 %) y MgO (3.6 %) y tuvo bajo contenido promedio de elementos mayores y traza, como  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .





#### Grupo 3:

Formado por las estaciones A3, A10, A6, A12, A9 y A15 del área del río La Antigua y estaciones M6, M7, M3, M2 y M13 del área del Talud continental. Este grupo es principalmente caracterizado por profundidades intermedias (30 - 77 m), mayor cantidad de material fino (sugiriendo que la influencia de los vientos que mueven el lecho marino y columna de agua son bajos). Concentraciones intermedias de carbono orgánico (0.55 y 0.71 %), carbonatos (14.0 a 23.0 %) y elementos traza,  $Al_2O_3$  y  $K_2O$  están por arriba del promedio sugiriendo gran cantidad de minerales arcillosos.

#### Grupo 4:

Formado por todas las muestras estudiadas en el área costera de Jamapa y cuatro puntos muestreados (A1, A4, A7 y A13) del área de la Antigua. Las muestras restantes de la Antigua al estar caracterizadas por altos porcentajes de arena (71.0- 86.0 %) y carbonatos (14.0 – 17.0 %) genera que se agrupen de forma diferente a todas las otras muestras analizadas de Jamapa.





### 5.11 Análisis de factores

Un análisis de factores fue hecho para evaluar los principales parámetros que controlan la distribución espacial de los sedimentos para identificar las principales causas de variación entre las muestras (Duan et al, 2010).

Los análisis de factores de las tres áreas son mostradas en las tablas 37, 38 y 39. Los datos muestran que la variación del sistema puede ser explicado hasta por cuatro factores relacionados a la textura del sedimento, mineralogía de las arcillas, minerales pesados, contenido de carbonatos e influencia antropogénica.

	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>		<b>Factor 3</b>		<b>Factor 4</b>	
	Textura	Mineralogía		Influencia natural		Influencia antrópica	
Profundidad	0.94	CO <sub>3</sub>	0.78	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.60	Cu	-0.94
Arenas	-0.94	C.O.	-0.89	TiO <sub>2</sub>	0.60	Zn	-0.68
Limos	0.92	SiO <sub>2</sub>	0.73	V	0.86		
Arcillas	0.95	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.83	Cr	0.60		
TiO <sub>2</sub>	-0.76	CaO	0.78	Ni	0.96		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.68	Na <sub>2</sub> O	-0.74				
MnO	-0.94	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0.73				
MgO	-0.83						
K <sub>2</sub> O	0.97						
Cr	-0.79						
Co	-0.63						
As	0.67						
Cd	0.73						
Pb	0.99						
Exp. Var.	11.49	5.25		3.96		2.50	
Prop. Total	0.459	0.21		0.15		0.10	

\*C.O. Carbono orgánico, CO<sub>3</sub> carbonatos.

Tabla 37. Análisis de factores para el área de la desembocadura del río Antigua, con rotación varimax.





	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>		<b>Factor 3</b>		<b>Factor 4</b>	
	Textura	Mineralogía		Carbonato biogénico		Influencia antrópica	
C.O.	0.76	SiO <sub>2</sub>	-0.89	Profundidad	0.82	Cu	0.92
Arenas	-0.95	TiO <sub>2</sub>	0.79	CO <sub>3</sub>	0.78	Zn	0.92
Limos	0.95	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.70	Na <sub>2</sub> O	-0.75	Cd	0.60
Arcillas	0.87	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.81	Co	-0.70		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.60	MnO	0.91	As	-0.64		
CaO	-0.60	MgO	0.75				
K <sub>2</sub> O	-0.60	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.69				
V	0.67	V	0.63				
Cr	0.79						
Ni	0.68						
Cd	0.69						
Pb	0.82						
Exp. Var.	8.09		6.28		3.68		3.49
Prop. Total	0.324		0.25		0.147		0.14

\*C.O. Carbono orgánico, CO<sub>3</sub> carbonatos.

Tabla 38. Análisis de factores para el área de la desembocadura del río Jamapa, con rotación varimax.

	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>		<b>Factor 3</b>	
	Mineralogía	Textura		Carbonato biogénico	
Profundidad	0.85	C.O.	0.74	CO <sub>3</sub>	-0.79
Arcillas	0.82	Arenas	-0.62	SiO <sub>2</sub>	0.93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.78	Limos	0.67	TiO <sub>2</sub>	0.79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.91	V	0.77	MgO	-0.86
MnO	0.95	Cr	0.88	CaO	-0.84
Na <sub>2</sub> O	0.91	Co	0.61	As	0.62
K <sub>2</sub> O	0.71	Cu	0.81		
Ni	0.72	Zn	0.81		
		Cd	0.82		
		Pb	0.68		
Exp. Var.	7.90		7.62		6.73
Prop. Total	0.31		0.30		0.26

\*C.O. Carbono orgánico, CO<sub>3</sub> carbonatos.

Tabla 39. Análisis de factores para el área del Talud, con rotación varimax.





En La Antigua, Jamapa y el área del Talud Continental, el tamaño de grano es uno de los principales factores que caracterizó la distribución del sedimento. El tamaño de los fragmentos está asociado entre otros factores, con la influencia de la batimetría, descargas de los ríos y el tipo de minerales, los cuales dependen de la litología. Dependiendo de la densidad de los minerales y la dinámica presente en el área, los sedimentos serán depositados en sitios específicos.

En La Antigua el tipo de textura predominante en el sedimento fueron de limos arcillosos y limos arenosos, con unas cuantas muestras formadas principalmente por arenas. (Figura 18). En Jamapa predominaron arenas y arenas-limosas (Figura 19). Mientras que en el Talud continental predominó la textura de limo-arcilloso (Figura 20).

Las partículas suspendidas de sedimento fino permiten una mayor adsorción de metales que ocupan un lugar en la columna de agua (Duan et al, 2010, Horowitz y Elrick, 1987).

El factor 1 asociado a la textura del sedimento muestra interacciones con la profundidad, limos, arcillas, carbono orgánico y algunos metales traza. En las tres áreas, la textura de los sedimentos juega un papel importante en la variabilidad de los metales traza encontrada en esas áreas. La proporción de partículas finas, además del tamaño de algunos minerales que muy probablemente contienen algunos de los elementos traza estudiados, son un factor muy importante en la distribución de los metales en las muestras de sedimento.

Los minerales que constituyen el sedimento (factor 2) es otro parámetro importante en la distribución de los sedimentos en el área. Los metales traza tienen una mayor o menor afinidad a asociarse con la estructura cristalina de los diferentes minerales que constituyen el sedimento. En las tres áreas, la mineralogía estudiada juega un papel significativo sobre la distribución de los sedimentos.

En el área de La Antigua, los líticos volcánicos y el contenido de minerales pesados (factor 2 y 3) fueron un factor importante en la distribución del sedimento, mientras que en Jamapa y el área del Talud continental, el contenido de carbonatos de los sedimentos (Factor 3) fue un elemento decisivo en el patrón de distribución del sedimento en el zona.

Finalmente, la ausencia de una asociación significativa entre algunos de los parámetros estudiados con Cu o Zn podría sugerir que esos metales deberían probablemente venir de las actividades humanas. Por lo tanto, este factor (Factor 4) encontrado en las áreas costeras de La Antigua y Jamapa se cree están asociadas con la influencia antropogénica.





## 5.12 Fraccionamiento geoquímico

De manera general se puede decir que dentro de las distintas fracciones geoquímicas como son la fácilmente intercambiable (I), carbonatos (II), oxihidróxidos de hierro y manganeso (III), materia orgánica (IV) y residual (V), el V, Cr, Ni, Fe, As y Pb presentes en los sedimentos, tienen una misma tendencia de distribución; todos ellos se encontraron en mayor porcentaje en la fracción residual, disminuyendo su cantidad consecutivamente después en la fracción de oxihidróxidos de hierro y manganeso, seguido de la fracción de materia orgánica para ser precedido posteriormente por la fracción de carbonatos y finalmente la fácilmente intercambiable (Tabla 40), esta semejanza en su patrón de distribución podría sugerir un origen similar de estos elementos, al estar posiblemente asociados al mismo tipo de minerales que están presentes en los sedimentos o ser afines a los mismos procesos de remoción cuando están presentes en la columna de agua.

Elementos como Cu, Zn y Mn presentaron distribuciones diferentes entre ellos y con los seis elementos antes mencionados, por ejemplo en el caso del Cu la fracción de materia orgánica fue la segunda fracción en importancia, inmediatamente seguida por los oxihidróxidos de hierro y manganeso, después la de carbonatos y finalmente la fácilmente intercambiable; por su parte el Zn su segunda fracción en trascendencia fue la de oxihidróxidos de hierro y manganeso, siguiéndole ulteriormente la de carbonatos, para concluir con la fracción (I), por último en el caso del Mn fueron los carbonatos la segunda fracción en consideración, después la de oxihidróxidos de hierro y manganeso, seguida de la fácilmente intercambiable para finalmente terminar en la fracción de materia orgánica (Tabla 40). El hecho de presentar estas diferencias en sus patrones de distribución puede indicar su afinidad a otro tipo de minerales o sustancias orgánicas con las que interactúan en el ambiente, como son el caso del Zn, Cu y Mn, donde se conoce que el primero es más afín a formar parte de los oxihidróxidos de hierro y manganeso, el segundo a integrar quelatos con la materia orgánica y el tercero a la formación de carbonatos, por lo que se explicaría que hayan sido respectivamente la segunda fracción geoquímica donde se encontraron en mayor proporción después de la fracción residual.

Elemento	Fracciones				
V	V >	III >	IV >	II =	I
Cr	V >	III >	IV >	II >	I
Ni	V >	III >	IV >	II >	I
Fe	V >	III >	IV >	II >	I
As	V >	III >	IV >	II =	I
Pb	V >	III >	IV >	II >	I
Zn	V >	III >	II >	IV >	I
Cu	V >	IV >	III >	II >	I
Mn	V >	II >	III >	I >	IV

Tabla 40. Distribución de los metales traza en las 5 fracciones geoquímicas de los sedimentos de las tres áreas de estudio. Fracción fácilmente intercambiable (I), fracción de carbonatos (II), fracción de oxihidróxidos de hierro y manganeso, fracción de materia orgánica (IV) y fracción residual (V).





Con la excepción del Mn, ninguno de los elementos estudiados, fueron detectados en la fracción I (Tabla 41), significando esto que no se encuentran fácilmente biodisponibles a los organismos, debido a que se ubican distribuidos en otras fracciones, donde se necesitarían cambios en las condiciones fisicoquímicas del agua de mar para poder ser reincorporados a la columna de agua.

Los riesgos ambientales que podría generar el Mn al encontrarse fácilmente biodisponible debe ser considerado como nulo, debido a que hasta el momento no se han conocido daños ambientales causados por la exposición a este elemento, por lo cual tampoco se ha establecido un límite de emisión (Merian, 1991).

La mayor parte del porcentaje de la concentración total de cada elemento se encuentra en la fracción residual de los sedimentos (Tabla 41), esto indica que la movilidad de cada uno de los metales presentes podría considerarse como casi nula, debido a que es en esta fracción donde se utilizan las condiciones más agresivas para romper las estructuras de minerales resistentes al intemperismo, como son los aluminosilicatos, cuarzo, zirconio, etc., también sugeriría que la cantidad encontrada en esta fracción es de origen natural y se encuentra presente desde la formación de las rocas que formaron al sedimento analizado actualmente.

Por otro lado, aunque sea la fracción residual la que predomine contra el resto de las fracciones analizadas, solamente el Cr, As y Fe se encontraron en porcentajes muy cercanos o mayores al 90% en la fracción residual en las tres áreas (Tabla 41), sugiriendo esto que son influenciados principalmente por la litología de las cuencas de los ríos Jamapa y Antigua e indica un origen natural más que antropogénico, mientras que el resto de los elementos al presentar porcentajes menores al 90% (Tabla 41), se sugiere que puedan estar asociados a otros tipos de minerales diferentes a los aluminosilicatos como son los minerales pesados y carbonatos o también, puedan reflejar hasta cierto grado la influencia antrópica por parte de las actividades humanas que se llevan a cabo en el continente dependiendo de la fracción en que se encuentren, como son la fácilmente intercambiable o la de materia orgánica.

Al haber más de un 10% de la concentración total distribuida de los 6 elementos restantes en las otras cuatro fracciones (Tabla 41), se puede pensar que esos metales se encontraban en el ambiente acuático y que han sido eliminadas de la columna de agua al ser secuestrados por la formación de oxihidróxidos de hierro y manganeso, de quelatos con la materia orgánica y a la precipitación de carbonatos en el sedimento.

El Ni, Pb y Mn fueron los tres únicos elementos en las tres áreas que presentaron porcentajes cercanos o más bajos del 60% en la fracción residual (Tabla 41), señalando este hecho que se puedan considerar como las sustancias con mayor influencia antropogénica.







Área	Elemento	Frac. V	Frac. IV	Frac. III	Frac. II	Frac. I
Antigua	<b>Cu</b>	68.7	15.0	11.9	4.5	0.0
Jamapa		68.7	19.6	8.1	3.6	0.0
Talud		80.5	6.6	10.9	2.1	0.0
Antigua	<b>Ni</b>	59.9	12.5	16.7	10.8	0.0
Jamapa		52.5	10.9	34.0	2.5	0.0
Talud		49.8	14.5	30.8	4.9	0.0
Antigua	<b>Zn</b>	66.7	0.9	26.3	6.1	0.0
Jamapa		71.1	0.3	21.6	7.1	0.0
Talud		79.1	0.0	19.0	1.9	0.0
Antigua	<b>Pb</b>	51.5	8.7	30.6	9.2	0.0
Jamapa		72.9	5.5	15.7	5.9	0.0
Talud		46.2	11.7	34.2	7.9	0.0
Antigua	<b>Cr</b>	92.6	2.3	4.2	0.9	0.0
Jamapa		93.1	2.1	3.8	1.0	0.0
Talud		89.4	3.6	6.2	0.8	0.0
Antigua	<b>V</b>	89.0	2.9	8.1	0.0	0.0
Jamapa		87.2	2.1	10.7	0.0	0.0
Talud		85.1	5.2	9.7	0.0	0.0
Antigua	<b>As</b>	94.6	1.1	4.3	0.0	0.0
Jamapa		95.3	1.9	2.8	0.0	0.0
Talud		93.8	1.0	5.2	0.0	0.0
Antigua	<b>Fe</b>	90.2	0.3	9.2	0.2	0.0
Jamapa		90.6	0.4	8.6	0.4	0.0
Talud		89.4	0.3	10.2	0.0	0.0
Antigua	<b>Mn</b>	48.6	1.1	13.4	34.9	2.0
Jamapa		61.1	0.7	11.1	25.1	2.0
Talud		49.9	4.0	17.6	25.0	3.5

Tabla 41. Porcentajes de elementos traza en fraccionamiento geoquímico de los sedimentos de las tres áreas estudiadas. Fracción fácilmente intercambiable (I), fracción de carbonatos (II), fracción de oxihidróxidos de hierro y manganeso, fracción de materia orgánica (IV) y fracción residual (V).

Finalmente los mecanismos naturales que están secuestrando a la mayoría de los metales del ambiente acuático de las tres regiones estudiadas son la formación de oxihidróxidos de hierro y manganeso y las interacciones con la materia orgánica. En el caso del Mn son los carbonatos la segunda fracción geoquímica que está capturando en mayor proporción este elemento.





### 5.13 Índices de calidad del sedimento

### 5.14 Factor de enriquecimiento

El factor de enriquecimiento fue evaluado en las tres áreas estudiadas usando el contenido de cada metal reportado en la corteza continental superior (McLennan, 2001). Acorde a Birth (2003) se puede usar la concentración promedio de los metales reportados en la corteza como una referencia para poder determinar el grado de enriquecimiento.

Los valores del factor de enriquecimiento obtenidos indican las siguientes condiciones:

- a)  $EF \leq 1$  no enriquecimiento
- b)  $1 < EF \leq 3$  enriquecimiento menor
- c)  $3 < EF \leq 5$  enriquecimiento moderado
- d)  $5 < EF \leq 10$  enriquecimiento moderadamente severo
- e)  $10 < EF \leq 25$  enriquecimiento severo
- f)  $EF \geq 50$  enriquecimiento extremadamente severo

El uso de la corteza continental superior como un valor de referencia permite la comparación con los valores obtenidos en el área de estudio, como también con el factor de enriquecimiento reportado en otras áreas costeras. Sin embargo los altos factores de enriquecimiento obtenido para As usando la corteza continental superior como una referencia (promedio 8.67 mgkg<sup>-1</sup> en la Antigua, 7.05 mgkg<sup>-1</sup> en Jamapa y 9.68 mgkg<sup>-1</sup> en el área del Talud continental) hizo necesario el uso de la concentración de fondo obtenida en el área para poder clarificar el origen de los valores de enriquecimiento obtenidos para el As.

La concentración de metales de 113 sitios (Tabla 42) localizados en el área costera de interés fue usada como referencia de valores de fondo; 28 muestras fueron colectadas en tres diferentes épocas del año a 3 km de la costa del puerto de Veracruz y la desembocadura del río Jamapa; 15 muestras fueron colectadas en 2 épocas del año en Bahía Vergara localizada al norte del puerto de Veracruz (Rosales-Hoz et al 2007; Celis-Hernández 2009; Cerón-Alvarado 2008).

Referencias	Al	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
<b>Corteza continental superior <sup>a</sup></b>	80438	107	83	17	44	25	71	1.5	0.1	17
<b>Niveles de fondo del área <sup>b,c,d</sup></b>	40337	101.9	66.6	14.7	30.8	15.6	60.6	9.7	0.1	12.4

Tabla 42. Valores de referencia (mg kg<sup>-1</sup>) para calcular el factor de enriquecimiento usando la corteza continental superior <sup>a</sup>McLennan (2001) y valores de fondo del área <sup>b</sup>Rosales- Hoz et al. 2007, <sup>c</sup>Celis- Hernández 2009 y <sup>d</sup>Ceron- Alvarado 2008.





Los resultados del factor de enriquecimiento usando los dos valores de referencia son similares para los metales estudiados, excepto en el caso de As, donde los factores de enriquecimiento obtenidos usando los valores de fondo de As fueron de 0.99 en la Antigua, 0.81 en Jamapa y 1.11 en el Talud continental.

Los factores de enriquecimiento usando como referencia los valores de fondo del área y los resultados del análisis de fraccionamiento geoquímico donde se muestra que la mayor parte del As presente en los sedimentos se encuentra en la fracción residual, indican que el valor promedio de esta sustancia reportado para la corteza continental, no representa los valores naturales de las cuencas de ambos ríos, por lo que sugiere que el enriquecimiento de As registrado está relacionado a la litología presente en el área y no a las actividades humanas que se llevan a cabo en el continente.

Usando los valores de metales de la corteza continental como referencia, todos los metales del área presentan un enriquecimiento menor sobre el promedio (Figuras 28, 29 y 30) excepto As que presenta un enriquecimiento moderadamente severo.

El rango de valores del factor de enriquecimiento en el área de La Antigua (Figura 28 y 29) es mayor que en Jamapa y el área del Talud continental (Figura 30).

Todos los metales analizados en La Antigua, excepto el Ni, tienen valores promedio del factor de enriquecimiento mayores a 1 (Figura 28) que corresponde a un enriquecimiento menor el cual deba asociarse probablemente con fuentes naturales o antropogénicas, Acorde a Hung y Hsu (2004).

La concentración de As corresponde a un enriquecimiento moderadamente severo.

Algunos sitios específicos muestran enriquecimientos altos, el sitio A15 presenta enriquecimiento moderadamente severo de Cu (5.22) y un alto enriquecimiento menor de Zn (2.31) y Co (2.08). Este sitio está asociado con aportes de material fino procedente del río La Antigua. (Figura 15).

El sitio A1 presenta los valores más altos de enriquecimiento en V (2.12), Cr (2.71), y Ni (1.09); además cabe señalar que esta estación contuvo altas concentraciones de  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ , MnO y MgO que fueron abundantes en esta área.

El sitio A3 presenta dentro de la categoría de enriquecimiento menor los valores más altos en el área de Cd (1.99) y Pb (1.63) y enriquecimiento severo en As (11.1); los sedimentos de este sitio son 98.0% lodos.

Los valores promedio del factor de enriquecimiento en Jamapa (Figura 29) son más bajos que en la Antigua.





En general la desembocadura del río Jamapa presenta enriquecimiento moderadamente severo en As, mientras que elementos como el Cu, Zn, V, Cr y Co presentan un enriquecimiento menor y Ni, Cd y Pb no mostraron enriquecimiento.

El sitio J21 muestra enriquecimiento moderadamente severo de Cu (4.39) y enriquecimiento menor de Zn (2.06); este sitio está asociado con materiales finos aportados por el río. El sitio J9 presentó un cierto grado de enriquecimiento en V (1.17) y Cr (1.43); la localización de este sitio (Figura 9) sugiere que ese enriquecimiento está relacionado a descargas del río.

Los factores de enriquecimiento promedio para el área del Talud continental (Figura 31) fueron los más bajos. Solamente el Pb y As tuvieron valores promedio más altos que en las otras áreas de estudio.

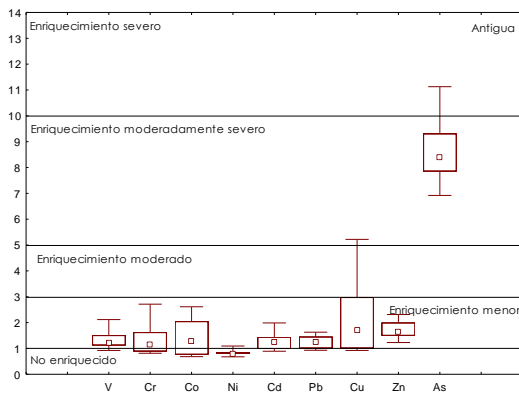


Figura 28. Diagrama de cajas del F.E D.R. Antigua (mediana, max, min)

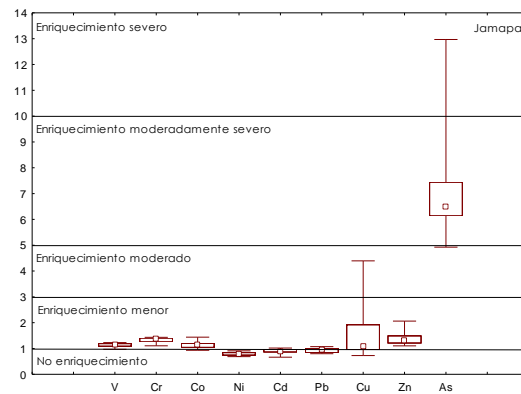


Figura 29. Diagrama de cajas del EF D.R. Jamapa (mediana, max, min)

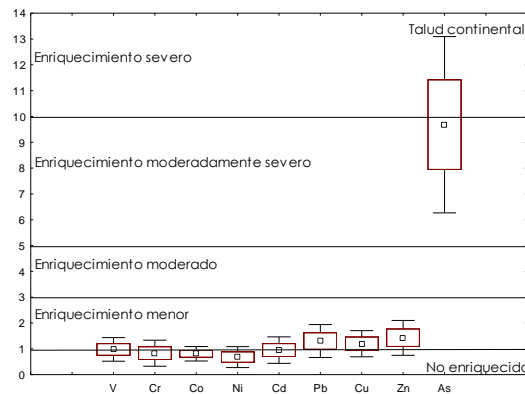


Figura 30. Diagrama de cajas del EF D.R. Talud Continental (mediana, max, min)





El punto de muestreo M13, localizado en frente del área de descarga del río Jamapa, presentó altos porcentajes de lodo y tuvo valores altos del factor de enriquecimiento en Zn (1.93), Pb (1.83), Cu (1.51), Cd (1.40), V (1.28) y Cr (1.22). La localización de este sitio (Figura 9) sugiere una asociación a las descargas de los ríos.

El hecho que algunos de los metales estudiados fueron encontrados enriquecidos en los sedimentos de las tres áreas sugiere aportes antropogénicos por parte del continente. Ha sido reportado (Sadiq 1992; Reimann y Caritat 1998) que el uso de pesticidas, herbicidas y fungicidas en las actividades agrícolas son probablemente responsables de la presencia de As, Cu y Zn.

Adicionalmente Cu y Zn están relacionados a descargas de aguas negras, las cuales podrían proceder de la ciudad de Veracruz.

Por otro lado el Zn puede ser atribuido a la actividad del puerto de Veracruz, porque es usado sobre barcos e infraestructura portuaria para prevenir la corrosión generada por el agua de mar (Reimann y Caritat 1998).

El Pb ha sido asociado con incineración de basura, descargas de aguas residuales, combustión de carbón, tráfico, metalurgia y soldadura, etc. (Brayan y Langston 1992).

Estas actividades son llevadas a cabo en la ciudad de Veracruz y sus alrededores. V, Co y Cd han sido relacionados a la quema de carbón, polvo geogénico y a la industria metalúrgica.

Cd y Co han sido relacionados a fertilizantes, descargas de aguas residuales, incineración de basura (Reimann y Caritat 1998), contribuciones de actividades agrícolas y la quema de combustibles por embarcaciones pequeñas y plantas de generación de electricidad.

### **5.15 Comparación del Factor de enriquecimiento de las áreas estudiadas con otros sitios a nivel mundial**

El uso de diferentes índices de contaminación ha llegado a ser recientemente muy común. En la tabla 43, se muestran factores de enriquecimiento de diferentes áreas marinas.

Analizando los datos en la tabla, es posible visualizar las condiciones prevalecientes en cada área. Los altos valores observados en la tabla 43 para diferentes áreas costeras fueron asociados a contribuciones antropogénicas en todos los casos.

Los factores de enriquecimiento reportados en el área costera de Veracruz para As fueron altos comparados con los datos reportados en el puerto Dongjian (Liu et al 2010), donde los autores reportan que las concentraciones de As y Zn fueron afectados seriamente por actividades humanas, aunque los factores de





enriquecimiento en el puerto Dongjian fueron calculados usando los valores de muestras de sedimento no contaminado.

Los factores de enriquecimiento reportados para Cu en algunos sitios en el presente estudio fueron tan altos como los valores observados en algunos sitios en el Golfo de Thermaikos, Grecia (Christophoridis et al 2009). Los factores de enriquecimiento para el resto de los metales estudiados estuvieron por debajo de los datos reportados en la [tabla 43](#).

El área costera cercana a la desembocadura del río Jamapa está muy cerca del puerto de Veracruz, donde existen tres parques industriales; solamente uno de ellos tiene 231 industrias diferentes (concreto, pinturas, acero, entre otras) (INEGI 2012).

Adicionalmente la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Veracruz está localizada sobre la línea de costa y actividades relacionadas al mantenimiento de barcos son llevados a cabo en ese lugar. Ha sido reportado que pintura anti-fouling es usada sobre la estructura de los barcos, por lo que es una de las principales fuentes de contaminación por Cu en ambientes acuáticos (Idris 2008).

El área costera cercana a La Antigua no es afectada directamente por las descargas industriales; sin embargo los factores de enriquecimiento fueron altos en Cu, Zn, Pb, Cr y Cd.

Los sitios de muestreo del área de La Antigua fue donde se encontraron los factores de enriquecimiento más altos y se asocian con el alto contenido de lodos y la mayor profundidad de las estaciones estudiadas en esta área.

El Cu presentó los factores de enriquecimiento más altos en algunos sitios del área costera del Jamapa.

Por otro lado enriquecimiento de metales en el Talud continental fueron más bajos que en las áreas costeras estudiadas para todos los metales excepto en As y Pb.





	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Cd	As
Golfo de Thermaicos Grecia	0.50–5.30	0.90–4.40	0.60–12.5		0.10–2.10		
Costa SW Taiwan	0.92–1.50	0.72–3.31	0.87–1.17	0.67–1.16	0.98–6.96	1.25–11.23	0.70–1.99
Estuarios Bahía Bohai China	0.77–2.81	1.01–2.11	0.92–1.93	0.67–1.49	0.89–1.97	0.76–1.98	
Zona intermareal río Yangtze	0.50–2.40	1.20–2.60	1.3–2.3	1.10–2.80	1.10–5.60	1.70–6.80	
Costa Kaoping SW Taiwan		1.18–3.50	1.20–4.94	0.53–2.38	0.85–2.92	0.16–1.65	
Puerto Sundance costa del mar rojo	1.10–5.00	1.00–5.10	0.10–5.20	1.00–5.00			
Puerto Dongjian Tianjin China	0.43–0.89	0.70–1.27	0.62–6.39			0.02–0.09	0.70–1.59
Área costera de la Antigua	0.92–5.22	1.23–2.31	0.93–1.63	0.68–1.09	0.81–2.71	0.89–1.99	6.92–1.59 <sup>a</sup> 0.79–1.27 <sup>d</sup>
Área costera del Jamapa	0.73–4.39	1.10–2.06	0.80–1.07	0.69–0.91	1.11–1.43	0.66–1.02	4.92–12.97 <sup>a</sup> 0.56–1.49 <sup>d</sup>
Plataforma continental de Veracruz	0.59–1.51	0.57–1.93	0.58–1.83	0.27–0.98	0.37–1.22	0.45–1.40	7.49–12.67 <sup>a</sup> 0.86–1.45 <sup>d</sup>

Tabla 43. Factores de enriquecimiento de diferentes áreas costeras.

### 5.16 El grado de contaminación ( $C_d$ )

En el presente estudio los valores del factor de contaminación ( $C_i$ ) fueron calculados usando los datos de 10 muestras de cada área para los metales estudiados (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd y Pb).

El factor de contaminación fue evaluado usando dos materiales de referencia reportados en la [tabla 40](#). Los valores obtenidos usando los dos materiales de referencia fueron muy similares en todos los casos; pero fueron altos al usar los valores del área costera como material de referencia.

Para comparar los valores obtenidos del factor de contaminación adquiridos en el presente trabajo con los valores de otras áreas costeras se usó como referencia los valores de la corteza continental superior los cuales se muestran en la [tabla 44](#).

Área	$C_i$ V	$C_i$ Cr	$C_i$ Co	$C_i$ Ni	$C_i$ Cu	$C_i$ Zn	$C_i$ As	$C_i$ Cd	$C_i$ Pb	$mC_d$
La Antigua	0.99	1.02	1.05	0.64	1.57	1.32	6.59	0.95	0.95	1.67
Jamapa	0.96	1.12	0.96	0.67	1.47	1.20	5.81	0.75	0.78	1.53
Talud Continental	0.72	0.59	0.58	0.51	0.87	1.04	6.91	0.68	1.49	1.43

Tabla 44. Factores de contaminación ( $C_i$ ) y grado de contaminación modificado ( $mC_d$ ) de las tres áreas de estudio.

Los valores del factor de contaminación de la Antigua y Jamapa son muy similares para V, Cr, Co y Ni; el área costera de la Antigua presenta valores del factor de contaminación altos en Cu, Zn, As, Cd y Pb.

En general los elementos con los valores más altos del factor de contaminación en las tres áreas fueron As, Cu y Zn. Por otro lado, el área del Talud continental comparado con las desembocaduras de los ríos, presenta resultados más altos de





Pb (1.49) y As (6.91), sugiriendo esto un mecanismo diferente de depositación de esos metales.

El grado de contaminación modificado ( $mC_d$ ) presenta en las tres áreas de estudio valores arriba de 1, sugiriendo enriquecimiento de metales en las áreas relativas al material de referencia usado. Valores altos fueron encontrados en el área costera de La Antigua.

### 5.17 Índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ )

Para este índice fueron definidas las siguientes 7 categorías.

- a) Categoría 0 ( $I_{geo} \leq 0$ , no contaminado)
- b) Categoría 1 ( $0 \leq I_{geo} \leq 1$ , no contaminado)
- c) Categoría 2 ( $1 \leq I_{geo} \leq 2$ , moderadamente contaminado)
- d) Categoría 3 ( $2 \leq I_{geo} \leq 3$ , moderadamente a extremadamente contaminado)
- e) Categoría 4 ( $3 \leq I_{geo} \leq 4$ , fuertemente contaminado)
- f) Categoría 5 ( $4 \leq I_{geo} \leq 5$ , fuertemente a extremadamente contaminado)
- g) Categoría 6 ( $5 \leq I_{geo} \leq 6$ , extremadamente contaminado)

Los valores obtenidos del índice de geoacumulación en el presente estudio (Tabla 45) mostraron que los valores promedio están por debajo de 1 para todos los metales estudiados, excepto para As; solamente unos pocos sitios específicos presentan grados diferentes de contaminación.

	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
<b>Antigua</b>									
<b>Promedio</b>	0.55	0.51	0.52	-0.07	0.99	0.96	3.29	0.49	0.47
<b>Máximo</b>	1.14	1.50	1.50	0.19	2.55	1.37	3.70	1.21	0.92
<b>Mínimo</b>	0.30	0.00	-0.21	-0.22	0.07	0.70	3.04	0.04	0.08
<b>Desv. Std</b>	0.28	0.53	0.67	0.14	0.85	0.25	0.21	0.35	0.31
<b>Jamapa</b>									
<b>Promedio</b>	0.51	0.74	0.53	0.01	0.84	0.38	3.10	0.15	0.23
<b>Máximo</b>	0.74	1.01	0.63	0.18	2.47	1.38	3.76	-0.29	-0.07
<b>Mínimo</b>	0.06	0.35	0.31	-0.44	-0.35	0.25	2.72	0.43	0.42
<b>Desv. Std</b>	0.22	0.20	0.11	0.18	0.91	0.32	0.27	0.25	0.16
<b>Talud Continental</b>									
<b>Promedio</b>	-0.01	-0.27	-0.25	-0.56	0.30	0.53	3.33	-0.05	0.40
<b>Máximo</b>	0.50	0.25	0.33	0.36	0.76	1.01	3.96	0.45	0.94
<b>Mínimo</b>	-1.61	-1.69	-1.03	-2.17	-1.03	-1.09	2.43	-1.41	-1.06
<b>Desv. Std</b>	0.42	0.59	0.37	0.79	0.61	0.67	0.39	0.58	0.65

Tabla 45. Índices de geoacumulación para las tres áreas, usando la corteza continental superior como referencia.







En el área de la Antigua el sitio de muestreo A1 presenta valores de  $I_{geo}$  por arriba de 1 para As (fuertemente contaminado), Cr y V (moderadamente contaminado) y el sitio A15 con valores por arriba de 2 para Cu (moderadamente a extremadamente contaminado) y Zn (moderadamente contaminado). El sitio A3 tiene valores de As (fuertemente contaminado) y Cd (moderadamente contaminado).

En Jamapa el sitio J21 presenta valores de  $I_{geo}$  arriba de 1 para As (fuertemente contaminado), Cu (moderadamente a extremadamente contaminado) y Zn (moderadamente contaminado) y el sitio J7 en As (moderadamente a extremadamente contaminado), Cu (moderadamente contaminado a extremadamente contaminado) y Zn (moderadamente contaminado).

### 5.18 Índices de calidad del sedimento (SQGs, Sediment Quality Guidelines)

Basados sobre los datos reportados por Long et al. (1995) (tabla 46), un análisis de la concentración de metales evaluada en cada área de estudio mostró que el porcentaje de efectos adversos que puede ser inferido varió entre los metales de un área a otra.

En las tres áreas de estudio se observó que las concentraciones de Cd, Pb y Zn podrían raramente ser asociados con un efecto biológico adverso, ya que en estos tres metales los niveles de concentración máximos encontrados (Cd = 0.2, Pb = 22 y Zn = 124) están por debajo de los valores ERL (Effects Range-Low) que Long et al. (1995) reportó se presentan bajos efectos adversos Cd  $\geq 1.2$ , Pb  $\geq 46.7$  y Zn  $\geq 150$  mg kg<sup>-1</sup> (Tabla 46).

Con el fin de determinar el porcentaje de muestras que se encuentran en las categorías de raramente, ocasionalmente o frecuentemente, se debe comparar la concentración de cada lugar analizado contra los intervalos de cada categoría, para así, poder colocar a cada estación en el sitio que le corresponde; una vez que se conoce cuantas estaciones están en alguno de los intervalos de concentración fijados para cada clase, se procede a calcular el porcentaje dividiendo el número de muestras que están en una determinada categoría entre el total de los sitios analizados, para finalmente multiplicar el resultado por cien, este procedimiento se debe hacer para cada uno de los metales que se analicen.

En el área costera adyacente a la desembocadura del río La Antigua, ocasionalmente efectos biológicos adversos podrían ser observados en 100, 100, 50 y 40 % de los sitios debido a las concentraciones de As, Ni, Cu y Cr, respectivamente y raramente podrían ser observados debido a la presencia de Cd, Pb y Zn (Figura 31) en 100% de los sitios estudiados.

Los sedimentos del área costera a la desembocadura del río Jamapa podrían ocasionalmente causar efectos biológicos adversos debido a las concentraciones de Ni, Cr, As y Cu respectivamente en 90, 80, 60 y 20 % de las estaciones





analizadas. Por otro lado raramente efectos biológicos adversos por Cd, Pb y Zn (figura 32) podrían ser observados en el 100% de los sitios estudiados.

Esto significa que el porcentaje o mejor dicho la probabilidad de incidencia de efectos biológicos adversos que podría ser observado en los sedimentos del área costera de la Antigua y Jamapa serán acorde a los datos de Long et al. (1995) tabla 46 de 11.1 % para As, 16.6% para Ni, 29.1% para Cu y 21.1% para Cr.

Las concentraciones en el Talud continental son más bajas que el índice ERL, por lo que no debería haber efectos biológicos adversos por Cd, Cr, Cu, Pb y Zn, solamente ocasionalmente la fauna bentónica podría ser afectada negativamente en 90 y 80 % de los sitios analizados, debido a que ese porcentaje de estaciones contiene concentraciones de As y Ni dentro del intervalo de  $\geq$  ERL (Effects Range-Low) y ERM (Effects Range-Median) < (Figura 32).

Las concentraciones de Ni evaluados en el área del Talud no mostraron un enriquecimiento en relación al Ni encontrado en la corteza continental. Sin embargo, acorde con los índices SQGs (Sediment Quality Guidelines)(Long et al 1995) el 70% de los sitios analizados en esta zona presentaron concentraciones de Ni mayores a  $20.9 \text{ mgkg}^{-1}$  lo que podría generar ocasionalmente un impacto negativo sobre la fauna. Caso opuesto podría ser para el Zn ya que los resultados del factor de enriquecimiento mostraron un enriquecimiento menor lo que podría sugerir cierto grado de contaminación que afectara al ambiente marino, pero acorde a los SQG se necesitan concentraciones mayores a  $150 \text{ mgkg}^{-1}$  para producir un efecto sobre la fauna, cosa que no fue encontrada en este estudio, de todos los metales estudiados se esperaba haber encontrado altos enriquecimientos de Zn debido a las cercanías del puerto

De todos los elementos estudiados siempre se pensó que podría observarse un enriquecimiento en Zn en algunos sitios del área de estudio, principalmente en los que se encuentran cercanos al puerto de Veracruz, debido a que este elemento es usado ampliamente para ofrecer protección contra la corrosión a las estructuras portuarias y a los barcos que entran y salen constantemente de este sitio.





Metal	Áreas			SQGs (mgkg <sup>-1</sup> )		Porcentaje (proporción) de incidencia de efectos		
	Antigua	Jamapa	Talud	ERL	ERM	Raramente	Ocasionalmente	Frecuentemente
						<ERL	≥ERL Y <ERM	≥ERM
As	12.97-8.2	13.56-6.59	15.59-5.3	8.2	70	63	5	11.1
Cd	0.15-0.06	0.088-0.05	0.089-0.025	1.2	9.6	65.7	6.6	36.6
Cr	156.1-55.4	111.53-70.4	65.6-17.1	81	370	95	2.9	21.1
Cu	97.31-17.4	92.60-13.0	28.09-8.17	34	270	83.7	9.4	29.1
Pb	21.5-11.9	15.17-10.8	21.6-5.4	46.7	218	90.2	8	35.8
Ni	33.3-25.2	33.33-21.6	37.5-6.5	20.9	51.6	16.9	1.9	16.7
Zn	122.4-76.7	123.47-56.3	95.35-22.2	150	416	69.8	6.1	47

Tabla 46. SQGs (Sediment, Quality Guidelines) y porcentaje de incidencia de efectos (modificado de Long et. al 1995). Nota: ERL: Effects Range-low, ERM: Effects Range Median.

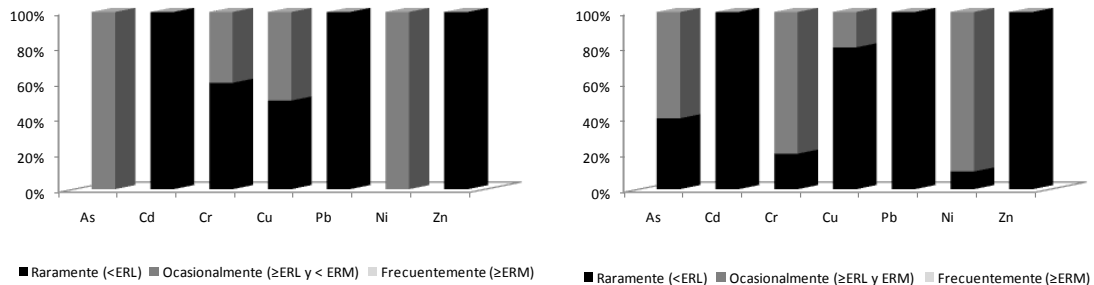


Figura 31. Clasificación de muestras D.R. Antigua basado en SQGs (Sediment Quality Guidelines)

Figura 32. Clasificación de muestras D.R. Jamapa basado en SQGs (Sediment Quality Guidelines)

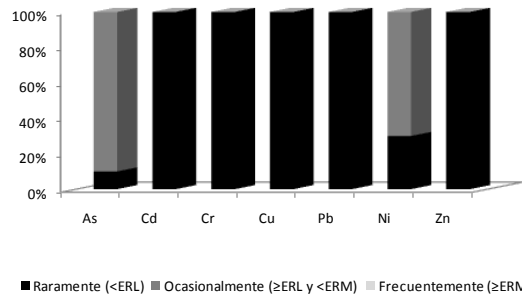


Figura 33. Clasificación de muestras Talud Continental basado en SQGs (Sediment Quality Guidelines)

## 5.19 Comparación entre los índices de calidad de sedimentos

Enriquecimientos similares de metales fueron encontrados a través del uso del uso de los diferentes índices usados para evaluar la contaminación.

Los factores de enriquecimiento dieron un mayor número de metales enriquecidos en cada área que el índice (grado de contaminación)  $C_f$  y el índice de geoacumulación  $I_{geo}$ . Los metales con mayor concentración mostraron enriquecimientos con los tres diferentes índices usados.





En el área de La Antigua As, Cu, Zn, Co, Cr y V en Jamapa As, Cu y Cr y en el Talud continental As, Zn y Pb presentaron valores altos con el factor de enriquecimiento, el grado de contaminación y el índice de geoacumulación.

El grado de contaminación modificado (mCa) permite tener un panorama de las condiciones del sistema el cual es obtenido por la suma de todos los metales estudiados. Los datos de este índice señalan a la Antigua como el área con los mayores enriquecimientos.

Acorde a los índices de calidad del sedimento, los metales que podrían producir ocasionalmente efectos adversos a los organismos fueron Ni, As, Cu y Cr en el área costera y As y Ni en el Talud continental.

Una aproximación integral que incluye las características geoquímicas y texturales de los sedimentos, la concentración de los metales y varios índices de contaminación fueron necesarios para explicar los niveles de concentración y patrones de distribución relacionada a las descargas continentales.

En el caso del As, se observa que si se usan los valores promedios encontrados en el área, el factor de enriquecimiento es menor que si se compara con el valor de fondo de la corteza continental, esto sugiere que la concentración reportada para la corteza no es el valor de fondo más adecuado para comparar, porque no representa a los valores naturales de nuestra área de estudio.





## 5.20 Núcleos de sedimento

El estudio de núcleos de sedimento permite observar la evolución del área a través del tiempo, ya que conocer la composición química y sedimentológica del sedimento a lo largo del núcleo muestra los diferentes procesos que han afectado el área. En el presente trabajo se seleccionaron cuatro núcleos de sedimento, dos en la zona costera adyacente a la desembocadura del río Jamapa y dos en la zona costera adyacente a la desembocadura del río La Antigua.

### 5.21 Zona costera adyacente a la desembocadura del río Jamapa

El núcleo J25, fue tomado a 6.5 km de la desembocadura del río Jamapa, en las coordenadas  $19^{\circ} 09.084' N$  y  $96^{\circ} 04.029' W$  (Figura 34), a una profundidad de 21.3 m. La longitud del núcleo fue de 16 cm; a lo largo de la columna sedimentaria el color del sedimento fue gris claro, y aproximadamente en los últimos 11 centímetros se observaron pequeños fragmentos de conchas.

El núcleo J29, fue tomado en la parte intermedia del SAV a 11.8 km de la desembocadura del río Jamapa, en las coordenadas  $19^{\circ} 12.672' N$  y  $96^{\circ} 05.483' W$  (Figura 34), a una profundidad de 25.2 m. El largo del núcleo fue de 20 cm. El color que se presentó a lo largo de la columna fue gris claro.

### 5.22 Zona costera adyacente a la desembocadura del río La Antigua

El núcleo A15, fue tomado a 13.6 km de la desembocadura del río Antigua, en las coordenadas  $19^{\circ} 19.184' N$  y  $96^{\circ} 09.242' W$  (Figura 34), a una profundidad de 43.1 m. El largo del núcleo fue de 24 cm. El color del sedimento a lo largo de la columna sedimentaria fue gris claro. En los centímetros del 6 a 7 y del 11 hasta el 24, se observaron fragmentos de conchas.

El núcleo A16, fue tomado cerca de la planta nuclear de Laguna verde y aproximadamente a 40 km de la desembocadura del río Antigua, donde todavía se puede considerar alguna influencia por parte del río, en las coordenadas  $19^{\circ} 41.320' N$  y  $96^{\circ} 18.609' W$  (Figura 34) a una profundidad de 50 m. El tamaño del núcleo fue de 21 cm. El color del sedimento fue gris claro, desde el centímetro 2 hasta el 21 se observaron pequeños fragmentos de conchas aumentando éstas gradualmente.



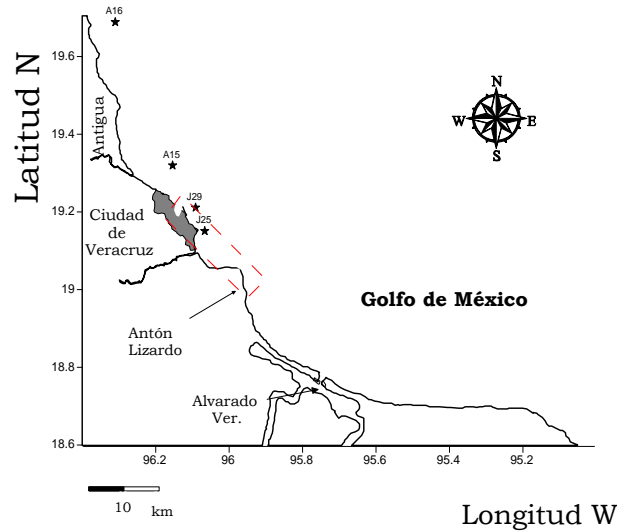


Figura 34. Ubicación de los núcleos J25, J29, A15 y A16

### 5.23 Análisis textural en núcleos de sedimento

Los cambios en las proporciones de limos, arcillas y arenas observados a lo largo de las secciones longitudinales de los núcleos, ayuda a interpretar si existen variaciones en los aportes de sedimento por parte de las desembocaduras de los ríos, así como explicar algún posible cambio en la concentración de metales que sea generado por cambios en la textura a lo largo del perfil de la columna de sedimento.

El núcleo J25 se encuentra a 6.5 km de la desembocadura del río Jamapa, fue colectado a 21.3 m de profundidad con una longitud de 16 cm, fue dividido cada centímetro, presentando valores promedio de arena de 46.5%, de limo 45.2% y de arcilla 8.2% (Tabla 47). A lo largo del núcleo se presentan fluctuaciones en el contenido de arenas, limos y arcillas, que podrían estar asociados a los procesos dinámicos que ocurren en el área; así el valor máximo de arena (63.9%) se presenta a los cuatro centímetros, coincidiendo con los valores mínimos de limo (31.9%) y arcilla (4.1%); en la parte más profunda del núcleo se presenta el valor más bajo de arena (21.4%) en el cual se tienen los valores más altos de limo (62.8%) y arcilla (15.7 %). Este núcleo presenta el valor promedio más alto de arena (46.5%), de SiO<sub>2</sub> (56.8%) y de MgO (2.23 %), los contenidos de arena y sílice presentan la más alta desviación estándar en los cuatro núcleos estudiados, lo cual señala la alta fluctuación de estos parámetros a lo largo del núcleo.

El núcleo J29 se localizo a 11.8 km de la desembocadura del río Jamapa, a una profundidad de 25.2 m y con una longitud de 20 cm, fue dividido cada centímetro, presentando valores promedio de arena de 36.1%, de limo 51.9% y de arcillas 11.4% (Tabla 47). El núcleo presenta un comportamiento alternado bien definido de la secuencia sedimentaria, de la superficie al cuarto centímetro de profundidad existe un claro predominio de limos y arcillas, a partir del centímetro número cinco hasta el once predominan las arenas y del doce al diecisiete





predominan de nuevo los limos y arcillas, en la parte más profunda del centímetro 18 al 20 predominan las arenas. Este núcleo presenta los valores promedio más altos de carbonatos (26.3%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (12.5%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5.1%), TiO<sub>2</sub> (0.83%), MnO (0.08%), Na<sub>2</sub>O (3.23%) y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.19%). La desviación estándar de la mayoría de estos parámetros es la más alta, lo que señala las altas fluctuaciones de concentración observados.

Núcleo J25				Núcleo J29			
Sección	% Arenas	% Limos	% Arcillas	Sección	% Arenas	% Limos	% Arcilla
1	37.92	<b>53.20</b>	8.20	1	<b>37.02</b>	<b>52.17</b>	10.81
2	<b>52.65</b>	41.30	6.05	2	26.39	<b>61.41</b>	<b>12.21</b>
3	43.06	<b>48.46</b>	<b>8.48</b>	3	32.10	<b>54.88</b>	<b>13.02</b>
4	<b>63.96</b>	31.90	4.14	4	30.26	<b>57.52</b>	<b>12.22</b>
5	<b>55.71</b>	39.91	4.39	5	<b>47.31</b>	44.81	7.88
6	40.95	<b>49.47</b>	<b>9.58</b>	6	<b>46.61</b>	45.12	8.27
7	44.49	<b>46.78</b>	<b>8.37</b>	7	<b>38.80</b>	50.59	10.61
8	<b>48.96</b>	42.75	<b>8.28</b>	8	<b>46.17</b>	45.36	8.47
9	39.99	<b>50.62</b>	<b>9.38</b>	9	<b>44.72</b>	46.30	8.97
10	<b>56.19</b>	37.66	6.15	10	<b>38.49</b>	51.83	9.68
11	<b>53.61</b>	40.13	6.26	11	<b>46.25</b>	45.25	7.97
12	44.82	<b>45.40</b>	<b>9.78</b>	12	34.67	<b>53.02</b>	<b>12.31</b>
13	40.48	<b>49.53</b>	<b>10.00</b>	13	32.80	<b>55.08</b>	<b>12.12</b>
14	<b>55.25</b>	37.89	6.86	14	29.69	<b>56.68</b>	<b>13.63</b>
15	44.08	<b>45.52</b>	<b>10.40</b>	15	27.76	<b>57.19</b>	<b>15.04</b>
16	21.40	<b>62.86</b>	<b>15.74</b>	16	28.76	<b>55.81</b>	<b>15.43</b>
				17	28.45	<b>56.41</b>	<b>15.14</b>
				18	<b>39.58</b>	48.82	<b>11.60</b>
				19	35.77	51.72	<b>12.51</b>
				20	<b>40.68</b>	48.74	10.58
<b>Promedio</b>	<b>46.47</b>	<b>45.21</b>	<b>8.25</b>	<b>Promedio</b>	<b>36.61</b>	<b>51.94</b>	<b>11.42</b>

Tabla 47. Perfil de textura vs profundidad de los núcleos J25 y J29, las secciones de color rojo indican que están por arriba del promedio, mientras que las de color negro están por debajo del promedio.

El núcleo A15 se localizó a 13.6 km de la desembocadura del río La Antigua, a una profundidad de 43.1 m y con una longitud de 24 cm, fue dividido cada centímetro, presentando valores promedio de arena 23.5%, de limo 53.6% y de arcillas 20.9% (Tabla 48). A lo largo de la columna sedimentaria hay una fluctuación alternada de los parámetros texturales, encontrándose los niveles más bajos del contenido de arena en los centímetros cuatro y cinco (5.39 y 5.9%) los cuales coinciden con los máximos de limos (66.9 y 66.4 %) y de arcillas (27.6 y 27.5%), del centímetro siete al once la cantidad de limos y arcillas es mayor al de los promedios de estos parámetros vistos en el núcleo, mientras que del centímetro doce al veinticuatro hay un aumento mayor al promedio de la textura de arenas. En general el núcleo se caracterizó por tener el segundo porcentaje promedio más alto de limos y arcillas de los cuatro núcleos estudiados, también tuvo la segunda concentración promedio más baja de SiO<sub>2</sub> (53.79%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4.52%), Na<sub>2</sub>O (2.56%), MgO (1.86%).

El núcleo A16 se localizó aproximadamente a 40 km de la desembocadura del río La Antigua, a una profundidad de 50 m con un tamaño de 21 centímetros, al igual que los otros tres núcleos fue dividido cada centímetro; de los cuatro núcleos, éste presenta los valores promedio más altos de limos (62.3%) y arcillas (23.1%) (Tabla 48). A lo largo de su columna sedimentaria se observa una





variación intercalada en las cantidades de arenas, limos y arcillas, encontrándose en el primer centímetro los valores máximos de estos dos últimos parámetros (69.7%) y (27.7%) coincidiendo con el mínimo de arena (2.5%), del centímetro tres al cinco y del siete al diez, los porcentajes de limos y arcillas fueron mayores al promedio del núcleo, del centímetro dieciséis al veinte los valores de arena fueron mayores al promedio (15.3%). Este núcleo destaca de los demás, por presentar los máximos valores promedio de limos y arcillas, también por tener los mínimos valores promedio de  $Al_2O_3$  (0.65%),  $Fe_2O_3$  (4.17%),  $MgO$  (1.67%).

Núcleo A15				Núcleo A16			
Sección	% Arenas	% Limos	% Arcillas	Sección	% Arenas	% Limos	% Arcillas
1	24.75	55.46	19.77	1	2.50	69.74	27.75
2	27.58	53.64	18.76	2	15.49	62.51	21.99
3	33.33	49.40	17.25	3	11.85	65.14	23.00
4	5.39	66.97	27.63	4	12.76	62.84	24.39
5	5.98	66.47	27.53	5	7.35	66.72	25.92
6	36.84	47.52	15.63	6	23.00	58.63	18.35
7	23.39	55.63	20.97	7	10.19	65.20	24.60
8	18.23	58.47	23.29	8	10.86	65.02	24.10
9	14.05	62.04	23.90	9	10.33	65.66	24.00
10	21.80	55.80	22.39	10	9.53	65.34	25.12
11	16.73	60.86	22.40	11	16.00	61.72	22.27
12	27.78	52.34	19.86	12	11.83	63.65	24.50
13	23.36	54.95	21.67	13	16.88	61.33	21.77
14	24.84	20.59	20.56	14	11.68	63.51	24.80
15	44.56	41.61	13.81	15	7.91	65.57	26.51
16	26.80	52.43	20.76	16	26.59	54.56	17.87
17	25.37	54.15	20.46	17	21.36	56.02	19.79
18	20.31	57.90	21.77	18	30.20	49.81	18.47
19	26.20	53.63	20.16	19	19.46	57.84	19.81
				20	20.12	58.42	19.92
				21	10.68	62.18	25.15
<b>Promedio</b>	<b>23.55</b>	<b>53.68</b>	<b>20.98</b>	<b>Promedio</b>	<b>14.60</b>	<b>61.98</b>	<b>22.87</b>

Tabla 48. Perfil de textura vs profundidad de los núcleos A15 y A16, las secciones de color rojo indican que están por arriba del promedio, mientras que las de color negro están por debajo del promedio.

En los cuatro núcleos (J25, J29, A15 y A16), se observó la tendencia de una variación conjunta entre los limos y las arcillas, debido a que entre ellas presentaron correlaciones positivas (0.89, 0.84, 0.61 y 0.90), también a lo largo del perfil de profundidad de cada núcleo, se registró la tendencia de una relación inversa entre las partículas finas y las arenas lo cual es apoyado por las correlaciones negativas entre estos parámetros (arenas vs limos, -0.99, -0.93, -0.98, -0.90 y arenas vs arcillas, -0.63, -0.99, y -0.97, -0.97), este tipo de comportamiento permite sugerir la existencia de eventos naturales o antropogénicos que modifican las proporciones de estas variables en cada una de las secciones en que fue dividida la columna sedimentaria. Algunos de estos eventos pueden ser la construcción de presas en las cuencas de los ríos, aumento de la superficie agrícola y ganadera, debido a que el primero impide la llegada de material grueso a las desembocaduras de los ríos y el segundo pueda aumentar el aporte de material fino, por lo que en ambos casos se puede ver de una manera indirecta los cambios del uso de suelo en el continente de un área en particular, también los eventos de nortes o huracanes que pueden impedir la depositación de los limos y arcillas o en casos extremos remover el sedimento del piso marino y







mezclarlo, por lo que también se verían modificaciones en las proporciones y tipo de textura presente el perfil de profundidad.

En las [tablas 47 y 48](#) se observa que cada núcleo posee un porcentaje promedio diferente de arenas, limos y arcillas, esto puede ser explicado debido a la distancia y profundidad del punto donde fueron muestreados; por ejemplo en los núcleos J25 y J29 que fueron tomados a una profundidad de 21.3 y 25.2 m, mientras que en los núcleos A15 y A16 que se tomaron a profundidades de 43.1 y 50 m y donde el núcleo A16 se colectó más alejado de la boca del río, se presentaron valores promedio de lodos más altos en A16. Es factible que los fuertes vientos (nortes) característicos de esta zona remuevan los sedimentos en las estaciones más someras, al generarse condiciones de alta energía aun en la isobata de los 20 m, lo que impide la depositación de porcentajes más altos de sedimento fino en los núcleos de Jamapa; pero al incrementarse la batimetría hasta la isobata de los 40 m, las condiciones cambian progresivamente, generándose las condiciones necesarias para el depósito de lodos; por otro lado, los núcleos más cercanos a las desembocaduras de los ríos (J25 (6.5 km), J29 (11.8 km) y A15 (13.6 km)) presentaron coeficientes de variación del porcentaje de lodos a lo largo de la columna sedimentaria de 18.5 %, 11.1% y 16.6%, siendo mayores al 8.6 % mostrado en el núcleo A16 (30 km), sugiriendo esto que entre más lejos se está de la desembocadura del río la variación del contenido de lodos es menor a lo largo de la columna sedimentaria debido a condiciones de menor energía.

El uso del diagrama ternario propuesto por [Shepard \(1954\)](#) permite observar la tendencia en la distribución textural en cada columna sedimentaria estudiada. En el núcleo J25 predomina la textura de tipo arena limosa, solo tres muestras caen en el área de limo arenoso ([Figura 35](#)), en tanto, en el núcleo J29 todas las muestras corresponden a limo arenoso ([Figura 36](#)). El tipo de textura que predominó en los núcleos asociados a la desembocadura del río Jamapa refleja que el área, puede ser considerada como una zona de relativa alta energía, debido al tipo de textura predominante, probablemente la convergencia de las aguas continentales con las aguas costeras, y la poca profundidad de la columna de agua (21.3 m) son factores que impidan la depositación de material más fino, por otro lado también se observa la transición de fracciones texturales, ya que se cambió de una textura arena limosa a limo arenoso ([Figura 35](#)), esto posiblemente este asociado a los cambios en el flujo del río, el cual por represamientos o por cambios del uso de suelo en el continente, haya generado un cambio en el tipo de sedimento que llega a la zona costera; por otro lado, a pesar de estar a una profundidad similar (25.2 m) a la muestreada en la desembocadura del Jamapa, la fracción dominante en el núcleo J29 fue de limo arenoso ([Figura 36](#)) lo cual sugeriría que la distancia de este con la desembocadura y a la protección que ofrece el sistema Arrecifal contra el oleaje sean los factores que permitan las condiciones necesarias para la sedimentación de partículas finas.





Analizando los diagramas ternarios de los núcleos relacionados a la desembocadura del río La Antigua, se puede observar que en el núcleo A15 predominan las fracciones texturales de limo arenoso y limo arcilloso, solo en el centímetro 15 de éste núcleo, cayó dentro de la zona de arena limosa al tener el valor máximo de arena (44.5%) del perfil (Figura 37); por otro lado en el núcleo A16 la mayoría de las secciones de esta columna sedimentaria se encuentran dentro de la zona de limo arcilloso y solamente el centímetro 18 al tener el valor máximo de arena del perfil (30.2%) se ubico dentro de la categoría de limo arenoso (Figura 38). En general el área de la Antigua puede considerarse como una zona de relativa baja energía, debido a que en ambos núcleos predominaron texturas finas, siendo esto propiciado posiblemente al aumento en la profundidad de la columna de agua, ya que se tomaron estas muestras a 43 y 50 m. Además de predominar los sedimentos finos, se puede observar un patrón relativamente similar a la vista en la desembocadura del Jamapa, debido a que se presentan transiciones texturales en la columna sedimentaria al estar más cerca de la desembocadura del río y conforme nos alejamos de ella va desapareciendo el cambio transicional en el perfil, como es visto en el núcleo A16 al estar aproximadamente a 40 Km de la desembocadura del río Antigua.

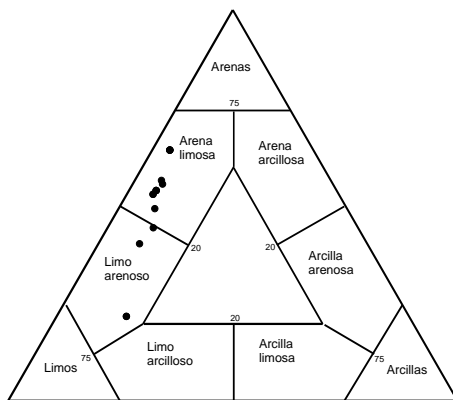


Figura 35. Textura predominante en el núcleo J25

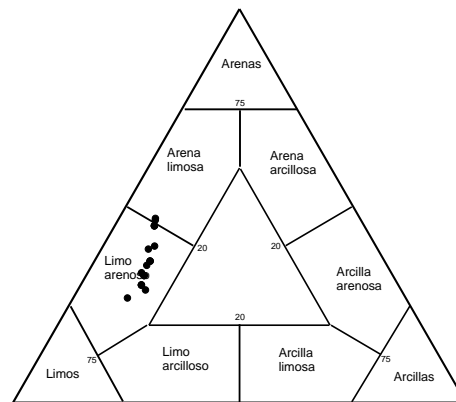


Figura 36. Textura predominante en el núcleo J29



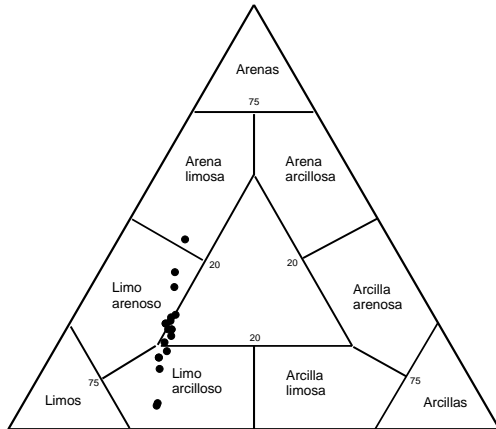


Figura 37. Textura predominante en el núcleo A15

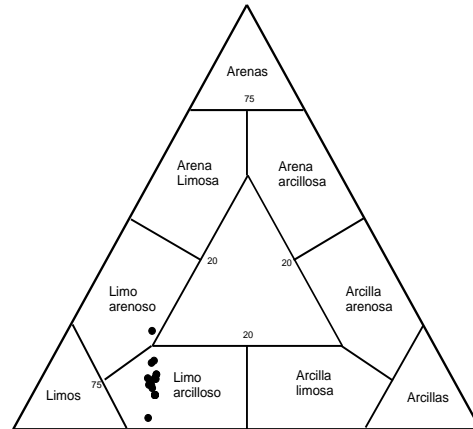


Figura 38. Textura predominante en el núcleo A16

## 5.24 Análisis de la composición química en los núcleos de sedimento

### 5.25 Carbonatos en los núcleos de sedimento

La presencia de carbonatos a lo largo de los núcleos de sedimento permite inferir la existencia de bancos arrecifales que pudieran estar extintos o algún florecimiento de ciertos organismos que al morir dejaron sus estructuras carbonatadas en los sedimentos.

El núcleo J25 presentó el valor promedio (16.34%) más bajo de los cuatro núcleos analizados en este trabajo, el rango de concentración de carbonatos fue de 14.71 a 17.56 %, los valores mayores al promedio se encontraron principalmente del centímetro ocho al once y del trece al dieciséis (Tabla 49) coincidiendo este aumento en la concentración con la presencia de fragmentos de conchas en esas secciones del núcleo.

El núcleo J29 presentó el valor promedio (26.29%) más alto de los cuatro núcleos analizados, los datos obtenidos variaron de 24.07 a 28.03%, los resultados mayores al promedio se encontraron en los primeros once centímetros (Tabla 49) debido a la presencia de fragmentos de conchas.

En el caso de los núcleos recolectados en la desembocadura del río Antigua el núcleo A15 tuvo una concentración promedio de (18.30 %) siendo este valor intermedio a lo antes visto en los núcleos del río Jamapa, a lo largo su perfil se encontraron concentraciones que fueron desde 16.99 hasta 19.23 %, al igual que en los casos anteriores, la presencia de fragmentos de conchas del centímetro once al veinte genero un aumento en el porcentaje de carbonatos en esta parte del núcleo (Tabla 49).





El núcleo A19 registro un porcentaje promedio de carbonatos (19.38 %) similar a lo visto en A15, la variación de la cantidad de carbonatos presente en la columna sedimentaria fue desde 17.82 hasta 21.22% observando datos mayores al promedio en desde el centímetro trece hasta el veintiuno (Tabla 49) esto propiciado por la presencia de fragmentos de conchas en estas secciones del núcleo.

Núcleo J25		Núcleo J29		Núcleo A15		Núcleo A16	
Sección	% CO <sub>3</sub>	Sección	% CO <sub>3</sub>	Sección	% CO <sub>3</sub>	Sección	% CO <sub>3</sub>
1	14.71	1	27.16	1	16.99	1	17.82
2	14.72	2	26.60	2	17.56	2	18.68
3	15.00	3	27.47	3	17.25	3	18.68
4	15.28	4	28.03	4	17.84	4	18.41
5	16.40	5	27.14	5	17.82	5	18.68
6	16.12	6	27.18	6	18.09	6	18.70
7	15.56	7	26.90	7	18.11	7	18.95
8	17.54	8	26.89	8	18.12	8	18.67
9	17.56	9	27.73	9	18.09	9	18.40
10	16.98	10	27.42	10	17.86	10	19.25
11	17.26	11	27.20	11	18.67	11	18.69
12	16.13	12	25.18	12	18.69	12	18.68
13	16.98	13	24.61	13	18.68	13	19.51
14	16.69	14	24.07	14	18.66	14	20.93
15	17.55	15	24.92	15	19.23	15	19.50
16	16.98	16	25.17	16	18.96	16	20.96
		17	26.64	17	19.23	17	19.81
		18	24.31	18	18.67	18	21.22
		19	25.77	19	19.23	19	20.09
		20	25.49			20	20.36
						21	20.94
<b>Promedio</b>	<b>16.34</b>	<b>Promedio</b>	<b>26.29</b>	<b>Promedio</b>	<b>18.30</b>	<b>Promedio</b>	<b>19.38</b>
Máximo	17.56	Máximo	28.03	Máximo	19.23	Máximo	21.22
Mínimo	14.71	Mínimo	24.07	Mínimo	16.99	Mínimo	17.82
Desv std	1.02	Desv std	1.23	Desv std	0.66	Desv std	1.01
CV	6.22	CV	4.68	CV	3.62	CV	5.20

Tabla 49. Perfiles del % carbonatos vs profundidad en los núcleos J25, J29, A15 y A16.

Los carbonatos en los cuatro registros sedimentarios presentaron muy poca variabilidad, ya que se encontraron coeficientes de variación del orden de 6.2% (J25), 4.5% (J29), 3.7% (A15) y 5.1% (A16), sugiriendo así la hipótesis de que las concentraciones de carbonatos con respecto al tiempo no han cambiado hasta nuestros días; por otro lado la presencia de fragmentos de conchas puede aumentar la concentración de carbonatos.

En general los valores promedio presentes en los cuatro núcleos fueron menores al 20.0 %, con la excepción del J29 que tuvo el promedio máximo (26.29 %) de las cuatro columnas, esta diferencia sea probablemente debido a que se tomo el núcleo dentro del área del Sistema Arrecifal, lo cual puede influir en la concentración de carbonatos debido a estar más cerca de una fuente natural como son los arrecifes de coral; por otro lado, comparado con lo visto en J29 la disminución de un poco más del 5% de los promedios de carbonatos en los núcleos J25, A15 y A16, sugiere una dilución constante en el tiempo de este compuesto causado posiblemente al aporte de material terrígeno por parte de





los ríos Jamapa y Antigua, además de la distancia a la que se pueda encontrar a la fuente de aporte.

### 5.26 Carbono orgánico en los núcleos de sedimento

El análisis del carbono orgánico en los perfiles sedimentarios es importante porque es un agente activo en los procesos de diagénesis temprana (Libes, 2000) que se llevan a cabo en los sedimentos en su camino hacia la litificación, también al agotarse el oxígeno disuelto del agua intersticial que se encuentra en los sedimentos, se comenzara a oxidar el carbono orgánico presente, propiciando esto una movilización de los metales traza dentro de la columna sedimentaria.

En el núcleo J25 se encontró el menor de los valores promedio (0.59 %) de los cuatro núcleos analizados, los rangos de concentración dentro del perfil oscilaron desde 0.48 a 0.71 % (Tabla 50), datos mayores al promedio se ubicaron del primer centímetro al tercero, después del diez al once y en los centímetros catorce y dieciséis.

Para el núcleo J29 el promedio del perfil fue de (0.66 %), los rangos de concentración detectados se encontraron desde 0.48 hasta 0.82 % (Tabla 50), valores mayores al promedio se ubicaron en el centímetro uno, del seis al siete y del doce al diecisiete.

La zona de La Antigua, registró valores promedio mayores a lo visto en Jamapa, Por ejemplo el núcleo A15 tuvo la media máxima (0.70 %) de las cuatro columnas sedimentarias, los intervalos de concentración de este parámetro anduvieron desde porcentajes de 0.59 hasta 0.82 % (Tabla 50), por lo que comparado a lo visto en la desembocadura del río Jamapa el valor base de carbono orgánico fue mayor aproximadamente 0.11%; por otro lado los valores mayores al promedio se vieron desde el centímetro uno al cuatro y del siete al once.

En el núcleo A16, la media observada fue de 0.68 %, siendo esta la segunda más alta de los cuatro núcleos, la amplitud de los datos estuvieron desde 0.59 hasta 0.79% (Tabla 50), también el valor base del parámetro fue igual al visto en A15 y los datos mayores a la media se encontraron de una forma intercalada como lo visto en los núcleos de Jamapa ya que se observaron en el centímetro uno, en el tres, del siete al once y del quince al dieciocho.





Núcleo J25		Núcleo J29		Núcleo A15		Núcleos A16	
Sección	% C.O	Sección	%C.O	Sección	% C.O.	Sección	% C.O
1	<b>0.71</b>	1	<b>0.66</b>	1	<b>0.78</b>	1	<b>0.71</b>
2	<b>0.66</b>	2	0.57	2	<b>0.82</b>	2	0.68
3	<b>0.74</b>	3	0.58	3	<b>0.75</b>	3	<b>0.69</b>
4	0.58	4	0.48	4	<b>0.75</b>	4	0.60
5	0.55	5	0.57	5	0.66	5	0.66
6	0.48	6	<b>0.67</b>	6	0.70	6	0.59
7	0.55	7	<b>0.68</b>	7	<b>0.72</b>	7	<b>0.69</b>
8	0.51	8	0.63	8	<b>0.76</b>	8	<b>0.70</b>
9	0.57	9	0.64	9	<b>0.75</b>	9	<b>0.73</b>
10	<b>0.60</b>	10	0.60	10	<b>0.72</b>	10	<b>0.79</b>
11	<b>0.60</b>	11	0.64	11	<b>0.72</b>	11	<b>0.69</b>
12	0.55	12	<b>0.71</b>	12	0.69	12	0.65
13	0.52	13	<b>0.81</b>	13	0.70	13	0.63
14	<b>0.61</b>	14	<b>0.82</b>	14	0.70	14	0.63
15	0.54	15	<b>0.76</b>	15	0.69	15	<b>0.69</b>
16	<b>0.61</b>	16	<b>0.73</b>	16	0.59	16	<b>0.73</b>
		17	<b>0.68</b>	17	0.62	17	<b>0.71</b>
		18	0.63	18	0.63	18	<b>0.69</b>
		19	0.64	19	0.60	19	0.68
		20	0.61			20	0.71
						21	<b>0.69</b>
<b>Promedio</b>	<b>0.59</b>	<b>Promedio</b>	<b>0.66</b>	<b>Promedio</b>	<b>0.70</b>	<b>Promedio</b>	<b>0.68</b>
Máximo	0.74	Máximo	0.82	Máximo	0.82	Máximo	0.79
Mínimo	0.48	Mínimo	0.48	Mínimo	0.59	Mínimo	0.59
Desv std	0.07	Desv std	0.08	Desv std	0.06	Desv std	0.05
CV	11.60	CV	12.82	CV	8.77	CV	6.65

Tabla 50. Perfiles del % de carbono orgánico vs profundidad núcleos J25, J29, A15 y A16.

Como se ha visto en otros parámetros donde el tamaño de partícula y la batimetría juegan un papel importante en su distribución espacial, se puede decir también que en el caso del carbono orgánico estos factores tienen una influencia similar a lo visto en los limos y las arcillas, por lo que el hecho de encontrar los promedios más bajos de carbono orgánico en la zona de Jamapa se debe principalmente a las condiciones de alta energía de esta región y a la profundidad a la que fueron colectados, lo que impide de manera significativa la depositación de esta sustancia en el lecho costero, ya que se podría esperar porcentajes altos de materia orgánica debido a que el 69.3 % del territorio de la cuenca del río Jamapa es dedicado a actividades agrícolas, además de predominar los suelos en la litología de once de los veinticuatro municipios que forman la cuenca, siendo posiblemente estas características una fuente importante de materia orgánica que deberían verse reflejadas en los perfiles de esta zona.

Por otro lado en los perfiles de concentración de carbono orgánico presentes en los núcleos J25, J29, A15 y A16, los coeficientes de variación fueron de 11.6, 12.8, 8.7 y 6.6 %, sugiriendo esto que los aportes de carbono orgánico que ha llegado por parte del continente no ha variado significativamente a lo largo del tiempo ya que si se comparan estos coeficientes con los de otros parámetros donde los coeficientes oscilaron desde 19.1 hasta 46.3 % (arenas) permite decir que la variable analizada tuvo menor variación en la columna sedimentaria.





El hecho de encontrar porcentajes menores al 1% de carbono orgánico a lo largo de la columna sedimentaria (Tabla 49), permitiría inferir que en las zonas donde se colectaron los núcleos, posiblemente se presentan velocidades de degradación de carbono orgánico muy altas, lo que impide la llegada de este tipo de material particulado al fondo marino, y lo poco que llega esta constituido en su mayor parte por material refractario propiciando un proceso de degradación más lento, ya que por parte de los organismos es más difícil de degradar.

### 5.27 Elementos mayores en los núcleos de sedimento

Al igual que en los análisis de sedimentos superficiales, los datos de elementos mayores en los perfiles de sedimento son empleados para detectar cambios en los procesos que se han llevado a cabo a lo largo de la columna sedimentaria, como por ejemplo los procesos de diagénesis temprana, donde se involucran elementos como hierro y manganeso, ya que son más sensibles a los cambios de oxido-reducción.

Los valores promedio de elementos mayores para cada núcleo estudiado se muestran en las tablas 51, 52, 53 y 54.

De los cuatro núcleos el J25 muestra los valores promedio máximos de SiO<sub>2</sub> (56.81%) y MgO (2.23%); en los primeros tres centímetros de la columna sedimentaria se encontraron los valores más altos de sílice, por lo que pasando este intervalo los datos están por debajo de la media; por otro lado en los perfiles de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, y Na<sub>2</sub>O, se observan concentraciones alternadas que están por arriba y por debajo del promedio de cada elemento (Tabla 51); por otro lado, se ve que la distribución de CaO coincide con el patrón prevaleciente de carbonatos analizados anteriormente en el mismo núcleo, ya que coinciden los valores mayores al promedio en las mismas secciones (del seis al dieciséis), finalmente el MnO fue el único elemento mayor de los diez analizados que no presentó cambios a lo largo de la columna sedimentaria.

Sección	Núcleo J25									
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	<b>59.13</b>	0.65	10.96	4.46	0.07	2.14	9.62	2.60	1.60	0.14
2	<b>58.18</b>	0.66	11.11	4.51	0.07	2.19	9.80	<b>2.68</b>	1.60	<b>0.16</b>
3	<b>56.83</b>	0.64	<b>11.18</b>	<b>4.61</b>	0.07	<b>2.26</b>	9.87	<b>2.69</b>	1.59	<b>0.16</b>
5	56.13	<b>0.69</b>	<b>11.23</b>	<b>4.64</b>	0.07	2.15	10.20	2.64	1.60	0.15
6	<b>56.77</b>	<b>0.67</b>	<b>11.40</b>	<b>4.66</b>	0.07	<b>2.28</b>	<b>10.29</b>	2.62	1.60	0.15
8	56.44	0.66	11.02	<b>4.63</b>	0.07	2.22	<b>10.40</b>	2.53	1.60	0.15
9	56.26	0.66	11.11	4.59	0.07	<b>2.27</b>	<b>10.79</b>	<b>2.66</b>	1.58	0.15
12	56.01	<b>0.68</b>	11.00	4.57	0.07	<b>2.28</b>	<b>10.28</b>	<b>2.67</b>	<b>1.62</b>	0.14
13	56.10	<b>0.67</b>	<b>11.48</b>	<b>4.65</b>	0.07	<b>2.25</b>	<b>10.75</b>	<b>2.68</b>	1.60	<b>0.16</b>
16	56.26	0.65	<b>11.18</b>	<b>4.65</b>	0.07	<b>2.28</b>	<b>10.66</b>	2.60	<b>1.62</b>	0.15
<b>Promedio</b>	<b>56.81</b>	<b>0.66</b>	<b>11.17</b>	<b>4.60</b>	<b>0.07</b>	<b>2.23</b>	<b>10.27</b>	<b>2.64</b>	<b>1.60</b>	<b>0.15</b>
Máximo	59.13	0.69	11.48	4.66	0.07	2.28	10.79	2.69	1.62	0.16
Mínimo	56.01	0.64	10.96	4.46	0.07	2.14	9.62	2.53	1.58	0.14
Desv std	1.03	0.01	0.17	0.07	0.00	0.05	0.41	0.05	0.01	0.01
CV	1.82	2.05	1.51	1.43	2.52	2.44	3.96	1.86	0.74	3.66

Tabla 51. Perfil de elementos mayores vs profundidad en el núcleo J25.





El núcleo J29 presenta las medias más altas de los cuatro núcleos en  $\text{TiO}_2$  (0.83%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (12.59%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (5.09%),  $\text{MnO}$  (0.08%),  $\text{Na}_2\text{O}$  (2.92%) y  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0.19%), la distribución de los tres primeros parámetros es relativamente similar debido a que los valores mayores al promedio se encuentran desde el centímetro doce al dieciséis; Por otro lado, de las cuatro columnas sedimentarias analizadas, es en esta donde se tiene el valor promedio más bajo de sílice (52.99%), encontrándose un perfil con una distribución claramente intercalada, donde los datos mayores al promedio se ubicaron del centímetro uno al siete y del dieciocho al veinte, en estas secciones también se observa los valores mayores al promedio de arenas, en el caso del  $\text{CaO}$  tiene la misma concentración promedio que la registrada en J25 (10.27 %) y su distribución en el perfil es de forma espaciada.

Núcleo J29										
Sección	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MnO}$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$
1	<b>53.11</b>	0.83	12.13	4.90	<b>0.09</b>	<b>2.13</b>	10.21	<b>3.23</b>	1.69	0.19
3	<b>53.15</b>	0.83	12.18	4.98	0.08	<b>2.21</b>	<b>10.51</b>	<b>3.00</b>	1.70	0.19
5	<b>53.21</b>	0.80	12.03	4.99	0.08	2.10	<b>10.63</b>	2.87	1.68	<b>0.20</b>
7	<b>53.25</b>	0.83	12.62	5.09	0.08	2.08	10.25	<b>2.93</b>	<b>1.73</b>	0.19
9	52.69	0.82	12.44	5.05	0.08	2.06	10.27	<b>2.93</b>	1.70	0.18
12	52.84	0.83	<b>13.19</b>	<b>5.20</b>	0.08	2.10	9.84	<b>2.96</b>	<b>1.74</b>	<b>0.20</b>
14	52.24	<b>0.84</b>	<b>13.23</b>	<b>5.25</b>	0.08	2.12	9.66	2.80	1.71	<b>0.20</b>
16	52.72	<b>0.85</b>	<b>12.87</b>	<b>5.22</b>	0.08	<b>2.21</b>	10.25	2.80	1.72	0.18
18	<b>53.20</b>	0.81	12.52	5.09	0.08	<b>2.13</b>	<b>10.64</b>	2.82	<b>1.75</b>	0.18
20	<b>53.48</b>	0.83	<b>12.64</b>	<b>5.12</b>	0.08	2.11	<b>10.46</b>	2.83	<b>1.75</b>	0.19
Promedio	<b>52.99</b>	<b>0.83</b>	<b>12.59</b>	<b>5.09</b>	<b>0.08</b>	<b>2.12</b>	<b>10.27</b>	<b>2.92</b>	<b>1.72</b>	<b>0.19</b>
Máximo	53.48	0.85	13.23	5.25	0.09	2.21	10.64	3.23	1.75	0.20
Mínimo	52.24	0.80	12.03	4.90	0.08	2.06	9.66	2.80	1.68	0.18
Desv std	0.36	0.02	0.42	0.11	0.00	0.05	0.32	0.13	0.02	0.01
CV	0.68	1.82	3.33	2.25	5.34	2.36	3.11	4.46	1.34	4.34

Tabla 52. Perfil de elementos mayores vs profundidad en el núcleo J29.







El núcleo A15 destaca de los demás por tener el valor promedio mínimo de  $\text{Na}_2\text{O}$  (2.35%), tiene la segunda media más baja de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (4.37%) y  $\text{MgO}$  (1.75%), por otro lado las distribuciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  son muy similares en los perfiles ya que los valores mayores al promedio se encuentran del centímetro uno al doce, en el caso del  $\text{SiO}_2$  su distribución en el perfil es intercalada encontrándose los datos mayores al promedio en los centímetros dos, tres, nueve, once doce y del catorce al diecinueve, al igual que lo visto en los primeros dos núcleos, y coincide con la forma de distribuirse las arenas en la columna sedimentaria; también en el caso del  $\text{CaO}$  se ubican los porcentajes mayores al promedio en las mismas secciones que las de carbonatos las cuales van desde el centímetro once al diecinueve.

Núcleo A15										
Sección	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MnO}$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$
1	52.98	0.64	11.56	4.39	0.06	1.81	10.01	2.36	1.87	0.12
2	53.89	0.71	11.40	4.48	0.06	1.58	10.40	2.56	1.94	0.18
3	54.10	0.67	11.42	4.41	0.06	1.75	10.36	2.27	1.95	0.17
4	53.19	0.65	11.33	4.43	0.05	1.79	10.39	2.31	1.92	0.14
5	53.68	0.68	11.50	4.49	0.06	1.80	10.39	2.28	1.97	0.17
6	53.47	0.67	11.77	4.52	0.06	1.72	10.31	2.46	1.99	0.16
7	52.45	0.65	11.71	4.47	0.05	1.86	10.32	2.36	1.97	0.15
8	52.45	0.65	11.71	4.47	0.05	1.86	10.32	2.36	1.97	0.15
9	53.97	0.67	11.52	4.43	0.06	1.74	10.36	2.48	1.97	0.16
10	52.90	0.67	11.53	4.46	0.05	1.86	10.30	2.31	1.96	0.15
11	54.17	0.68	11.36	4.44	0.06	1.71	10.45	2.32	1.95	0.16
12	54.59	0.69	11.25	4.43	0.06	1.70	10.45	2.28	1.96	0.16
13	53.24	0.65	11.43	4.30	0.05	1.78	10.37	2.33	1.90	0.16
14	54.25	0.66	11.00	4.23	0.06	1.67	10.45	2.36	1.91	0.15
15	54.18	0.65	11.07	4.26	0.05	1.79	10.57	2.27	1.89	0.12
16	55.00	0.65	10.96	4.25	0.06	1.67	10.61	2.31	1.90	0.15
17	55.05	0.69	10.88	4.26	0.06	1.68	10.45	2.33	1.90	0.15
18	54.26	0.62	10.97	4.17	0.05	1.74	10.56	2.34	1.87	0.12
19	54.17	0.64	11.17	4.20	0.05	1.80	10.59	2.27	1.87	0.06
<b>Promedio</b>	<b>53.79</b>	<b>0.66</b>	<b>11.34</b>	<b>4.37</b>	<b>0.06</b>	<b>1.75</b>	<b>10.40</b>	<b>2.35</b>	<b>1.93</b>	<b>0.15</b>
Máximo	55.05	0.71	11.77	4.52	0.06	1.86	10.61	2.56	1.99	0.18
Mínimo	52.45	0.62	10.88	4.17	0.05	1.58	10.01	2.27	1.87	0.06
Desv std	0.76	0.02	0.27	0.11	0.00	0.08	0.14	0.08	0.04	0.03
CV	1.42	3.17	2.40	2.55	7.84	4.28	1.31	3.32	2.02	18.26

Tabla 53. Perfil de elementos mayores vs profundidad en el núcleo A15.

Por último el núcleo A16 tiene de los cuatro núcleos los promedios mínimos en  $\text{TiO}_2$  (0.64%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (11.07%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (4.16%),  $\text{MnO}$  (0.06%) y  $\text{MgO}$  (1.66%), las distribuciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{SiO}_2$  a lo largo del perfil fue similar, debido a que los resultados mayores al promedio se ubicaron del centímetro uno al doce; en el caso del  $\text{K}_2\text{O}$  los datos arriba de la media se encontró en el centímetro uno y del cinco al doce; por otro lado se continua observando la que el  $\text{CaO}$  coincide con la distribución de carbonatos.





Sección	Núcleo A16									
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	<b>53.88</b>	<b>0.66</b>	<b>11.34</b>	<b>4.27</b>	0.07	1.65	10.62	<b>2.52</b>	<b>2.01</b>	0.16
3	<b>53.98</b>	<b>0.65</b>	<b>11.08</b>	<b>4.24</b>	0.06	1.63	10.88	<b>2.51</b>	1.99	0.16
5	<b>53.85</b>	0.63	<b>11.28</b>	<b>4.22</b>	0.06	1.64	10.94	2.38	<b>2.01</b>	0.15
7	<b>53.63</b>	<b>0.65</b>	<b>11.34</b>	<b>4.20</b>	0.06	1.64	10.92	<b>2.47</b>	<b>2.04</b>	0.16
9	<b>53.43</b>	0.63	<b>11.23</b>	<b>4.23</b>	0.06	<b>1.74</b>	10.93	2.38	<b>2.02</b>	<b>0.17</b>
12	53.32	<b>0.65</b>	<b>11.36</b>	<b>4.21</b>	0.06	<b>1.71</b>	11.19	<b>2.42</b>	<b>2.03</b>	0.16
14	52.28	0.63	11.04	4.13	0.06	<b>1.71</b>	<b>12.05</b>	2.38	1.97	0.15
16	52.47	<b>0.66</b>	10.90	4.09	0.06	1.63	<b>12.31</b>	2.31	1.94	0.16
18	53.05	<b>0.66</b>	10.81	4.05	0.06	<b>1.67</b>	<b>12.16</b>	2.35	1.95	0.16
20	<b>53.46</b>	0.62	10.38	3.95	0.06	1.62	<b>12.30</b>	2.22	1.92	0.15
<b>Promedio</b>	<b>53.33</b>	<b>0.64</b>	<b>11.07</b>	<b>4.16</b>	<b>0.06</b>	<b>1.66</b>	<b>11.43</b>	<b>2.39</b>	<b>1.99</b>	<b>0.16</b>
Máximo	53.98	0.66	11.36	4.27	0.07	1.74	12.31	2.52	2.04	0.17
Mínimo	52.28	0.62	10.38	3.95	0.06	1.62	10.62	2.22	1.92	0.15
Desv std	0.58	0.01	0.31	0.10	0.00	0.04	0.68	0.09	0.04	0.01
CV	1.08	2.25	2.80	2.47	8.34	2.39	5.98	3.80	1.99	4.19

Tabla 54. Perfil de elementos mayores vs profundidad núcleo A16.

En general al tener cada uno de los elementos mayores coeficientes de variación menores al 10% sugiere muy poca variación mineralógica en la columna sedimentaria de cada núcleo, por lo que podría decirse que los aportes de minerales por parte de las cuencas de los ríos Jamapa y Antigua no han cambiado con el paso del tiempo. Por otro lado se distinguen posibles diferencias en los tipos de minerales aportados por cada cuenca, lo que explica las diferencias encontradas en los promedios de los cuatro núcleos.





## 5.28 Metales traza en los núcleos de sedimento

Los análisis de elementos traza realizados en núcleos de sedimento pueden mostrar si la influencia humana encontrada en el continente ha aumentado o disminuido a través del tiempo, siempre y cuando no se encuentre alterada la columna sedimentario por procesos físicos, químicos y biológicos, de lo contrario solo se puede ver las variaciones en los perfiles a cuestiones naturales como por ejemplo cambios en la textura o en el tipo o cantidad de minerales presentes en cada sección.

De los cuatro perfiles sedimentarios analizados, el núcleo J25 destaca por presentar los valores promedio más bajos en V ( $60.49 \text{ mgkg}^{-1}$ ), Zn ( $68.06 \text{ mgkg}^{-1}$ ), Ni ( $10.67 \text{ mgkg}^{-1}$ ), Cu ( $7.20 \text{ mgkg}^{-1}$ ) y Pb ( $5.67 \text{ mgkg}^{-1}$ ), con excepción del As que fue el más alto ( $14.09 \text{ mgkg}^{-1}$ ); en general elementos como Zn, V, Cr y Cu presentan valores mayores al promedio en los primeros centímetros; por otro lado Ni, Co, Pb y As tienen cambios alternados entre los valores mayores y menores al promedio, además Ni y Pb son los elementos que tienen coeficientes de variación mayores al 30%, mientras que el resto de los elementos es menor al 15% (Tabla J25).

Sección	Núcleo J25							
	V	Zn	Cr	Ni	Cu	Co	Pb	As
1	45.35	<b>69.90</b>	<b>55.10</b>	<b>14.68</b>	6.60	<b>18.29</b>	<b>9.70</b>	13.50
2	52.80	<b>71.20</b>	<b>56.15</b>	8.28	<b>7.55</b>	10.52	3.60	<b>14.70</b>
3	<b>62.20</b>	<b>71.85</b>	<b>58.45</b>	<b>12.33</b>	<b>7.75</b>	15.18	4.40	<b>14.60</b>
4	<b>62.60</b>	<b>69.95</b>	<b>55.45</b>	10.17	<b>8.20</b>	<b>16.78</b>	5.10	<b>15.50</b>
5	<b>67.60</b>	67.95	<b>55.80</b>	<b>11.82</b>	<b>7.60</b>	<b>16.73</b>	<b>8.20</b>	11.30
6	<b>63.70</b>	67.65	<b>56.55</b>	<b>17.71</b>	<b>7.30</b>	<b>17.38</b>	4.10	13.20
7	<b>63.50</b>	<b>68.10</b>	53.60	4.50	<b>7.40</b>	16.47	4.60	<b>14.20</b>
8	<b>68.95</b>	68.05	51.90	7.20	7.05	<b>18.24</b>	3.60	13.70
9	<b>71.40</b>	66.45	54.25	8.40	6.85	<b>17.30</b>	<b>8.90</b>	12.90
10	<b>76.75</b>	68.00	56.00	5.33	<b>7.35</b>	<b>17.09</b>	5.60	<b>14.20</b>
11	<b>64.50</b>	64.25	54.25	<b>14.06</b>	6.55	14.86	3.60	<b>15.40</b>
12	53.95	67.75	<b>54.90</b>	9.78	7.20	<b>17.50</b>	<b>9.00</b>	12.40
13	51.00	66.75	51.80	<b>11.87</b>	6.70	<b>17.46</b>	<b>6.70</b>	<b>14.40</b>
14	51.60	66.70	51.90	6.91	6.10	16.20	<b>5.70</b>	<b>14.20</b>
15	58.65	67.25	51.95	9.07	<b>7.80</b>	<b>18.32</b>	4.80	<b>14.60</b>
16	53.25	67.15	50.20	<b>18.64</b>	7.15	<b>18.02</b>	3.10	<b>16.60</b>
<b>Promedio</b>	<b>60.49</b>	<b>68.06</b>	<b>54.27</b>	<b>10.67</b>	<b>7.20</b>	<b>16.64</b>	<b>5.67</b>	<b>14.09</b>
Máximo	76.75	71.85	58.45	18.64	8.20	18.32	9.70	16.60
Mínimo	45.35	64.25	50.20	4.50	6.10	10.52	3.10	11.30
Desv std	8.58	1.89	2.22	4.11	0.54	1.93	2.18	1.27
C.V	14.19	2.78	4.09	38.52	7.53	11.57	38.38	9.05

Tabla 55. Perfil de elementos traza vs profundidad núcleo J25.





El núcleo J29 destaca de los otros, por tener los valores promedio más altos de V (80.75 mgkg<sup>-1</sup>), Cr (57.21 mgkg<sup>-1</sup>), Ni (15.82 mgkg<sup>-1</sup>), Cu (11.30 mgkg<sup>-1</sup>) y Co (17.34 mgkg<sup>-1</sup>), en general a lo largo de todos los perfiles, la distribución de todos los metales es de forma alternada, el Pb y Co fueron los únicos elementos que tienen los más altos coeficientes de variación (44.44 y 19.23 %) (Tabla 26).

Núcleo J29								
Sección	V	Zn	Cr	Ni	Cu	Co	Pb	As
1	73.40	75.60	53.60	18.00	10.70	19.90	7.10	11.10
2	78.80	75.60	54.05	15.30	10.90	16.10	13.00	5.20
3	84.10	75.10	56.40	16.90	11.30	16.60	3.10	9.90
4	81.00	75.20	62.10	16.10	9.90	16.00	8.10	9.30
5	82.80	75.20	63.05	18.60	10.00	16.60	4.80	11.20
6	84.30	77.80	59.45	15.80	11.80	16.70	8.40	8.40
7	82.70	77.50	57.35	18.20	11.30	13.80	9.70	9.20
8	79.20	77.40	54.15	15.80	11.70	17.40	5.20	8.90
9	80.40	77.00	56.45	15.40	11.70	17.70	9.30	8.70
10	77.60	75.30	56.05	15.40	10.50	16.60	7.50	9.30
11	72.90	75.30	57.35	15.30	11.40	27.50	5.70	9.80
12	79.60	76.80	55.85	16.30	11.70	16.90	7.00	10.30
13	84.70	78.70	55.30	16.40	12.80	16.40	14.40	7.50
14	83.90	78.60	58.65	15.50	12.30	18.30	6.10	11.40
15	84.10	78.20	60.45	14.00	11.90	15.70	7.50	9.50
16	83.10	77.40	53.90	14.90	11.70	17.10	15.10	6.30
17	81.70	76.60	53.40	14.60	10.80	16.90	5.50	9.10
18	77.60	76.20	53.65	14.80	10.10	15.90	5.60	10.40
19	80.00	76.20	59.65	14.10	12.40	18.30	9.30	9.40
20	83.50	71.80	63.40	15.00	11.50	16.40	5.40	9.80
<b>Promedio</b>	<b>80.94</b>	<b>76.46</b>	<b>57.51</b>	<b>15.95</b>	<b>11.37</b>	<b>17.82</b>	<b>8.23</b>	<b>9.34</b>
Máximo	84.70	78.65	63.40	18.61	12.80	27.49	15.10	11.40
Mínimo	72.85	71.80	53.40	14.04	9.90	13.75	3.10	5.20
Desv std	3.48	1.63	3.43	1.39	0.85	3.43	3.49	1.57
C.V	4.30	2.13	5.96	8.68	7.44	19.23	42.44	16.79

Tabla 56. Perfil de elementos traza vs profundidad núcleo J29.





El núcleo A15 se diferencia del resto por tener las medias más altas en Zn (86.01 mgkg<sup>-1</sup>) y Pb (12.57 mgkg<sup>-1</sup>); de forma general V, Zn y Cu presentan valores mayores al promedio en los primeros doce centímetros, lo cual contrasta con la distribución alternada vista en los perfiles de Cr, Ni, Co, Pb y As; por otro lado, Ni, Co y Pb tienen coeficientes de variación mayores al 20%, mientras que los demás fueron menores (Tabla 57).

Núcleo A15								
Sección	V	Zn	Cr	Ni	Cu	Co	Pb	As
1	81.65	87.05	50.85	18.19	12.65	25.96	11.30	13.30
2	81.50	88.90	44.10	18.99	11.60	14.24	14.50	7.20
3	85.35	88.35	41.55	13.34	11.85	13.54	16.60	8.10
4	77.60	88.70	44.15	13.71	11.80	9.57	16.30	8.80
5	77.85	89.00	42.55	13.03	11.65	14.01	13.70	9.10
6	76.55	90.00	44.75	18.28	11.80	16.57	12.90	9.30
7	72.55	88.35	51.20	16.02	11.50	15.26	9.10	10.40
8	78.60	88.85	41.00	11.54	11.50	13.63	12.20	8.80
9	82.10	88.90	43.40	11.05	11.70	13.53	13.40	10.00
10	80.65	89.05	45.80	11.89	11.70	15.12	13.40	8.70
11	76.80	87.95	42.95	15.22	11.35	13.11	16.00	9.30
12	77.70	88.20	41.70	11.71	11.25	14.79	14.40	9.50
13	74.75	81.50	39.20	15.90	10.90	15.60	8.30	14.50
14	73.00	84.10	39.45	10.33	10.65	13.98	13.80	9.80
15	70.30	83.60	40.65	10.49	11.10	19.44	11.50	8.80
16	67.90	80.90	34.35	11.96	10.50	14.05	15.30	9.90
17	69.05	81.30	38.85	11.38	10.35	13.50	7.10	12.50
18	70.25	80.05	36.30	9.71	10.45	14.61	10.20	11.70
19	69.30	79.35	43.10	10.30	10.30	14.81	8.80	12.10
<b>Promedio</b>	<b>75.97</b>	<b>86.01</b>	<b>42.42</b>	<b>13.32</b>	<b>11.29</b>	<b>15.01</b>	<b>12.57</b>	<b>10.09</b>
Máximo	85.35	90.00	51.20	18.99	12.65	25.96	16.60	14.50
Mínimo	67.90	79.35	34.35	9.71	10.30	9.57	7.10	7.20
Desv std	5.12	3.69	4.17	2.94	0.63	3.23	2.82	1.89
C.V	6.74	4.29	9.84	22.10	5.57	21.52	22.48	18.71

Tabla 57. Perfil de elementos traza vs profundidad núcleo A15.





Por último el núcleo A16 solamente el Zn presenta valores mayores al promedio de forma continua desde la superficie hasta el centímetro quince, el resto de los elementos se distribuyen los datos mayores a la media de manera alternada a lo largo de la columna sedimentaria, al igual que en lo visto en los demás núcleos el Pb es el único elemento que tienen un coeficiente de variación mayor al 30%, mientras que el resto son menores al 20% (Tabla 58).

Sección	Núcleo A16							
	V	Zn	Cr	Ni	Cu	Co	Pb	As
1	81.7	87.2	42.2	12.10	11.00	10.50	13.30	13.40
2	80.6	85.3	41.1	10.70	10.90	8.30	8.80	15.50
3	80.2	84.3	45.0	11.20	11.20	8.40	11.40	12.30
4	88.2	86.8	46.5	13.60	11.10	9.10	12.20	12.90
5	83.3	85.6	46.3	12.00	10.90	8.60	11.00	10.80
6	93.9	86.1	48.8	12.50	10.90	8.30	10.60	11.00
7	74.3	86.6	51.1	13.30	10.80	8.20	9.90	11.80
8	71.6	84.3	44.6	11.00	11.30	7.80	14.30	10.40
9	73.6	86.4	44.0	13.70	11.80	7.80	16.40	11.00
10	71.5	86.7	43.2	12.50	11.80	9.20	10.30	12.10
11	72.1	85.4	43.7	11.00	11.70	9.10	9.80	12.00
12	75.7	87.8	42.5	9.50	11.30	12.40	10.20	11.10
13	75.6	85.1	47.4	12.40	11.30	10.80	10.10	12.20
14	82.3	85.9	45.3	12.80	11.50	9.20	7.80	9.40
15	85.5	85.1	44.7	13.20	11.70	9.60	5.20	10.30
16	78.9	81.0	42.0	12.30	11.10	11.60	12.10	10.70
17	67.9	81.3	41.6	12.60	10.70	10.80	2.90	15.10
18	58.8	78.9	40.6	12.50	11.40	9.20	14.20	9.60
19	58.8	79.5	41.2	11.90	10.80	9.40	4.30	16.20
20	56.3	76.7	40.4	9.40	10.30	8.70	3.90	14.40
21	52.6	74.0	39.0	9.00	10.40	12.40	4.30	15.10
Promedio	75.31	83.96	44.18	11.95	11.14	9.62	9.97	12.43
Máximo	93.90	87.80	51.10	13.71	11.80	12.41	16.40	16.20
Mínimo	52.60	73.95	39.00	8.98	10.30	7.80	2.90	9.40
Desv std	11.34	3.78	3.32	1.38	0.45	1.50	3.93	2.13
C.V	15.06	4.50	7.52	11.53	4.00	15.55	39.36	17.13

Tabla 58. Perfil de elementos traza vs profundidad núcleo A16.

Las variaciones entre la composición química de los diferentes núcleos puede ser estudiada usando un diagrama de isocona (Cundy et al. 1997), ya que este tipo de diagramas permite comparar a simple vista la composición química promedio de cada uno de los núcleos estudiados.

En la figura 39, las concentraciones promedio de V, Zn, Ni, Cu y Pb en el núcleo J29 (80.75 mgkg<sup>-1</sup>, 76.36 mgkg<sup>-1</sup>, 15.82 mgkg<sup>-1</sup>, 11.30 mgkg<sup>-1</sup> y 7.89 mgkg<sup>-1</sup>) fueron mayores que los registrados en el núcleo J25 (60.49 mgkg<sup>-1</sup>, 68.06 mgkg<sup>-1</sup>, 10.67 mgkg<sup>-1</sup>, 7.20 mgkg<sup>-1</sup>, 5.67 mgkg<sup>-1</sup>), por otro lado, el As fue el único elemento encontrado en el núcleo J25 (14.25 mgkg<sup>-1</sup>) mayor que en el J29 (9.24 mgkg<sup>-1</sup>); estos contrastes presentes en la zona del río Jamapa, pueden ser generados por diferentes factores, siendo uno de ellos la textura, debido a que entre más fino sea el tamaño de partícula, más reactivo será el sedimento con los metales disueltos en la columna de agua, pudiendo inferirse lo anterior, al predominio de limo arenoso en el núcleo J29, el cual es más fino que la Arena Limosa observada en J25 (figuras 35 y 36); otro factor importante pudiera ser la mineralogía, lo cual es sugerido por la existencia de las diferentes texturas presentes tanto en J25





como en J29, por lo que podría esperarse minerales distintos o proporciones diferentes de los mismos minerales presentes en el sedimento, los cuales aportarían algunos elementos traza de manera natural al ambiente sedimentario.

En la **figura 40**, las concentraciones promedio de Co y Pb en el núcleo A15 ( $15.01 \text{ mgkg}^{-1}$  y  $12.57 \text{ mgkg}^{-1}$ ) son mayores que los valores hallados en el núcleo A16 ( $9.49 \text{ mgkg}^{-1}$ ,  $9.67 \text{ mgkg}^{-1}$ ), por otro lado, el As, presentó en el núcleo A16 ( $12.25 \text{ mgkg}^{-1}$ ) mayor concentración que en el A15 ( $10.09 \text{ mgkg}^{-1}$ ), mientras el resto de los elementos traza, tuvieron concentraciones promedio similares; esta relativa homogeneidad en la mayoría de los metales analizados, puede deberse a que en ambos núcleos predominaron texturas finas de limo arenoso y limo arcilloso (**Figuras 37 y 38**) y también, a la posibilidad de tener el mismo tipo de minerales en ambos núcleos, provocando esto la relativa homogeneidad en los elementos analizados.

Al comparar las **figuras 39 y 40**, se pueden observar tendencias similares en la abundancia de los metales traza, por ejemplo en ambas áreas el Zn, V y Cr son los elementos más abundantes, mientras que Co, Ni, Cu, As y Pb se encuentran en menores proporciones, lo cual sugiere que las cuencas por donde atraviesan los ríos Jamapa y Antigua, son litológicamente similares ya que en ambas predominan afloramientos de rocas sedimentarias e ígneas además de suelos del cuaternario (**Carta geológica, SGM. 2005**), por ende se encontrarían los mismos minerales en las dos áreas.

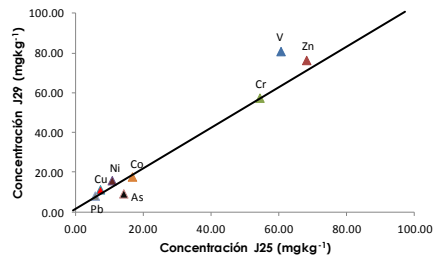


Figura 39. Isocona de elementos traza en los núcleos J25 vs J29

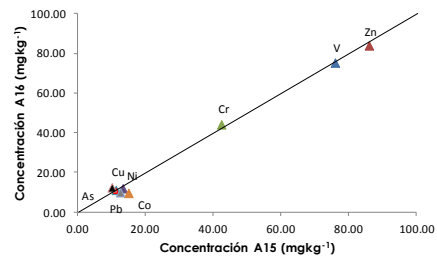


Figura 40. Isocona de elementos traza en los núcleos A15 vs A16





## 5.29 Análisis de clúster en los perfiles de los núcleos de sedimento

Al utilizar los datos generados por cada una de las secciones que conformaron las cuatro columnas sedimentarias, se observa que el análisis de clúster formó dos grupos que engloban a las secciones de los núcleos obtenidos en la desembocadura del río Antigua y a las correspondientes a los núcleos del río Jamapa (Figura 41), esta clara separación sugiere que las diferencias en sus características batimétricas, geoquímicas, texturales y mineralógicas propician esta forma de asociación.

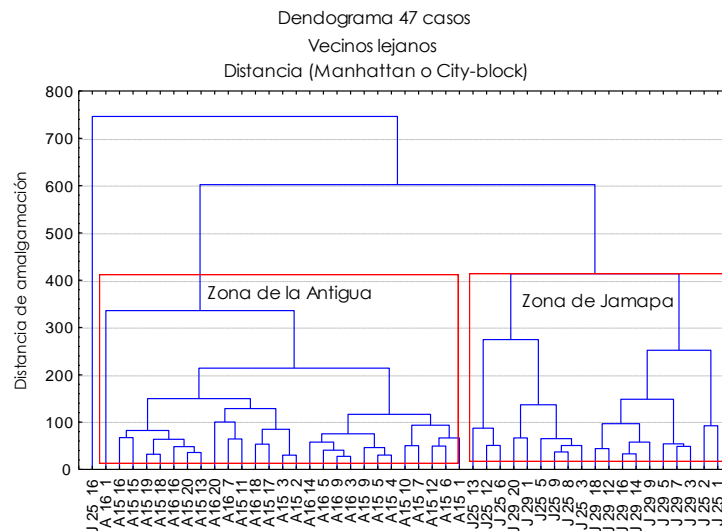


Figura 41. Dendrograma para 47 casos por vecinos lejanos y usando distancia de Manhattan.

El primer grupo se denominó zona de la Antigua y el segundo zona de Jamapa (Figura 41), al comparar uno con el otro, se observó que sus características distintivas fue la mayor profundidad a la que se tomó cada núcleo, el mayor porcentaje de lodos y por ende menor porcentaje de arenas, menor contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  y mayor concentración de  $\text{Zn}$  y  $\text{Pb}$  además de tener menor concentración de  $\text{Cr}$  y  $\text{Co}$ , que fueron los elementos donde se ven claramente estas diferencias (Tabla 59).

	Profundidad (m)	% Arenas	% Lodos	% $\text{Fe}_2\text{O}_3$	% $\text{MnO}$	% $\text{MgO}$	% $\text{Na}_2\text{O}$	% $\text{K}_2\text{O}$	
<b>Zona de Jamapa</b>	<b>J25</b>	21.3	42.5	57.34	4.6	0.07	2.2	2.6	1.6
	<b>J29</b>	25.2	37.3	62.60	5.0	0.08	2.1	2.9	1.7
<b>Zona de la Antigua</b>	<b>A15</b>	43.1	74.27	74.27	4.3	0.06	1.7	2.3	1.9
	<b>A16</b>	50.0	85.02	85.02	4.1	0.06	1.6	2.3	1.9

Tabla 59. Parámetros que diferenciaron a los núcleos del área de Jamapa y Antigua







### 5.30 Análisis de factores en los perfiles de los núcleos de sedimento

Se realizó un análisis de factores tomando todos los datos obtenidos en los cuatro núcleos para evaluar los parámetros principales que controlan la distribución longitudinal de la columna sedimentaria y poder identificar las causas principales de la variación entre cada núcleo.

El análisis mostrado en la **tabla 60**, indica que hasta un 90% de la distribución de los sedimentos en el sistema puede ser explicado por tres factores principales, los cuales están relacionados con la mineralogía (Factor 1: 62% de la varianza) de las arenas, limos y arcillas presentes en cada núcleo el tipo de textura predominante (Factor 2: 20% de la varianza) en cada sección y la influencia antrópica (Factor 3: 8% de la varianza).

	<b>Factor 1</b>		<b>Factor 2</b>		<b>Factor 3</b>
	Mineralogía		Textura		Influencia Antrópica
CO <sub>3</sub>	0.85	Arenas	-0.83	V	0.70
C.O.	-0.94	Limos	0.63	Ni	0.77
SiO <sub>2</sub>	0.94	Arcillas	0.88	Cu	0.70
TiO <sub>2</sub>	-0.95	Pb	0.81		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.93				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.92				
MnO	-0.95				
MgO	-0.96				
CaO	0.95				
Na <sub>2</sub> O	0.68				
K <sub>2</sub> O	0.98				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0.95				
Zn	0.96				
Cr	0.82				
Co	0.60				
As	-0.96				
Exp. Var.	14.8		4.86		2.02
Prop. Total	0.62		0.20		0.08

\*C.O. Carbono orgánico, CO<sub>3</sub> carbonatos.

Tabla 60. Análisis de factores para los núcleos A15, A16, J25 y J29, con rotación varimax.





El factor 1 llamado mineralogía muestra interacciones con la mayoría de los elementos mayores, carbonatos y algunos metales traza, lo cual sugiere que dependiendo de la ubicación en la que se deposite el sedimento se encontrarán distintos tipos de minerales; por otro lado en un mismo punto pueden variar las proporciones de estas sustancias por cuestiones ambientales que modifiquen esta relación, como los eventos de nortes capaces de redistribuir al sedimento ya depositado en el lecho marino y corrientes de turbidez; en el caso de este trabajo se propone una variación mineralógica significativamente baja, debido a que en los perfiles de concentración de elementos mayores se obtuvieron coeficientes de variación menores al 10%, insinuando esta situación que las posibles diferencias en el tipo de minerales presentes en las columnas sedimentarias de las áreas de Jamapa y Antigua, pueden ser generados principalmente por la ubicación y profundidad a la que fueron recolectados los distintos núcleos y no a algún fenómeno ambiental; cabe recordar que los metales traza varían si tienen una mayor o menor afinidad a asociarse a cierto tipo de minerales.

Al haber interacciones entre arenas, limos, arcillas y plomo, muestra que el segundo factor de importancia en la distribución de los sedimentos es la textura; como se ha mencionado anteriormente, la textura puede afectar la distribución de los metales traza ya que estos tienden a ser adsorbidos en las partículas finas, por lo que una variación natural de estas sustancias a lo largo de la columna sedimentaria puede ser generada por cambios texturales, en el caso de los núcleos de Jamapa y Antigua quizá el elemento más susceptible a ser afectado por este factor sea el plomo ya que tiene una correlación inversa con las arenas y una correlación positiva con los limos y arcillas, siendo esta susceptibilidad lo que explique su presencia en este factor, mientras que la ausencia de los demás elementos traza apunte hacia otro mecanismo que influya su distribución en la columna sedimentaria; por otro lado, los cambios texturales observados en un mismo punto suelen ser generados por cambios en el tipo de sedimento aportado por el continente, y este a su vez por eventos naturales o humanos como por ejemplo la época de lluvias o la construcción de presas en la cuenca de un río.

El factor tres está constituido por V, Ni y Cu lo que sugiere que estos metales están asociados con la influencia antrópica generada en el continente.





### 5.31 Factor de enriquecimiento en los perfiles de los núcleos de sedimento

Para evaluar si ha habido algún enriquecimiento de metales traza en la columna sedimentaria de los cuatro núcleos estudiados, se decidió emplear el factor de enriquecimiento, usando como valor de fondo el resultado más bajo de cada metal obtenido en cada perfil, con la finalidad de destacar algún posible enriquecimiento, aunque también se calculó este índice usando los valores de fondo promedio de la corteza continental superior.

Al comparar los resultados con los distintos valores de fondo, se observan diferencias al usar los resultados de la corteza continental superior, ya que al usar esta última como referencia no se observan enriquecimientos a lo largo de los perfiles de cada uno de los elementos analizados, con excepción del enriquecimiento menor de Zn en los núcleos A15 y A16 y los enriquecimientos severos de As en los núcleos A15, A16, J25 y J29; sugiriendo esto último que el valor de la corteza no corresponde a los valores naturales de nuestra área de estudio al menos en As, por lo que se decidió usar como referencia el valor mínimo de cada metal obtenido en cada uno de los núcleos.

Al usar el valor mínimo del perfil de cada elemento conseguido en los cuatro núcleos, se observa que la mayoría de los metales traza aquí estudiados presentan un enriquecimiento menor (Figuras 42, 43, 44 y 45), con la excepción del núcleo A16 al registrar enriquecimientos moderadamente severos y moderados de Pb (Figura, 45).

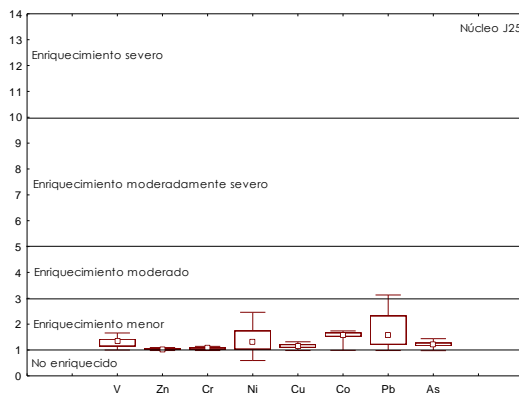


Figura 42. Diagrama de cajas del F.E núcleo J25 (mediana, máx, min)  
Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia

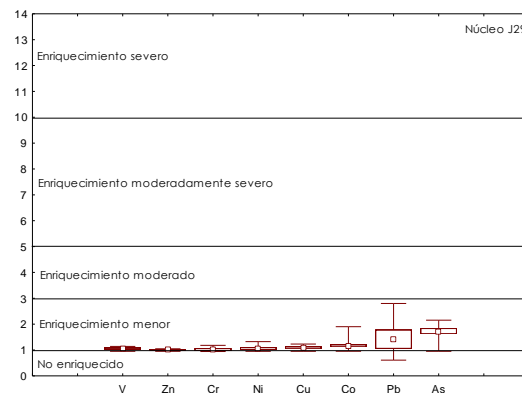


Figura 43. Diagrama de cajas del F.E núcleo J29 (mediana, máx, min)  
Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia



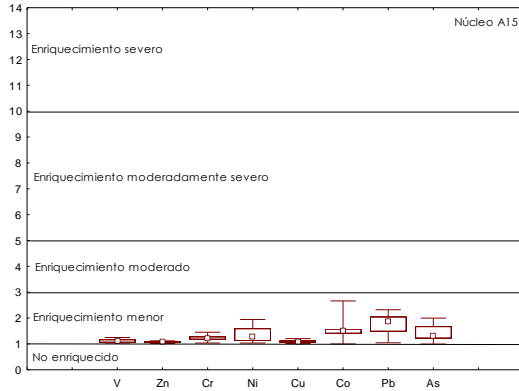


Figura 44. Diagrama de cajas del F.E núcleo A15 (mediana, max, min)

Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia

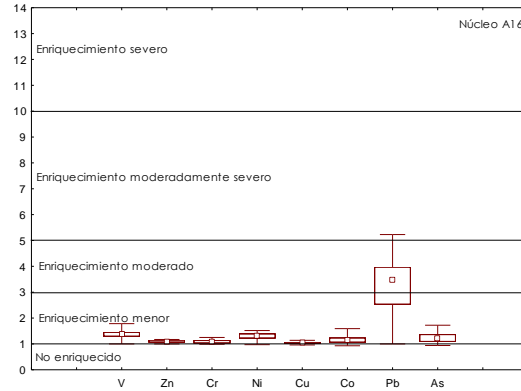


Figura 45. Diagrama de cajas del F.E núcleo A16 (mediana, max, min)

Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia

En el núcleo J25 el Pb y Ni son los elementos que presentan los mayores coeficientes de variación (38.9 y 38.1%), además de ser los únicos en registrar dentro de sus perfiles valores de enriquecimiento de 3.13 y 2.46, mientras de los 8 metales analizados el Zn y Cr tienen los coeficientes de variación más bajos (3.27 y 4.28 %) sus valores máximos de enriquecimiento son de 1.10 y 1.14; por otro lado, el V es el único metal donde se observa un incremento de este índice, al tener enriquecimientos mayores al promedio desde el centímetro once hasta el tres, las demás sustancias presentan enriquecimientos alternados, coincidiendo esto con los cambios en la textura de la columna sedimentaria (Tabla 61).

Núcleo J25								
Sección	FE V	FE Zn	FE Cr	FE Ni	FE Cu	FE Co	FE Pb	FE As
1	1.00	1.09	1.10	1.98	1.08	1.74	3.13	1.19
2	1.15	1.09	1.10	1.10	1.22	0.99	1.15	1.28
3	1.34	1.10	1.14	1.63	1.25	1.42	1.39	1.27
4	1.35	1.07	1.08	1.34	1.32	1.56	1.61	1.34
5	1.45	1.03	1.08	1.55	1.22	1.55	2.58	0.98
6	1.35	1.01	1.08	2.29	1.15	1.59	1.27	1.12
7	1.37	1.04	1.05	0.59	1.19	1.54	1.45	1.23
8	1.51	1.05	1.03	0.96	1.15	1.73	1.16	1.21
9	1.55	1.02	1.07	1.11	1.11	1.62	2.83	1.13
10	1.66	1.04	1.09	0.70	1.18	1.59	1.77	1.23
11	1.39	0.98	1.06	1.86	1.05	1.39	1.14	1.34
12	1.19	1.05	1.09	1.31	1.18	1.66	2.89	1.09
13	1.07	0.99	0.99	1.53	1.05	1.59	2.06	1.22
14	1.12	1.02	1.01	0.91	0.98	1.51	1.80	1.23
15	1.27	1.03	1.01	1.20	1.25	1.71	1.52	1.27
16	1.15	1.02	0.98	2.46	1.15	1.68	0.98	1.44
<b>Promedio</b>	<b>1.31</b>	<b>1.04</b>	<b>1.06</b>	<b>1.41</b>	<b>1.16</b>	<b>1.55</b>	<b>1.80</b>	<b>1.22</b>
Máximo	1.66	1.10	1.14	2.46	1.32	1.74	3.13	1.44
Mínimo	1.00	0.98	0.98	0.59	0.98	0.99	0.98	0.98
Desv std	0.19	0.03	0.05	0.54	0.09	0.18	0.70	0.11
CV	14.18	3.27	4.28	38.18	7.55	11.69	38.95	8.98

Tabla 61. Perfiles del F.E de cada elemento traza vs profundidad en el núcleo J25.

Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia





En el núcleo J29, de los ocho metales estudiados, el Pb presenta el mayor coeficiente de variación (40.0%), mientras que Zn, V, Cr y Cu registran los más bajos (2.44, 4.54, 6.35, 6.44%); tanto Pb como As tienen en algunas de las secciones de la columna sedimentaria enriquecimientos de 2.80 y 2.15; cabe destacar también que Zn y V se pueden considerar como los menos enriquecidos al observar que sus valores máximos son de 1.05 y 1.14; por otro lado todos los elementos presentan enriquecimientos alternados coincidiendo con la variación de las partículas gruesas y finas existentes a lo largo de la columna sedimentaria. (Tabla 62).

Núcleo J29								
Sección	FE V	FE Zn	FE Cr	FE Ni	FE Cu	FE Co	FE Pb	FE As
1	1.00	<b>1.04</b>	1.00	<b>1.27</b>	1.07	<b>1.44</b>	1.40	<b>2.12</b>
2	1.03	1.00	0.96	1.04	1.04	1.11	<b>2.46</b>	0.95
3	<b>1.14</b>	<b>1.03</b>	<b>1.04</b>	<b>1.19</b>	<b>1.12</b>	1.19	0.61	<b>1.88</b>
4	1.06	1.00	<b>1.11</b>	<b>1.09</b>	0.95	1.11	<b>1.53</b>	1.70
5	<b>1.14</b>	<b>1.05</b>	<b>1.18</b>	<b>1.33</b>	1.01	1.20	0.95	<b>2.15</b>
6	<b>1.10</b>	<b>1.03</b>	<b>1.06</b>	1.07	<b>1.13</b>	1.16	<b>1.59</b>	1.54
7	<b>1.08</b>	<b>1.03</b>	1.02	<b>1.24</b>	1.09	0.95	<b>1.83</b>	1.69
8	1.03	<b>1.03</b>	0.97	1.07	<b>1.12</b>	1.20	0.98	1.63
9	<b>1.07</b>	<b>1.04</b>	1.02	1.06	<b>1.14</b>	<b>1.25</b>	<b>1.79</b>	1.62
10	1.01	1.00	1.00	1.04	1.00	1.15	1.42	1.70
11	0.95	1.00	1.02	1.04	<b>1.10</b>	<b>1.90</b>	1.08	<b>1.79</b>
12	1.00	0.98	0.95	1.06	1.07	1.12	1.27	<b>1.81</b>
13	1.11	<b>1.04</b>	0.99	1.11	<b>1.23</b>	1.14	<b>2.72</b>	1.37
14	1.05	0.99	1.00	1.00	<b>1.13</b>	<b>1.21</b>	1.10	<b>1.99</b>
15	<b>1.10</b>	<b>1.04</b>	<b>1.08</b>	0.95	<b>1.14</b>	1.09	1.42	<b>1.74</b>
16	<b>1.07</b>	1.01	0.94	0.99	<b>1.10</b>	1.16	<b>2.80</b>	1.13
17	<b>1.07</b>	1.02	0.95	0.99	1.04	1.17	1.04	1.67
18	1.02	1.02	0.97	1.01	0.98	1.11	1.07	<b>1.92</b>
19	1.06	1.02	<b>1.07</b>	0.97	<b>1.20</b>	<b>1.28</b>	<b>1.77</b>	<b>1.74</b>
20	<b>1.09</b>	0.95	<b>1.13</b>	1.02	<b>1.11</b>	1.14	1.02	<b>1.79</b>
<b>Promedio</b>	<b>1.06</b>	<b>1.02</b>	<b>1.02</b>	<b>1.08</b>	<b>1.09</b>	<b>1.20</b>	<b>1.49</b>	<b>1.70</b>
Máximo	1.14	1.05	1.18	1.33	1.23	1.90	2.80	2.15
Mínimo	0.95	0.95	0.94	0.95	0.95	0.95	0.61	0.95
Desv std	0.05	0.02	0.07	0.10	0.07	0.19	0.60	0.29
CV	4.54	2.44	6.35	9.50	6.44	15.67	40.05	17.15

Tabla 62. Perfiles del F.E de cada elemento traza vs profundidad en el núcleo J29  
Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia





En el núcleo A15 Pb, Co, Ni y As tienen los coeficientes de variación más altos de los ocho elementos analizados en el perfil sedimentario (22.47, 21.09, 20.69 y 19.32%), mientras que Zn, Cu y V son los más bajos (2.89, 4.02 y 5.49%), en los casos de estas tres sustancias junto con el Cr se observa una tendencia de enriquecimiento en los centímetros uno al trece por ser en estas profundidades donde se tienen los valores mayores al promedio; mientras que en el caso del As los enriquecimientos mayores a la media se concentran en los últimos tres centímetros, los demás elementos presentan enriquecimientos de forma alternada como son los casos de Ni, Co y Pb; por otro lado Co, Pb y As tienen los enriquecimientos más altos al registrar valores máximos de 2.66, 2.32 y 2.00 (Tabla 63).

Núcleo A15								
Sección	FE V	FE Zn	FE Cr	FE Ni	FE Cu	FE Co	FE Pb	FE As
1	1.18	1.08	1.45	1.84	1.21	2.66	1.56	1.81
2	1.19	1.11	1.28	1.95	1.12	1.48	2.03	0.99
3	1.25	1.11	1.20	1.36	1.14	1.41	2.32	1.12
4	1.14	1.12	1.29	1.41	1.15	1.00	2.30	1.22
5	1.13	1.11	1.22	1.32	1.12	1.44	1.90	1.25
6	1.09	1.09	1.26	1.81	1.10	1.67	1.75	1.25
7	1.04	1.08	1.44	1.60	1.08	1.54	1.24	1.40
8	1.12	1.08	1.16	1.15	1.08	1.38	1.66	1.18
9	1.19	1.10	1.24	1.12	1.12	1.39	1.86	1.37
10	1.17	1.10	1.31	1.20	1.12	1.55	1.86	1.19
11	1.13	1.11	1.25	1.57	1.10	1.37	2.25	1.29
12	1.15	1.12	1.22	1.22	1.10	1.56	2.04	1.33
13	1.09	1.02	1.13	1.63	1.05	1.62	1.16	2.00
14	1.11	1.09	1.18	1.10	1.07	1.51	2.00	1.40
15	1.06	1.08	1.21	1.11	1.10	2.08	1.66	1.25
16	1.03	1.05	1.03	1.27	1.05	1.52	2.23	1.42
17	1.06	1.07	1.18	1.22	1.05	1.47	1.04	1.81
18	1.07	1.04	1.09	1.03	1.05	1.58	1.49	1.68
19	1.04	1.02	1.27	1.08	1.02	1.57	1.26	1.71
<b>Promedio</b>	<b>1.12</b>	<b>1.08</b>	<b>1.23</b>	<b>1.37</b>	<b>1.10</b>	<b>1.57</b>	<b>1.77</b>	<b>1.40</b>
Máximo	1.25	1.12	1.45	1.95	1.21	2.66	2.32	2.00
Mínimo	1.03	1.02	1.03	1.03	1.02	1.00	1.04	0.99
Desv std	0.06	0.03	0.10	0.28	0.04	0.33	0.40	0.27
CV	5.49	2.89	8.29	20.69	4.02	21.09	22.47	19.32

Tabla 63. Perfiles del F.E de cada elemento traza vs profundidad en el núcleo A15.  
Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia





Por último en el núcleo A16, al igual que en los tres anteriores, el Pb es el metal con el mayor coeficiente de variación (37.7%), además es el único que presenta enriquecimientos de hasta 5.23; As, V y Co le siguieron en variación al tener coeficientes entre el rango de 10 a 20%, mientras que los que menos varían son Zn, Cu y Cr al tener coeficientes menores al 10%, además, estos tres metales son los que tienen los menores enriquecimientos de los ocho elementos aquí comparados al registrar los enriquecimientos máximos más bajos (1.17, 1.14 y 1.25) (Tabla 64).

Núcleo A16								
Sección	FE V	FE Zn	FE Cr	FE Ni	FE Cu	FE Co	FE Pb	FE As
1	1.42	1.08	0.99	1.24	0.97	1.23	4.20	1.31
2	1.53	1.15	1.05	1.19	1.05	1.06	3.03	1.65
3	1.43	1.07	1.08	1.17	1.01	1.00	3.68	1.23
4	1.68	1.17	1.19	1.52	1.07	1.17	4.21	1.37
5	1.46	1.07	1.09	1.23	0.97	1.02	3.49	1.06
6	1.79	1.16	1.25	1.39	1.05	1.07	3.66	1.17
7	1.29	1.07	1.20	1.36	0.96	0.96	3.13	1.15
8	1.36	1.14	1.14	1.23	1.09	1.00	4.93	1.11
9	1.29	1.08	1.04	1.41	1.06	0.93	5.23	1.08
10	1.36	1.17	1.11	1.39	1.14	1.18	3.55	1.29
11	1.37	1.15	1.12	1.23	1.14	1.17	3.38	1.28
12	1.32	1.09	0.99	0.97	1.00	1.45	3.21	1.08
13	1.44	1.15	1.21	1.38	1.09	1.38	3.48	1.30
14	1.47	1.09	1.09	1.34	1.05	1.10	2.53	0.94
15	1.62	1.15	1.15	1.47	1.13	1.23	1.79	1.10
16	1.43	1.04	1.03	1.31	1.02	1.42	3.97	1.08
17	1.29	1.10	1.07	1.41	1.04	1.38	1.00	1.61
18	1.07	1.03	1.00	1.34	1.06	1.13	4.70	0.98
19	1.12	1.08	1.06	1.33	1.04	1.21	1.48	1.72
20	1.07	1.04	1.03	1.04	1.00	1.12	1.34	1.53
21	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.59	1.48	1.61
Promedio	1.37	1.10	1.09	1.28	1.05	1.18	3.21	1.27
Máximo	1.79	1.17	1.25	1.52	1.14	1.59	5.23	1.72
Mínimo	1.00	1.00	0.99	0.97	0.96	0.93	1.00	0.94
Desv std	0.20	0.05	0.08	0.15	0.05	0.18	1.21	0.23
CV	14.48	4.76	7.07	11.52	5.04	14.95	37.71	18.35

Tabla 64. Perfiles del F.E de cada elemento traza vs profundidad en el núcleo A16.  
Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia





### 5.32 El grado de contaminación modificado ( $mC_d$ ) en los perfiles de los núcleos de sedimento

Los resultados obtenidos por este índice en los núcleos de Jamapa y Antigua se encontraron por arriba de 1, lo que sugiere un cierto grado de contaminación; de las cuatro columnas sedimentarias el núcleo A16 tiene el coeficiente de variación más alto (11.3%), mientras el J29 es el que menor cambio registra al tener un coeficiente de variación de 4.93%; por otro lado, al analizar los datos se puede decir que ha habido un aumento en el grado de contaminación; pero no ha sido de forma gradual, ya que se observa una tendencia alternada de los valores promedio mayores a la media, con la excepción del núcleo A16 donde los valores mayores al promedio se tienen de una forma más frecuente a partir del centímetro uno hasta el trece; por otro lado en esta columna sedimentaria se tiene el mayor valor máximo encontrado en los cuatro núcleos (2.03) (Tabla 65).

Sección	J25	J29	A15	A16
1	1.76	1.49	1.86	1.94
2	1.32	1.44	1.60	1.68
3	1.53	1.33	1.57	1.78
4	1.56	1.43	1.52	1.91
5	1.68	1.43	1.52	1.77
6	1.62	1.45	1.63	1.79
7	1.38	1.49	1.54	1.73
8	1.41	1.36	1.45	1.86
9	1.66	1.47	1.51	2.03
10	1.50	1.40	1.53	1.74
11	1.49	1.48	1.58	1.69
12	1.64	1.45	1.52	1.74
13	1.57	1.61	1.54	1.78
14	1.40	1.49	1.45	1.61
15	1.49	1.43	1.47	1.52
16	1.58	1.56	1.47	1.85
17		1.34	1.36	1.41
18		1.35	1.39	1.83
19		1.50	1.40	1.43
20		1.39		1.31
21				1.38
<b>Promedio</b>	<b>1.54</b>	<b>1.44</b>	<b>1.52</b>	<b>1.70</b>
Máximo	1.76	1.61	1.86	2.03
Mínimo	1.32	1.33	1.36	1.31
DSTD	0.12	0.07	0.11	0.19
CV	7.90	4.93	7.23	11.35

Tabla 65. Perfil del factor de contaminación modificado vs profundidad de los núcleos J25, J19, A15 y A16.







### 5.33 Índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ ) en los núcleos de sedimento

Los resultados obtenidos por el índice de geoacumulación a lo largo de la columna sedimentaria y usando como referencia el mínimo de concentración de cada metal, muestra que en los cuatro núcleos analizados los valores de Zn, Cr, Cu y As (este último solamente en J25) se encuentran por debajo de cero, lo cual sugiere que no se puede considerar algún evento de contaminación por metales que pueda ser identificado a lo largo de cada perfil (Figuras 46, 47, 48 y 49). Por otro lado los resultados obtenidos con V (solamente en J25 y A16), Ni (solamente en J25 y A15), Co, Pb y As, reportan concentraciones que van de no a moderadamente contaminado (Figuras 46, 47, 48 y 49).

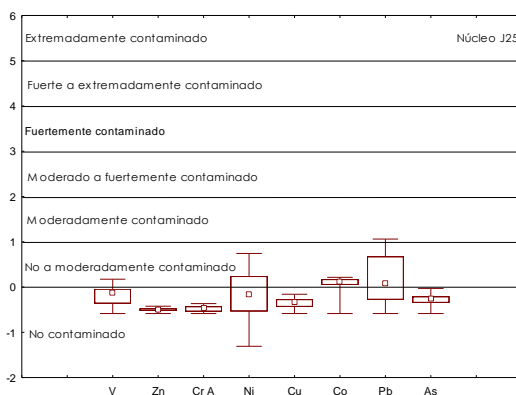


Figura 46. Diagrama de cajas del Igeo núcleo J25 (mediana, max, min)

Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia

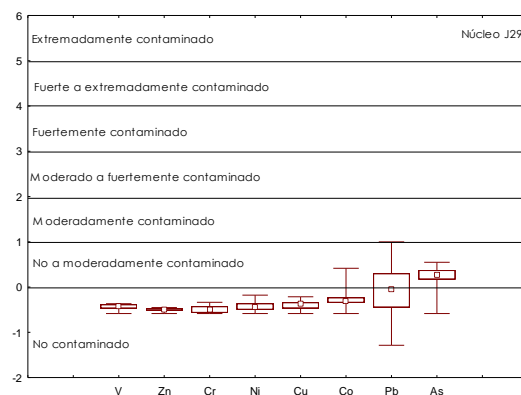


Figura 47. Diagrama de cajas del Igeo núcleo J29 (mediana, max, min)

Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia

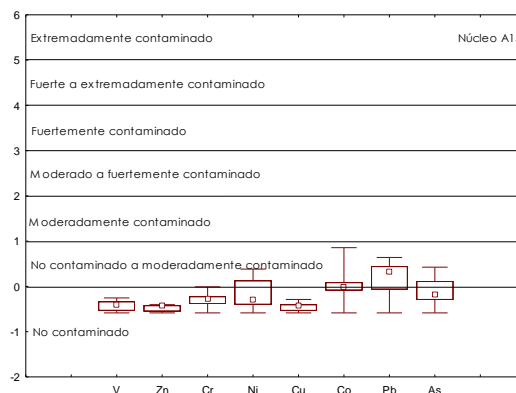


Figura 48. Diagrama de cajas del Igeo núcleo A15 (mediana, max, min)

Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia

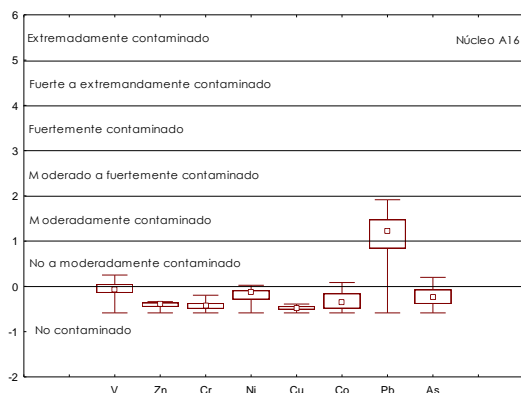


Figura 49. Diagrama de cajas del Igeo núcleo A16 (mediana, max, min)

Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia





En el núcleo J25, de los ocho elementos aquí comparados, Ni, Co, Pb y V tienen los mayores coeficientes de variación (346.4, 293.3, 277.3 y 113.0 %) mientras que el Zn fue el que menos lo hizo (7.9%), los altos coeficientes sugieren que algunas de las secciones presentes en los perfiles de estas sustancias pasan ligeramente del límite de lo considerado como no contaminado ya que presentan valores mayores a cero, de otra manera los coeficientes de variación serían menores tal y como es visto en el caso del Zn y Cr; por otro lado el Pb y Co se registran resultados mayores a cero en casi toda la columna (Tabla 66).

Núcleo J25								
Sección	Igeo V	Igeo Zn	Igeo Cr	Igeo Ni	Igeo Cu	Igeo Co	Igeo Pb	Igeo As
1	-0.58	-0.46	-0.45	0.40	-0.47	0.21	1.06	-0.33
2	-0.37	-0.44	-0.42	-0.43	-0.28	-0.58	-0.37	-0.21
3	-0.13	-0.42	-0.37	0.15	-0.24	-0.06	-0.08	-0.22
4	-0.12	-0.46	-0.44	-0.13	-0.16	0.09	0.13	-0.13
5	-0.01	-0.50	-0.43	0.08	-0.27	0.08	0.82	-0.58
6	-0.09	-0.51	-0.41	0.67	-0.33	0.14	-0.18	-0.36
7	-0.10	-0.50	-0.49	-1.31	-0.31	0.06	-0.02	-0.26
8	0.02	-0.50	-0.54	-0.63	-0.38	0.21	-0.37	-0.31
9	0.07	-0.54	-0.47	-0.41	-0.42	0.13	0.94	-0.39
10	0.17	-0.50	-0.43	-1.06	-0.32	0.12	0.27	-0.26
11	-0.08	-0.58	-0.47	0.34	-0.48	-0.09	-0.37	-0.14
12	-0.33	-0.51	-0.46	-0.19	-0.35	0.15	0.95	-0.45
13	-0.42	-0.53	-0.54	0.09	-0.45	0.15	0.53	-0.24
14	-0.40	-0.53	-0.54	-0.69	-0.58	0.04	0.29	-0.26
15	-0.21	-0.52	-0.54	-0.30	-0.23	0.22	0.05	-0.22
16	-0.35	-0.52	-0.58	0.74	-0.36	0.19	-0.58	-0.03
<b>Promedio</b>	<b>-0.18</b>	<b>-0.50</b>	<b>-0.47</b>	<b>-0.17</b>	<b>-0.35</b>	<b>0.07</b>	<b>0.19</b>	<b>-0.27</b>
Máximo	0.17	-0.42	-0.37	0.74	-0.16	0.22	1.06	-0.03
Mínimo	-0.58	-0.58	-0.58	-1.31	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58
Desv std	0.21	0.04	0.06	0.58	0.11	0.19	0.53	0.13
CV	113.08	7.95	12.49	346.45	31.42	293.28	277.33	48.95

Tabla 66. Perfil del Igeo vs profundidad en el núcleo J25. Nota: se usó el mínimo de cada metal como referencia





En el núcleo J29, Pb, As y Co presentan los coeficiente de variación más altos (1281.69, 123.68 y 72.46%), mientras que el Zn es el de menor coeficiente de variación (6.12%); la mayoría de los metales presentan índices de geoacumulación negativos, con las excepciones de Pb y As donde una gran parte de las secciones de cada perfil tuvo resultados mayores a cero, en general los valores mayores al promedio de cada elemento están en forma alternada en la columna sedimentaria; Los índices más altos fueron de 1.0 y 0.55 correspondientes a los máximos de Pb y As (Tabla 67).

Núcleo J29								
Sección	Igeo V	Igeo Zn	Igeo Cr	Igeo Ni	Igeo Cu	Igeo Co	Igeo Pb	Igeo As
1	-0.58	-0.51	-0.58	-0.23	-0.47	-0.05	-0.09	<b>0.51</b>
2	-0.47	-0.51	-0.57	-0.46	-0.45	-0.36	<b>0.78</b>	-0.58
3	<b>-0.38</b>	-0.52	-0.51	<b>-0.32</b>	-0.40	-0.31	-1.29	<b>0.34</b>
4	<b>-0.43</b>	-0.52	<b>-0.37</b>	<b>-0.39</b>	-0.58	-0.37	<b>0.10</b>	<b>0.25</b>
5	<b>-0.40</b>	-0.52	<b>-0.35</b>	<b>-0.18</b>	-0.58	-0.32	-0.66	<b>0.52</b>
6	<b>-0.37</b>	<b>-0.47</b>	<b>-0.43</b>	<b>-0.41</b>	<b>-0.33</b>	-0.30	<b>0.15</b>	<b>0.11</b>
7	<b>-0.40</b>	<b>-0.48</b>	<b>-0.48</b>	<b>-0.21</b>	<b>-0.39</b>	-0.58	<b>0.36</b>	<b>0.24</b>
8	-0.46	<b>-0.48</b>	-0.56	<b>-0.41</b>	<b>-0.35</b>	<b>-0.25</b>	-0.54	<b>0.19</b>
9	-0.44	<b>-0.48</b>	-0.50	-0.45	<b>-0.35</b>	<b>-0.22</b>	<b>0.30</b>	<b>0.16</b>
10	-0.49	-0.52	-0.52	-0.45	-0.51	-0.32	<b>-0.01</b>	<b>0.25</b>
11	-0.58	-0.52	<b>-0.48</b>	-0.46	<b>-0.38</b>	0.41	-0.41	<b>0.33</b>
12	-0.46	<b>-0.49</b>	-0.52	<b>-0.37</b>	<b>-0.35</b>	-0.29	-0.11	<b>0.40</b>
13	<b>-0.37</b>	<b>-0.45</b>	-0.53	<b>-0.36</b>	<b>-0.21</b>	-0.33	<b>0.93</b>	-0.06
14	<b>-0.38</b>	<b>-0.46</b>	<b>-0.45</b>	-0.44	<b>-0.28</b>	<b>-0.17</b>	-0.31	<b>0.55</b>
15	<b>-0.38</b>	<b>-0.46</b>	<b>-0.41</b>	-0.58	<b>-0.32</b>	-0.39	<b>-0.01</b>	<b>0.28</b>
16	<b>-0.40</b>	<b>-0.48</b>	-0.57	-0.50	<b>-0.35</b>	-0.27	<b>1.00</b>	-0.31
17	<b>-0.42</b>	<b>-0.49</b>	-0.58	-0.52	-0.46	-0.29	-0.46	<b>0.22</b>
18	-0.49	-0.50	-0.58	-0.51	-0.56	-0.38	-0.43	<b>0.42</b>
19	-0.45	-0.50	<b>-0.43</b>	-0.57	<b>-0.27</b>	<b>-0.17</b>	0.30	<b>0.27</b>
20	<b>-0.39</b>	-0.58	<b>-0.34</b>	-0.49	<b>-0.37</b>	-0.33	-0.49	<b>0.33</b>
<b>Promedio</b>	<b>-0.44</b>	<b>-0.50</b>	<b>-0.49</b>	<b>-0.42</b>	<b>-0.40</b>	<b>-0.26</b>	<b>-0.04</b>	<b>0.22</b>
Máximo	-0.37	-0.45	-0.34	-0.18	-0.21	0.41	1.00	0.55
Mínimo	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-1.29	-0.58
Desv std	0.06	0.03	0.08	0.11	0.10	0.19	0.57	0.27
CV	14.42	6.12	16.49	27.24	25.95	72.46	1281.64	123.68

Tabla 67. Perfil del Igeo vs profundidad del núcleo J29. Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia





En el núcleo A15, Co, As, Ni y Pb tienen los coeficientes de variación más altos de los ocho elementos analizados, mientras el Zn es el de menor variación; el Pb presenta en casi todo su perfil valores mayores a cero, sugiriendo esto que es el elemento que podría considerarse que presenta niveles moderados de contaminación en casi toda la columna sedimentaria; por otro lado V, Zn, Cr y Cu aunque presentan niveles considerados como no contaminados se observa una tendencia de ir aumentando el índice de geoacumulación del centímetro doce al uno, los valores más altos de este índice son 0.86, 0.64, 0.43 y 0.38 que corresponden a los máximos encontrados para Co, Pb, As y Ni (Tabla 68).

Núcleo A15								
Sección	Igeo V	Igeo Zn	Igeo Cr	Igeo Ni	Igeo Cu	Igeo Co	Igeo Pb	Igeo As
1	-0.32	-0.45	-0.02	<b>0.32</b>	-0.29	<b>0.86</b>	<b>0.09</b>	0.30
2	-0.32	-0.42	-0.22	<b>0.38</b>	-0.41	-0.01	<b>0.45</b>	-0.58
3	-0.25	-0.43	-0.31	-0.13	-0.38	-0.08	<b>0.64</b>	-0.42
4	-0.39	-0.42	-0.22	-0.09	-0.39	-0.58	<b>0.61</b>	-0.30
5	-0.39	-0.42	-0.28	-0.16	-0.41	-0.03	<b>0.36</b>	-0.25
6	-0.41	-0.40	-0.20	<b>0.33</b>	-0.39	<b>0.21</b>	<b>0.28</b>	-0.22
7	-0.49	-0.43	-0.01	<b>0.14</b>	-0.43	<b>0.09</b>	-0.23	-0.05
8	-0.37	-0.42	-0.33	-0.34	-0.43	-0.07	<b>0.20</b>	-0.30
9	-0.31	-0.42	-0.25	-0.40	-0.40	-0.08	<b>0.33</b>	-0.11
10	-0.34	-0.42	-0.17	-0.29	-0.40	<b>0.08</b>	<b>0.33</b>	-0.31
11	-0.41	-0.44	-0.26	<b>0.06</b>	-0.44	-0.13	<b>0.59</b>	-0.22
12	-0.39	-0.43	-0.31	-0.31	-0.46	<b>0.04</b>	<b>0.44</b>	-0.19
13	-0.45	-0.55	-0.39	<b>0.13</b>	-0.50	<b>0.12</b>	-0.36	<b>0.43</b>
14	-0.48	-0.50	-0.39	-0.50	-0.54	-0.04	<b>0.37</b>	-0.14
15	-0.53	-0.51	-0.34	-0.47	-0.48	<b>0.44</b>	<b>0.11</b>	-0.30
16	-0.58	-0.56	-0.58	-0.28	-0.56	-0.03	<b>0.52</b>	-0.13
17	-0.56	-0.55	-0.41	-0.36	-0.58	-0.09	-0.58	<b>0.21</b>
18	-0.54	-0.57	-0.51	-0.58	-0.56	<b>0.03</b>	-0.06	<b>0.12</b>
19	-0.56	-0.58	-0.26	-0.50	-0.58	<b>0.05</b>	-0.28	<b>0.16</b>
<b>Promedio</b>	<b>-0.43</b>	<b>-0.47</b>	<b>-0.29</b>	<b>-0.16</b>	<b>-0.45</b>	<b>0.04</b>	<b>0.20</b>	<b>-0.12</b>
Máximo	-0.25	-0.40	-0.01	0.38	-0.29	0.86	0.64	0.43
Mínimo	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58
Desv std	0.10	0.06	0.14	0.31	0.08	0.27	0.35	0.26
CV	22.91	13.36	49.15	190.01	17.77	704.77	176.95	215.00

Tabla 68. Perfil del Igeo vs profundidad en el núcleo A15. Nota: se usó el mínimo de cada metal como referencia





Por último en el núcleo A16, V, As, Ni, Pb y Co tienen los mayores coeficientes de variación de los metales analizados (221.3, 104.5, 90.4, 68.7 y 64.3%) mientras el Cu es el de menor variación (11.7%); el Pb es el único elemento que tiene valores mayores a 1 en casi toda la columna, por lo que se puede considerar como la sustancia con un moderado nivel de contaminación; por otro lado V, Ni y As tienen valores mayores a cero en algunas de las secciones de sus perfiles; también al igual que lo visto en el núcleo A15, se observa una tendencia de aumentar el índice de geoacumulación a partir del centímetro quince al uno en metales como V, Zn y Cr, a pesar de que sus valores se consideren como no contaminados o muy cercanos a los valores naturales al estar muy cerca del valor de cero (Tabla 69).

Núcleo A16								
Sección	Igeo V	Igeo Zn	Igeo Cr	Igeo Ni	Igeo Cu	Igeo Co	Igeo Pb	Igeo As
1	0.05	-0.35	-0.47	-0.15	-0.50	-0.16	1.61	-0.07
2	0.03	-0.38	-0.51	-0.34	-0.51	-0.50	1.02	0.14
3	0.02	-0.40	-0.38	-0.27	-0.47	-0.49	1.39	-0.20
4	0.16	-0.35	-0.33	0.02	-0.48	-0.36	1.49	-0.13
5	0.08	-0.37	-0.34	-0.17	-0.51	-0.44	1.34	-0.38
6	0.25	-0.37	-0.26	-0.11	-0.51	-0.49	1.28	-0.36
7	-0.09	-0.36	-0.20	-0.02	-0.52	-0.51	1.19	-0.26
8	-0.14	-0.40	-0.39	-0.29	-0.46	-0.58	1.72	-0.44
9	-0.10	-0.36	-0.41	0.03	-0.39	-0.58	1.91	-0.36
10	-0.14	-0.36	-0.44	-0.11	-0.39	-0.34	1.24	-0.22
11	-0.13	-0.38	-0.42	-0.29	-0.40	-0.36	1.17	-0.23
12	-0.06	-0.34	-0.46	-0.50	-0.45	0.08	1.23	-0.35
13	-0.06	-0.38	-0.31	-0.12	-0.46	-0.12	1.22	-0.21
14	0.06	-0.37	-0.37	-0.08	-0.43	-0.35	0.84	-0.58
15	0.12	-0.38	-0.39	-0.03	-0.41	-0.28	0.26	-0.45
16	0.00	-0.45	-0.48	-0.13	-0.48	-0.01	1.48	-0.40
17	-0.22	-0.45	-0.49	-0.09	-0.53	-0.12	-0.58	0.10
18	-0.42	-0.49	-0.53	-0.11	-0.44	-0.35	1.71	-0.55
19	-0.43	-0.48	-0.51	-0.18	-0.52	-0.31	-0.02	0.20
20	-0.49	-0.53	-0.54	-0.52	-0.58	-0.42	-0.16	0.03
21	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	0.09	-0.02	0.10
<b>Promedio</b>	<b>-0.10</b>	<b>-0.41</b>	<b>-0.42</b>	<b>-0.19</b>	<b>-0.48</b>	<b>-0.31</b>	<b>1.01</b>	<b>-0.22</b>
Máximo	0.25	-0.34	-0.20	0.03	-0.39	0.09	1.91	0.20
Mínimo	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58
Desv std	0.22	0.07	0.10	0.17	0.06	0.20	0.70	0.23
CV	221.30	16.48	23.27	90.49	11.74	64.38	68.79	104.54

Tabla 69. Perfil del Igeo vs profundidad en el núcleo A16. Nota: se uso el mínimo de cada metal como referencia





### 5.34 Índices de calidad del sedimento (SQGs, Sediment Quality Guidelines) en los núcleos de sedimento

Con la finalidad de determinar si a través del tiempo en algunas secciones de la columna sedimentaria las concentraciones de los metales traza pudieron haber generado efectos biológicos adversos sobre los organismos bentónicos que habitan este tipo de sustrato se emplearon los datos reportados por Long et al. 1995 (Tabla 70).

En general en los núcleos correspondientes al área de Jamapa (J25 y J29) y Antigua (A15 y A16) las concentraciones de Cr, Cu, Pb, Ni y Zn (Tablas 55, 56, 57, 67) están por debajo del límite ERL (Effects Range-Low) ( $81.8\text{mgkg}^{-1}$ ,  $34.0\text{mgkg}^{-1}$ ,  $46.7\text{mgkg}^{-1}$ ,  $150.0\text{mgkg}^{-1}$ ), por lo que raramente se pueden asociar a algún efecto biológico adverso sobre los organismos que vivían en el sedimento superficial o que habitan actualmente en la columna sedimentaria por la presencia de los metales antes mencionados (figuras 50, 51, 52 y 53).

El As es el único elemento que a lo largo de la columna sedimentaria presenta en los cuatro núcleos concentraciones que pueden asociarse ocasionalmente a efectos biológicos adversos, debido a que el 80 % (J29 y A16) y 100% (J25 y A15) de las secciones en las que fue dividido cada núcleo se encuentra entre los límites ERL ( $8.2\text{mgkg}^{-1}$ ) y ERM (Effects Range-Median) ( $70.0\text{mgkg}^{-1}$ ), mientras el 20% de las secciones restantes de los núcleos J25 y A15 raramente se les asociaría a efectos adversos sobre los organismos por estar debajo del límite ERL.

	Área				SQGs ( $\text{mgkg}^{-1}$ )		Porcentaje (proporción) de incidencia de efectos		
	Jamapa		Antigua		ERL	ERM	Raramente	Ocasionalmente	Frecuentemente
	J25	J29	A15	A16			<ERL	$\geq\text{ERL Y } <\text{ERM}$	$\geq\text{ERM}$
<b>As</b>	16.6-11.3	11.4-5.2	14.5-7.2	16.2-9.4	8.2	70	63	5	11.1
<b>Cr</b>	58.4-50.2	63.4-53.4	51.2-34.3	51.1-39.0	81	370	95	2.9	21.1
<b>Cu</b>	8.2-6.1	12.8-9.9	12.6-10.3	11.8-10.3	34	270	83.7	9.4	29.1
<b>Pb</b>	9.7-3.1	15.1-3.1	16.6-7.1	16.4-2.9	46.7	218	90.2	8	35.8
<b>Ni</b>	18.6-4.5	18.6-14.0	18.9-9.7	13.7-8.9	20.9	51.6	16.9	1.9	16.7
<b>Zn</b>	71.8-64.8	78.6-71.8	90.0-79.3	87.8-73.9	150	416	69.8	6.1	47

Tabla 70. Índices de calidad del sedimento (SQGs, Sediment, Quality Guidelines) y porcentaje de incidencia de efectos (modificado de Long et. al 1995) para los núcleos J25, J29, A15 y A16. Nota: ERL: Effects Range-Low, ERM: Effects Range- Median)



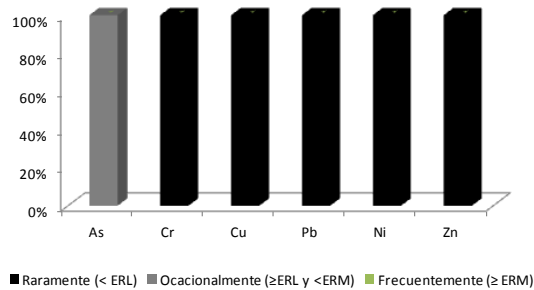


Figura 50. Clasificación de secciones en el núcleo J25 basado en SQGs (Sediment Quality Guidelines)

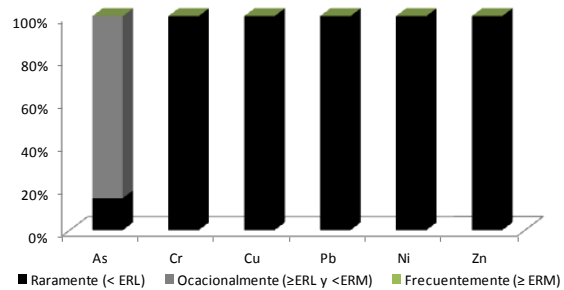


Figura 51. Clasificación de secciones en el núcleo J29 basado en SQGs (Sediment Quality Guidelines)

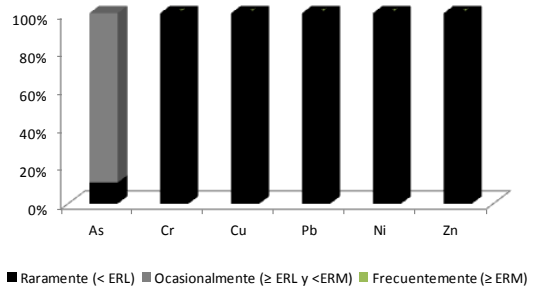


Figura 52. Clasificación de secciones en el núcleo A15 basado en SQGs (Sediment Quality Guidelines)

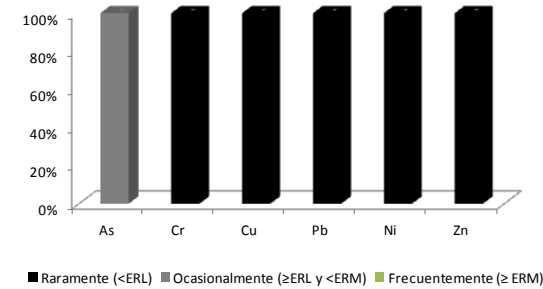


Figura 53. Clasificación de secciones en el núcleo A16 basado en SQGs (Sediment Quality Guidelines)

### 5.35 Comparación entre los índices de calidad en los núcleos

La información obtenida por el factor de enriquecimiento y el índice de geoacumulación es muy similar, debido a que en las cuatro columnas estudiadas de sedimento destacan el Pb y el Zn por ser las sustancias con los mayores y menores coeficientes de variación, además de coincidir al señalar al Pb como la sustancia con niveles moderados de contaminación y mas enriquecida en los núcleos A15 y A16; también en general las secciones que presentan mayor concentración muestran enriquecimientos con los tres índices usados.

El grado de contaminación modificado, permite tener el panorama de las condiciones de cada sección de la columna sedimentaria, el cual ayuda a considerar de forma conjunta la presencia de las distintas sustancias calificadas como contaminantes. Los datos de este parámetro señalan que los núcleos del Antigua al ser comparados con los del área de Jamapa tienen mayor enriquecimiento de metales.





Acorde a los índices de calidad del sedimento obtenidos en los núcleos de ambas áreas, el As es el único elemento que a lo largo de la columna sedimentaria podría ocasionalmente haber generado o generar algún efecto biológico adverso.

Al igual que lo visto en los sedimentos superficiales, se observa que en el caso del As hay una diferencia al usar como referencia la corteza continental y el valor mínimo encontrado en la columna sedimentaria, debido a que si se usan los valores mínimos, el factor de enriquecimiento es menor que si se compara con el valor de fondo de la corteza continental, esto sugiere nuevamente, que la concentración reportada para la corteza no es el valor de fondo más adecuado para comparar los niveles presentes de esta sustancia en nuestra área de estudio.







### 5.36 Datación de los núcleos con $Pb^{210}$ y $Cs^{137}$ .

El uso de los isótopos de  $Pb^{210}$  y  $Cs^{137}$  son importantes en los estudios ambientales, porque permiten determinar la velocidad de sedimentación de un área y la edad de cada sección de la columna de sedimento, siendo este último dato junto con otros parámetros como la concentración de metales, textura, etc, lo que permita realizar inferencias sobre el aumento o disminución de la influencia que ha tenido la población humana en alguna zona específica del mundo a través del tiempo.

Los resultados de la actividad del isótopo de  $Pb^{210}$  en la columna sedimentaria del núcleo J25 es mostrada en la **figura 54**, en ella se observa un decaimiento atípico debido a no presentarse una curva del tipo exponencial, la cual es característica de la forma de decaimiento de cualquier isótopo radiactivo, y una forma de corroborar que no tiene este comportamiento es el de realizar la regresión lineal del Ln de la actividad del  $Pb^{210}$  contra profundidad, tal y como es expuesta en la **figura 55**, en ella se observa un coeficiente de correlación de 0.45, el cual es considerado bajo y resalta un comportamiento alejado del normal para cualquier isótopo, esta discrepancia en la manera de decaimiento indica posiblemente una columna sedimentaria mezclada por las condiciones de alta energía que predominan en la zona, indicando así que los fuertes vientos característicos de la región, influyen en el fondo marino hasta una profundidad de 21.3 m, lo cual podría explicar la alternancia textural registrada en este núcleo.

Los niveles por debajo del límite de detección ( $<6Bq\ kg^{-1}$ ) del isótopo de  $Cs^{137}$  indican que no se encontró evidencia alguna de accidentes nucleares como el de Chernóbil o ensayos de armas atómicas en el mundo o cerca de la zona de estudio, debido a que no se observó ningún pico de actividad de esta sustancia el cual es un indicador de este tipo de eventos.

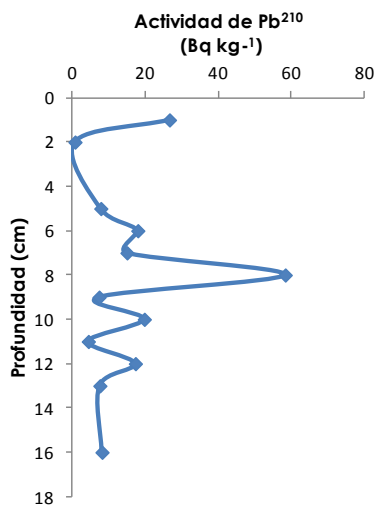


Figura 54. Actividad del  $Pb^{210}$   
vs  
Profundidad núcleo J25

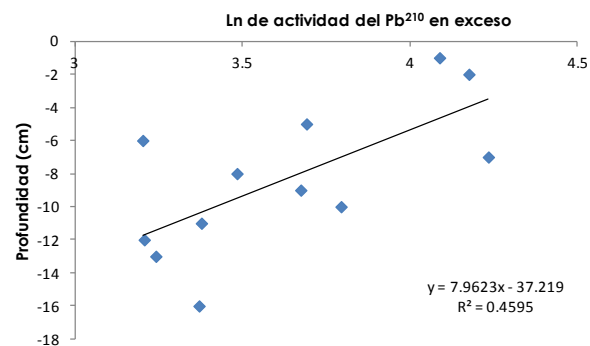


Figura 55. Ln de la actividad del  $Pb^{210}$  en exceso  
vs  
Profundidad núcleo J25





Los datos de la actividad del isótopo de  $Pb^{210}$  en el núcleo J29, son desplegados en la **figura 56**, al igual que lo visto en el núcleo J25, se observa un comportamiento anormal en el perfil de actividad de este isótopo, debido a no verse la curva del tipo exponencial distintiva de la forma de decaimiento de los isótopos radiactivos.

Al realizar la regresión lineal del Ln de la actividad del  $Pb^{210}$  contra profundidad (**Figura 57**), se obtiene un coeficiente de correlación de 0.19, el cual es bajo e indica un comportamiento alejado de lo habitual, sugiriendo este hecho que la columna sedimentaria se encuentra mezclada por las condiciones de alta energía que predominan en la zona, corroborando esto que la influencia de los fuertes vientos sobre el fondo marino llega hasta los 25.2 m.

Los niveles del  $Cs^{137}$  están por debajo del límite de detección ( $<6Bq\ kg^{-1}$ ) por lo que no se visualiza algún pico de esta sustancia en la columna sedimentaria que revele accidentes o el ensayo de armas nucleares.

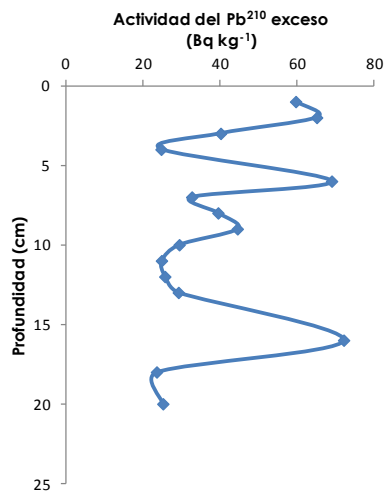


Figura 56. Actividad del  $Pb^{210}$   
VS  
Profundidad núcleo J29

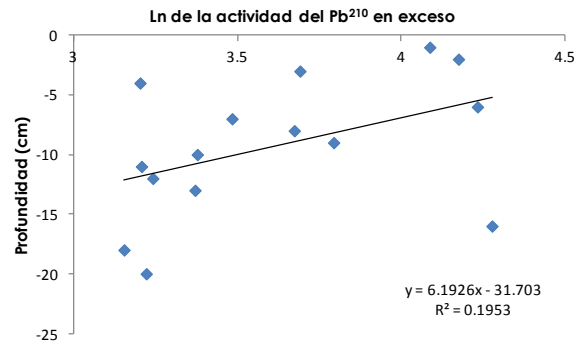


Figura 57. Ln de la actividad del  $Pb^{210}$  en exceso  
VS  
Profundidad núcleo J29





La información obtenida por la actividad del  $Pb^{210}$  en el núcleo A15, es presentada en la **figura 58**, en ella se observa un comportamiento cercano a la forma exponencial de una curva típica del decaimiento de un isótopo radiactivo. El coeficiente de correlación obtenido al hacer la regresión lineal (**figura 59**) de la actividad del  $Pb^{210}$  contra profundidad fue de 0.87, indicando este valor un comportamiento más cercano a una curva exponencial y sugiere una alta probabilidad de tener una columna sedimentaria inalterada por procesos de mezcla.

Al no haber un perfil sedimentario alterado se puede calcular la velocidad de sedimentación de la zona de estudio, además de permitir realizar una reconstrucción histórica de los aportes de metales vertidos por las actividades humanas realizadas en el continente y que son recibidas por el ambiente costero.

Al igual que lo observado en los dos perfiles anteriores la actividad del isótopo de  $Cs^{137}$  se encuentran por debajo del límite de detección ( $<6Bq\ kg^{-1}$ ), por lo que no se observa evidencia alguna de algún pico de actividad de esta sustancia donde se reflejen eventos o accidentes propiciado por las actividades antropogénicas relacionadas con elementos radiactivos.

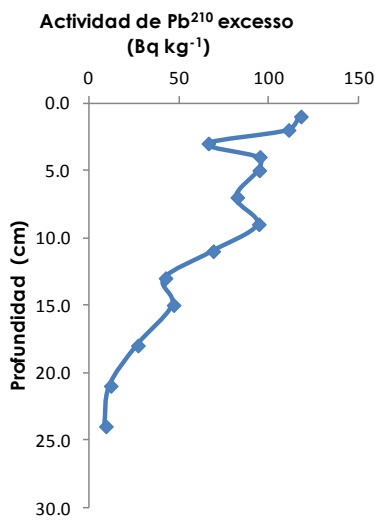


Figura 58. Actividad del  $Pb^{210}$   
vs  
Profundidad núcleo A15

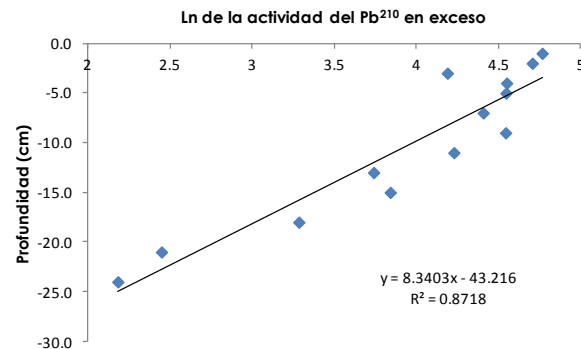


Figura 59. Ln de la actividad del  $Pb^{210}$  en exceso  
vs  
Profundidad núcleo A15

Para determinar la velocidad de sedimentación se usa la pendiente de la ecuación de la recta ( $y=0.1045x+5.0243$ ) obtenida de la **figura 59** y el inverso del tiempo de vida media del  $Pb^{210}$  ( $t_{vm}=22.4$  años), con estos datos se determinó, que la velocidad de sedimentación es de aproximadamente  $2.9\ mm\ año^{-1}$ , usando el tamaño del núcleo de sedimento y la velocidad de sedimentación, se dedujo que la edad del núcleo A15 es de aproximadamente 81 años, lo cual permite hacer una reconstrucción histórica de los metales aportados al área a partir del año 1927 hasta el 2008.





En el núcleo A16 la **figura 60** indica que la actividad de  $Pb^{210}$  contra profundidad tiene una forma parecida a la curva típica de decaimiento radioactivo.

El coeficiente de correlación de la regresión lineal del Ln de la actividad del  $Pb^{210}$  contra profundidad (**Figura 61**) fue de 0.94, señalando esto una alta probabilidad de no tener una columna sedimentaria alterada por organismos o procesos de mezcla, permitiendo esto calcular la velocidad de sedimentación de la zona y tratar de observar cambios en el tiempo de las concentraciones de los elementos traza aquí estudiados.

Los niveles del  $Cs^{137}$  fueron similares a lo registrado en los tres núcleos anteriores, por lo que tampoco se tiene evidencia de algún pico de actividad de este isótopo generado por el accidente de Chernóbil que sucedió en el año de 1986, ni por pruebas de armas nucleares.

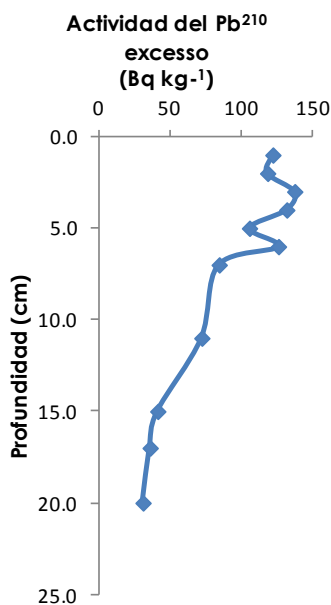


Figura 60. Actividad del  $Pb^{210}$   
vs  
Profundidad núcleo A16

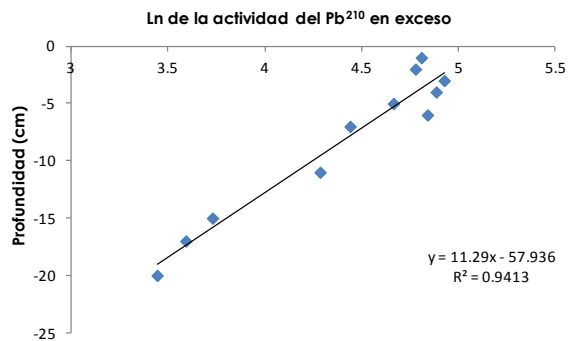


Figura 61. Ln de la actividad del  $Pb^{210}$  en exceso  
vs  
Profundidad núcleo A16

Siguiendo el mismo tratamiento de la información obtenida por los datos de  $Pb^{210}$ , se determinó con la ecuación ( $y=0.0834x+5.0884$ ) y el inverso del tiempo de vida media del  $Pb^{210}$  ( $t_{vm}=22.4$  años) que la velocidad de sedimentación es de aproximadamente  $3.7\ mm\ año^{-1}$ , la cual es 1.3 veces mayor a lo visto en el núcleo A15 y por esta razón se calcula una edad de la columna sedimentaria de aproximadamente 54 años siendo este perfil sedimentario 27 años más joven que la otra columna datada, por lo tanto, solo se puede inferir como variaron las concentraciones de metales en el tiempo desde el año 1954 hasta 2008.





### 5.37 Reconstrucción histórica en los núcleos J25 y J29.

Al estar mezclada la columna sedimentaria en los núcleos J25 y J29 no se puede hacer una reconstrucción histórica del flujo de metales en las cercanías de la desembocadura del río Jamapa.

### 5.38 Reconstrucción histórica en los núcleos A15 y A16.

Al ser datados los núcleos A15 y A16, se consiguió información de las últimas cinco décadas del siglo XX y primera del siglo XXI de los parámetros estudiados.

Para poder inferir si los cambios presentes de cada variable estudiada en la columna sedimentaria pueden estar relacionadas con las actividades humanas, se decidió correlacionar el crecimiento de la población humana presente en la cuenca del río Antigua con los parámetros analizados; pero debido a que los datos de crecimiento de población se realizan cada diez años, se juzgó pertinente calcular el promedio de los datos correspondientes a cada década determinada en cada núcleo con la finalidad de conseguir un valor para correlacionar; por ejemplo los resultados obtenidos en los años 2008, 2005 y 2001 en el núcleo A15 dieron el valor promedio para correlacionar con la población reportada en el año 2010 y así sucesivamente (Tabla 71).

Las correlaciones obtenidas entre el crecimiento de la población y los parámetros texturales (Figuras 62, 63, 64 y 65) sugieren que las distintas actividades humanas, además de la construcción de las presas Bella Esperanza en 1949, La Antigua en 1951, Chalahuite 1958, El Carrizal 1971, Alto Pixquiac 1979, El Sol 1979, San Francisco Nacaxtla 1985, y Coatepec (no se tiene el dato de construcción) han influido sobre los cambios en el aporte de arenas y de partículas finas procedentes del continente en las últimas seis décadas.

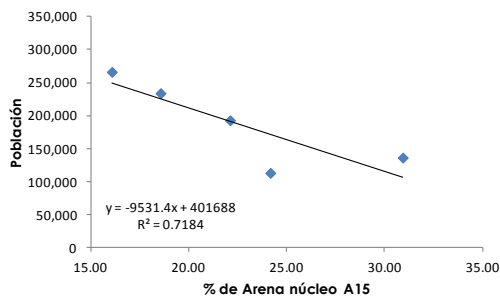


Figura 62. Influencia de aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre aportes de arena en A15.

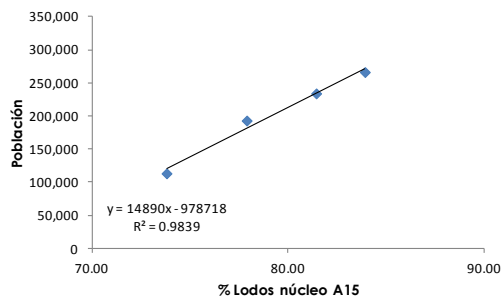


Figura 63. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre aportes de lodo en A15.



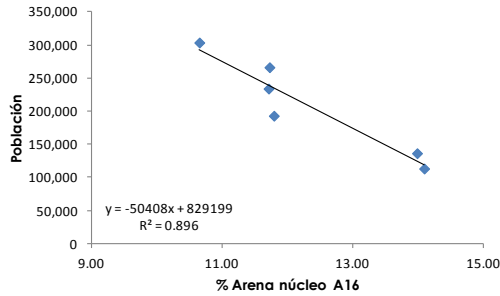


Figura 64. Influencia de aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre aportes de arena en A16.

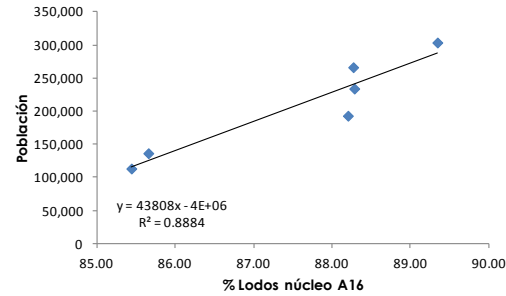


Figura 65. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre aportes de lodo en A16.

Comparando los porcentajes de lodos y arenas encontrados en ambas columnas sedimentarias, se observa que en los años de 2008 (A16), 1998(A15), 1995(A15), 1997(A16), 1970(A16), 2001(A15), 1991(A15), 1964(A15), 1962 (A16) y 1961(A15) (Tabla 71), pueden considerarse como atípicos, debido a que en los primeros cinco se encuentran porcentajes de lodos mayores al 90%, mientras que en los últimos cinco años se tienen porcentajes de lodos menores al 70%, indicando posiblemente estas anomalías un aumento o disminución en las precipitaciones de esos años, generando esto un aumento o disminución del aporte de material fino (lodos) a la zona.

Década	Población	Núcleo A15			Década	Población	Núcleo A16					
		Año	% Arenas	% Lodos			Año	% Arenas	% Lodos			
2010	303,530	2008	24.75	75.25	2010	303,530	2008	2.50	97.50			
		2005	27.58	72.42			2005	15.49	84.51			
		2001	<b>33.33</b>	<b>66.66</b>			2003	11.85	88.15			
		Promedio	<b>28.56</b>	<b>71.44</b>			2000	12.77	87.23			
		1998	5.39	94.61			Promedio	<b>10.65</b>	<b>89.35</b>			
2000	266,205	1995	5.98	94.02	2000	266,205	1997	7.35	92.65			
		1991	36.84	63.15			1995	23.01	76.99			
		Promedio	<b>16.07</b>	<b>83.93</b>			1992	10.20	89.80			
		1988	23.39	76.61			Promedio	<b>11.73</b>	<b>88.27</b>			
		1984	18.23	81.76			1989	10.87	89.13			
1990	233,936	1981	14.05	85.95	1990	233,936	1987	10.33	89.67			
		Promedio	<b>18.56</b>	<b>81.44</b>			1984	9.53	90.47			
		1978	21.80	78.19			1981	16.00	84.00			
		1974	16.73	83.27			Promedio	<b>11.71</b>	<b>88.29</b>			
		1971	27.78	72.22			1978	11.84	88.16			
1980	192,921	Promedio	<b>22.11</b>	<b>77.89</b>	1980	192,921	1976	16.88	83.12			
		1968	23.36	76.63			1973	11.68	88.32			
		1964	24.84	41.16			1970	7.91	92.09			
		1961	44.56	55.43			Promedio	<b>11.80</b>	<b>88.20</b>			
		Promedio	<b>30.93</b>	<b>57.74</b>			1968	26.59	72.45			
1970	136,306	1958	26.80	73.20	1970	136,306	1965	21.36	75.82			
		1954	25.37	74.62			1962	30.21	68.29			
		1951	20.31	79.68			1960	19.47	77.66			
		Promedio	<b>24.16</b>	<b>75.84</b>			Promedio	<b>13.99</b>	<b>85.66</b>			
		1947	26.20	73.80			1957	20.12	78.35			
1960	113,153	Promedio			1960	113,153	1954	10.69	87.33			
							Promedio	<b>14.10</b>	<b>85.44</b>			
							Promedio de la columna	<b>23.55</b>	<b>74.66</b>	Promedio de la columna	<b>15.24</b>	<b>84.84</b>

Tabla 71. Perfil de textura vs profundidad de los núcleos A15 y A16, las secciones de color rojo indican que están por arriba del promedio, mientras que las de color negro están por debajo del promedio.





Al comparar las concentraciones de los nueve elementos traza contra el aumento demográfico de la cuenca del río Antigua se encontraron en ambas columnas sedimentarias correlaciones positivas de V (0.84 y 0.75) (Figuras 66 y 67), Zn (0.73 y 0.71) (Figuras 68 y 69), Cr (0.81 y 0.99) (Figuras 70 y 71), Ni (0.87 y 0.68) (Figuras 72 y 73), Cu (0.94 y 0.88) (Figuras 74 y 75) y Pb (0.77 y 0.78) (Figuras 78 y 79), lo cual sugiere que estos metales muy probablemente han sido influenciados por el incremento de las actividades antropogénicas que se llevan a cabo en la cuenca, desafortunadamente no hay información sobre que tanto se ha incrementado la actividad industrial en la cuenca de la Antigua, pero en los últimos treinta años el gobierno ha dado a conocer el consumo de energía eléctrica por parte del sector industrial y de servicios, lo que permite afirmar que si ha habido un aumento de la actividad industrial en la zona, por ejemplo si se compara los 44.6 GWatts consumidos de energía eléctrica en 1990 por el sector industrial y de servicios con los años 2000 y 2010 se observa un aumento en la demanda en un 23.3 hasta un 314%, cabe mencionar que el tipo de industria que ha tenido un mayor incremento es del sector manufacturero, además de la industria azucarera.

Por otro lado, metales como Co y As mostraron una correlación negativa (-0.92 y -0.65) (Figuras 76 y 77) y (-0.66 y -0.68) (Figuras 80 y 81) sugiriendo que en las décadas de los 50's y 60's el aporte continental era mayor a lo visto en las décadas recientes, proponiendo esta tendencia que estos dos elementos no estén ligados concretamente al aumento de la actividad industrial que ha tenido la región en las últimos sesenta años.

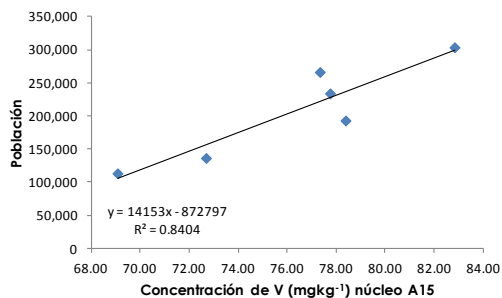


Figura 66. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de V en A15.

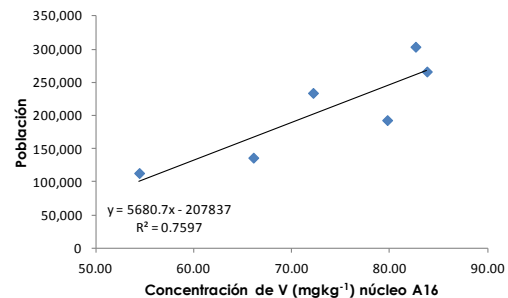


Figura 67. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de V en A16.

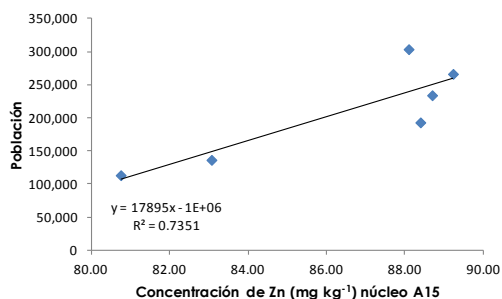


Figura 68. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Zn en A15.

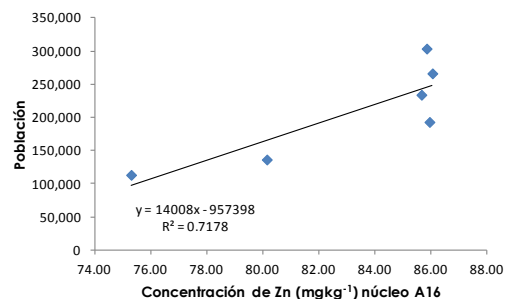


Figura 69. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Zn en A16.



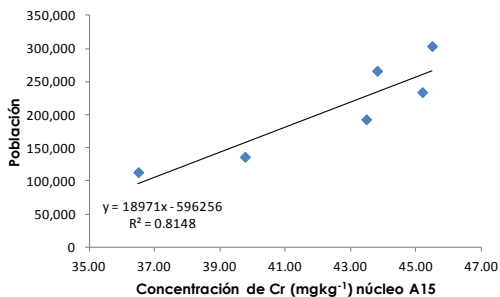


Figura 70. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Cr en A15.

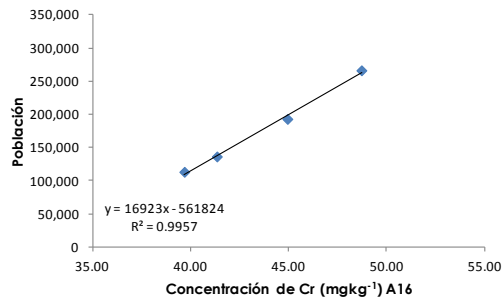


Figura 71. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Cr en A16.

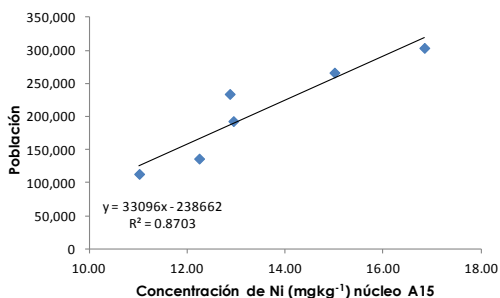


Figura 72. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Ni en A15.

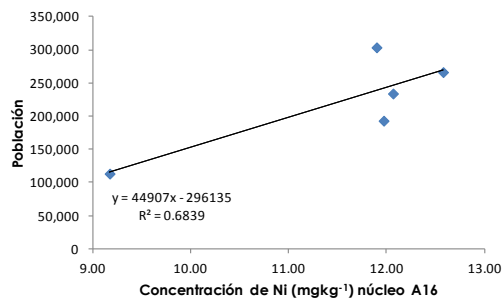


Figura 73. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Ni en A16.

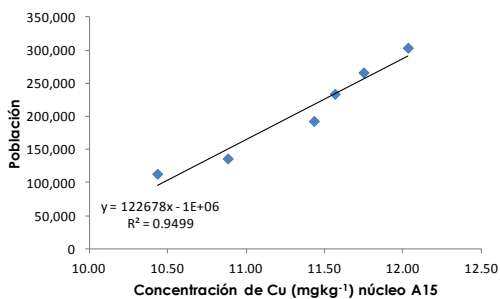


Figura 74. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Cu en A15.

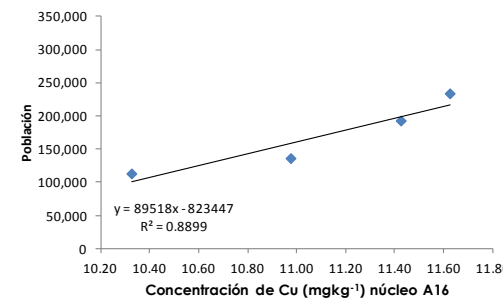


Figura 75. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Cu en A16.





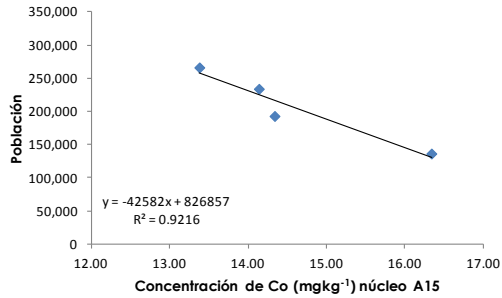


Figura 76. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Co en A15.

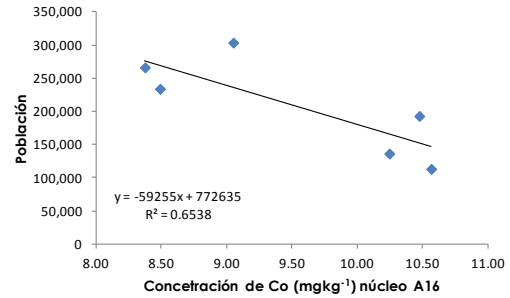


Figura 77. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Co en A16.

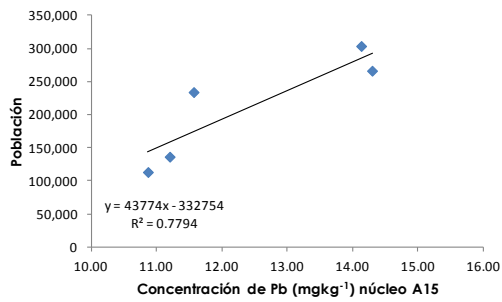


Figura 78. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Pb en A15.

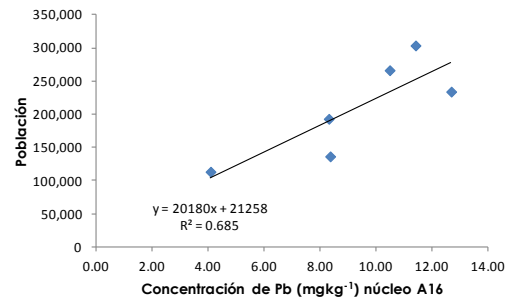


Figura 79. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de Pb en A16.

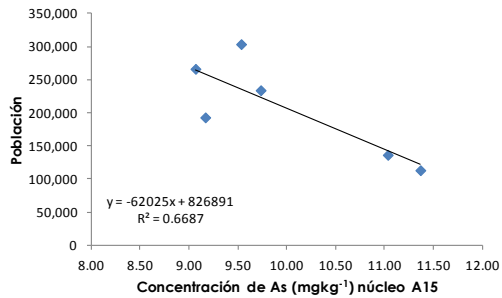


Figura 80. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de As en A15.

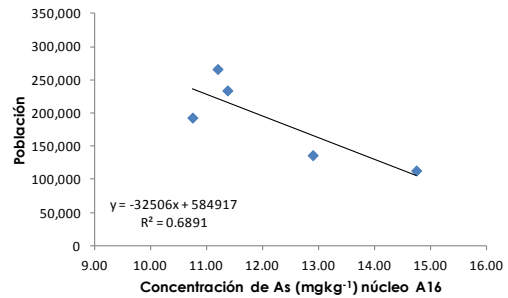


Figura 81. Influencia del aumento de población de la cuenca del río Antigua sobre cambios en la concentración de As en A16.





Analizando los perfiles de metales en los dos núcleos se observa que los valores máximos en el perfil de V se encuentran en el año 2001 (A15) y 1995 (A16), Zn en 1991 (A15) y 1978 (A16), Cr en 1988 (A15) y 1992 (A16), Ni en 2005 (A15) y 1987 (A16), Cu en 2008 (A15) y 1987 (A16), Co en 2008 (A15) y 1954 (A16) (no sigue la tendencia), Pb en 2001 (A15) y 1987 (A16) y As en 1968 (A15) y 1962 (A16); Por otro lado las concentraciones mínimas de V se registraron en el año de 1958 (A15), y 1954 (A16), Zn en 1947 (A15) y 1954 (A16), Cr en 1958 (A15) y 1954 (A16), Ni en 1951 (A15) y 1954 (A16), Cu en 1947 (A15) y 1957 (A16), Co en 1998 (A15) y 1989 (A16), Pb en 1954 (A15) y 1965 (A16) y As en 2005 (A15) y 1973 (A16) (Tablas 72 y 73), lo cual indica que todos los elementos cumplen la tendencia de encontrar los valores máximos en los centímetros más recientes del núcleo y las concentraciones mínimas se ubicaron en las capas de sedimento más antiguo o profundo, con la excepción del Co y As que tienen una tendencia inversa a la del resto de estas sustancias.

Este comportamiento permite proponer que la concentración de fondo para cada metal del área de la Antigua sea el promedio de sumar las concentraciones de ambos núcleos en la década de los 50's, ya que fueron los valores más bajos a lo largo de cada perfil, con la excepción de Co y As que tuvieron una tendencia diferente a la del resto de los elementos.

Núcleo A15										
Década	Población	Año	V	Zn	Cr	Ni	Cu	Co	Pb	As
2010	303,530	2008	81.65	87.05	50.85	18.19	12.65	25.96	11.3	13.3
		2005	81.50	88.90	44.10	18.99	11.60	14.24	14.5	7.2
		2001	85.35	88.35	41.55	13.34	11.85	13.54	16.6	8.1
		Promedio	<b>82.83</b>	<b>88.10</b>	<b>45.50</b>	<b>16.84</b>	<b>12.03</b>	<b>17.91</b>	<b>14.13</b>	<b>9.53</b>
		1998	77.60	88.70	44.15	13.71	11.80	9.57	16.3	8.8
		1995	77.85	89.00	42.55	13.03	11.65	14.01	13.7	9.1
2000	266,205	1991	76.55	90.00	44.75	18.28	11.80	16.57	12.9	9.3
		Promedio	<b>77.33</b>	<b>89.23</b>	<b>43.82</b>	<b>15.01</b>	<b>11.75</b>	<b>13.38</b>	<b>14.30</b>	<b>9.07</b>
		1988	72.55	88.35	51.20	16.02	11.50	15.26	9.1	10.4
		1984	78.60	88.85	41.00	11.54	11.50	13.63	12.2	8.8
		1981	82.10	88.90	43.40	11.05	11.70	13.53	13.4	10
1990	233,936	Promedio	<b>77.75</b>	<b>88.70</b>	<b>45.20</b>	<b>12.87</b>	<b>11.57</b>	<b>14.14</b>	<b>11.57</b>	<b>9.73</b>
		1978	80.65	89.05	45.80	11.89	11.70	15.12	13.4	8.7
		1974	76.80	87.95	42.95	15.22	11.35	13.11	16	9.3
		1971	77.70	88.20	41.70	11.71	11.25	14.79	14.4	9.5
1980	192,921	Promedio	<b>78.38</b>	<b>88.40</b>	<b>43.48</b>	<b>12.94</b>	<b>11.43</b>	<b>14.34</b>	<b>14.60</b>	<b>9.17</b>
		1968	74.75	81.50	39.20	15.90	10.90	15.60	8.3	14.5
		1964	73.00	84.10	39.45	10.33	10.65	13.98	13.8	9.8
		1961	70.30	83.60	40.65	10.49	11.10	19.44	11.5	8.8
1970	136,306	Promedio	<b>72.68</b>	<b>83.07</b>	<b>39.77</b>	<b>12.24</b>	<b>10.88</b>	<b>16.34</b>	<b>11.20</b>	<b>11.03</b>
		1958	67.90	80.90	34.35	11.96	10.50	14.05	15.3	9.9
		1954	69.05	81.30	38.85	11.38	10.35	13.50	7.1	12.5
1960	113,153	1951	70.25	80.05	36.30	9.71	10.45	14.61	10.2	11.7
		Promedio	<b>69.07</b>	<b>80.75</b>	<b>36.50</b>	<b>11.02</b>	<b>10.43</b>	<b>14.05</b>	<b>10.87</b>	<b>11.37</b>
		1947	69.30	79.35	43.10	10.30	10.30	14.81	8.8	12.1
Promedio de la columna			<b>75.97</b>	<b>86.01</b>	<b>42.42</b>	<b>13.32</b>	<b>11.29</b>	<b>15.01</b>	<b>12.57</b>	<b>10.09</b>

Tabla 72. Cambios en las concentraciones de metales en los últimos 60 años visto en la columna sedimentaria del núcleo A15.





		Núcleo A16								
Década	Población	Año	V	Zn	Cr	Ni	Cu	Co	Pb	As
2010	303,530	2008	81.65	87.20	42.15	12.12	10.95	10.48	13.30	13.40
		2005	80.60	85.25	41.10	10.67	10.85	8.29	8.80	15.50
		2003	80.15	84.25	45.00	11.18	11.15	8.35	11.40	12.30
		2000	88.15	86.75	46.45	13.63	11.05	9.09	12.20	12.90
		Promedio	<b>82.64</b>	<b>85.86</b>	<b>43.68</b>	<b>11.90</b>	<b>11.00</b>	<b>9.05</b>	<b>11.43</b>	<b>13.53</b>
2000	266,205	1997	83.25	85.60	46.25	11.95	10.85	8.62	11.00	10.80
		1995	93.90	86.05	48.80	12.48	10.85	8.32	10.60	11.00
		1992	74.25	86.55	51.10	13.30	10.80	8.19	9.90	11.80
		Promedio	<b>83.80</b>	<b>86.07</b>	<b>48.72</b>	<b>12.58</b>	<b>10.83</b>	<b>8.38</b>	<b>10.50</b>	<b>11.20</b>
		1989	71.60	84.25	44.60	11.04	11.25	7.80	14.30	10.40
1990	233,936	1987	73.55	86.35	44.00	13.71	11.80	7.85	16.40	11.00
		1984	71.50	86.70	43.20	12.50	11.75	9.22	10.30	12.10
		1981	72.05	85.40	43.70	11.02	11.70	9.10	9.80	12.00
		Promedio	<b>72.18</b>	<b>85.68</b>	<b>43.88</b>	<b>12.07</b>	<b>11.63</b>	<b>8.49</b>	<b>12.70</b>	<b>11.38</b>
		1978	75.70	87.80	42.45	9.54	11.30	12.37	10.20	11.10
1980	192,921	1976	75.55	85.10	47.35	12.42	11.25	10.76	10.10	12.20
		1973	82.30	85.85	45.25	12.76	11.50	9.16	7.80	9.40
		1970	85.45	85.10	44.70	13.16	11.65	9.63	5.20	10.30
		Promedio	<b>79.75</b>	<b>85.96</b>	<b>44.94</b>	<b>11.97</b>	<b>11.43</b>	<b>10.48</b>	<b>8.33</b>	<b>10.75</b>
		1968	78.90	80.95	42.00	12.32	11.05	11.64	12.10	10.70
1970	136,306	1965	67.86	81.25	41.60	12.65	10.70	10.75	2.90	15.10
		1962	58.80	78.90	40.60	12.49	11.40	9.19	14.20	9.60
		1960	58.75	79.50	41.15	11.91	10.75	9.41	4.30	16.20
		Promedio	<b>66.08</b>	<b>80.15</b>	<b>41.34</b>	<b>12.34</b>	<b>10.98</b>	<b>10.25</b>	<b>8.38</b>	<b>12.90</b>
		1957	56.25	76.65	40.35	9.37	10.30	8.73	3.90	14.40
1960	113,153	1954	52.60	73.95	39.00	8.98	10.35	12.41	4.30	15.10
		Promedio	<b>54.43</b>	<b>75.30</b>	<b>39.68</b>	<b>9.17</b>	<b>10.33</b>	<b>10.57</b>	<b>4.10</b>	<b>14.75</b>
		Promedio de la columna	<b>74.42</b>	<b>83.78</b>	<b>43.85</b>	<b>11.87</b>	<b>11.11</b>	<b>9.49</b>	<b>9.67</b>	<b>12.25</b>

Tabla 73. Cambios en las concentraciones de metales en los últimos 60 años visto en la columna sedimentaria del núcleo A16.

Los elementos que presentan un mayor gradiente en ambas columnas sedimentarias son V, Zn, Cr, Ni y Pb, lo cual sugiere que son estos metales los más influenciados por las actividades antropogénicas de la cuenca del río Antigua; por otro lado en ambos núcleos, el Cu, Co y As son las sustancias con los gradientes más pequeños, por lo que se puede ver la poca variación que ha habido en los últimos sesenta años transcurridos (Tabla 73).

Las décadas donde se ven los mayores cambios en ambos perfiles son entre los años 70's a 60's en V, Zn, Cr y Pb y entre 60's a 50's en V, Zn y Cr y donde las diferencias son mínimas en ambas columnas, son en las décadas de los 90's a 80's en Zn, Cu y As y entre 80's a 70's en Zn, Cu y As (Tabla 74), el hecho de encontrar en general pequeñas diferencias entre espacios de tiempo de diez años, sugiere poca variación en el aporte de ciertos metales en el tiempo, al menos es lo que se ve en la penúltima y antepenúltima década.





Núcleo	Diferencia	V	Zn	Cr	Ni	Cu	Co	Pb	As
A15	10's-00's	5.50	-1.13	1.68	1.84	0.28	4.54	-0.17	0.47
	90's-80's	-0.42	0.53	-1.38	2.14	0.18	-0.76	2.73	-0.67
	80's-70's	-0.63	0.30	1.72	-0.07	0.13	-0.20	-3.03	0.57
	70's-60's	5.70	5.33	3.72	0.70	0.55	-2.00	3.40	-1.87
	60's-50's	3.62	2.32	3.27	1.22	0.45	2.29	0.33	-0.33
<b>Gradiente</b>	<b>13.77</b>	<b>7.35</b>	<b>9.00</b>	<b>5.82</b>	<b>1.60</b>	<b>3.86</b>	<b>3.27</b>	<b>-1.83</b>	

Núcleo	Diferencia	V	Zn	Cr	Ni	Cu	Co	Pb	As
A16	10's-00's	-1.16	-0.20	-5.04	-0.68	0.17	0.68	0.93	2.33
	90's-80's	11.63	0.39	4.84	0.51	-0.79	-0.12	-2.20	-0.17
	80's-70's	-7.58	-0.29	-1.06	0.10	0.20	-1.99	4.38	0.63
	70's-60's	13.67	5.81	3.60	-0.37	0.45	0.23	-0.05	-2.15
	60's-50's	11.65	4.85	1.66	3.17	0.65	-0.32	4.28	-1.85
<b>Gradiente</b>	<b>28.21</b>	<b>10.56</b>	<b>4.00</b>	<b>2.73</b>	<b>0.68</b>	<b>-1.52</b>	<b>7.33</b>	<b>-1.23</b>	

Tabla 74. Diferencias de las concentraciones promedio de metales entre décadas, nota: el promedio de la década 10's se obtuvo de sumar los años 2008, 2005 y 2001 y la década 00's de sumar los años 1998, 1995 y 1991, y así sucesivamente, y fue un procedimiento similar para el caso del núcleo A16.

De forma general el análisis hecho a los núcleos de la zona de La Antigua, podría permitir afirmar un cierto grado de influencia de metales por las actividades humanas realizadas en el área.

Probablemente, además de los aportes naturales procedentes de la litología de la cuenca, la ciudad de Veracruz ejerza la mayor influencia en los aportes de V, Zn, Cr, Ni y Pb sobre el ambiente costero, debido a que se encuentra más cerca a la zona de estudio y ocupa por sí sola un área urbana e industrial de 35.68 km<sup>2</sup>, la cual es 2.6 veces mayor a todas las áreas juntas distribuidas a lo largo y ancho de la cuenca del río Antigua.

También se debe mencionar que los niveles de metales encontrados en los núcleos de las dos áreas estudiadas, probablemente no han generado algún efecto adverso a los organismos.





# Capítulo 6

CONCLUSIONES





## Conclusiones sedimentos superficial

La textura predominante en los sedimentos de la Antigua fueron de limo arcilloso, en el área de Jamapa fue del tipo arena limosa y el Talud Continental se caracteriza por ser limo arcilloso.

Las rocas Ígneas que se encuentran en la cuenca de la Antigua aportan altos niveles de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$  y  $\text{TiO}_2$  mientras que las rocas sedimentarias y suelos de la cuenca del río Jamapa explican los altos niveles de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ .

La cercanía del Sistema Arrecifal Veracruzano ocasiona el que ejerza la mayor influencia sobre el contenido de carbonatos en las tres áreas estudiadas que el aportado por los ríos.

Los niveles por debajo del 1% en el contenido de carbono orgánico en los sedimentos sugieren una alta velocidad de degradación o dispersión de esta sustancia en los tres lugares.

En la desembocadura del río Antigua se encontraron mayores concentraciones en V, Co, Cu, Zn y Cd; mientras que en la desembocadura del río Jamapa se encontraron valores altos en Cr y Ni, finalmente en el Talud Continental se encontraron niveles altos en As y Pb.

En general los niveles de Cr, Zn y Cu fueron mayores en las tres áreas estudiadas que en las reportadas en otros sitios del Golfo de México.

Los factores que determinan la distribución horizontal de los metales traza en los sedimentos superficiales son los minerales arcillosos, minerales pesados, carbonatos y aportes antropogénicos.

Los análisis de fraccionamiento geoquímico muestran que gran parte de la concentración total de todos los elementos traza aquí estudiados, se encuentran en la fracción residual.

A excepción del Mn ninguno de los elementos traza no serían fácilmente asimilados por los organismos.

La forma en que se encuentran distribuidos Cr, Ni, Fe, As y Pb en las distintas fracciones geoquímicas son la fracción residual, después la fracción de oxihidróxidos de hierro y manganeso, seguido de la fracción de materia orgánica, posteriormente la de carbonatos y finalmente la fracción fácilmente intercambiable; En el caso del Cu la segunda fracción en importancia fue la materia orgánica, oxihidróxidos de hierro y manganeso y carbonatos. En el caso del Zn la segunda fracción en consideración fue la de oxihidróxidos de hierro y manganeso, seguido de los carbonatos y finalmente la materia orgánica. El Mn tuvo la fracción de los oxihidróxidos de hierro y manganeso como segunda





fracción en importancia, seguido de la fácilmente intercambiable y al final los carbonatos.

Los metales que mostraron enriquecimiento son: As, Cu, Zn, Co, Cr y V en la desembocadura de La Antigua; As, Cu y Cr en la de Jamapa y As, Zn y Pb en el Talud Continental.

Los índices de calidad del sedimento indican que los metales con algún efecto biológico potencialmente adverso para los organismos son: Ni, As, Cu y Cr en La Antigua y Jamapa, mientras que As y Ni en la zona del Talud Continental.

### **Conclusiones en núcleos de sedimento**

Los cambios en la textura del sedimento a lo largo de los cuatro núcleos, indican mezcla de sedimentos hasta profundidades de 20 m, lo cual disminuye considerablemente a profundidades mayores de 40 m.

Los aportes de minerales a través de las cuencas de los ríos no han cambiado con el paso del tiempo. Los cambios en la cantidad de carbonatos son menores al 6% y la poca variación en la distribución vertical de los carbonatos en la columna sedimentaria, se encuentra influenciada por restos de organismos que forman sus estructuras con carbonato. Los aportes de carbono orgánico son poco significativos a lo largo del tiempo cuya variación es menor al 13 %.

No fue posible establecer los cambios de los metales traza a través del tiempo en la desembocadura del río Jamapa porque los núcleos colectados a 20 m de profundidad se encontraban mezclados.

Los factores que controlan la distribución vertical de los metales en las columnas sedimentarias de las regiones de la Antigua y Jamapa, están controlados por la mineralogía, el tipo de textura presente en los sedimentos y la influencia antropogénica.

El Pb fue el elemento que tuvo mayor variación en la columna sedimentaria con un coeficiente de variación de hasta 42.4 %, mientras que el Zn fue el que menos variación tuvo (4.5%).

El grado de contaminación en las cuatro columnas sedimentarias señala que ha habido enriquecimiento histórico de metales por las actividades humanas, siendo Pb el elemento con mayor enriquecimiento, mientras que V, Zn, Cr, Ni, Cu y As tienen el menor enriquecimiento.

Los índices de calidad del sedimento muestran que las concentraciones de Cr, Cu, Pb, Ni y Zn raramente podrían haberse asociado a efectos adversos sobre los organismos. El As es el único elemento que podría haberse asociado al efecto adverso sobre los organismos.





La edad aproximada de los primeros 20 cm de la columna sedimentaria de los núcleos A15 y A16 oscila entre los 54 y 81 años de edad dependiendo de la velocidad de sedimentación del área de depósito.

Las velocidades de sedimentación en la zona de La Antigua oscilan desde los 2.9 a 3.7 mm año<sup>-1</sup>.

No se detectaron evidencias que reflejen el accidente de Chernóbil, de ensayos nucleares o de algún problema asociado a alguna instalación nuclear.

La evolución en el flujo de metales durante los últimos 80 años no ha sido igual para todos los elementos. En la cuenca del río Antigua los mayores cambios se ven en entre las décadas de los 70's a 60's y entre los 60's a 50's, en V, Zn y Cr, en Pb se ve entre 60's a 50's, mientras que Cu y As se ve entre las décadas de los 90's a 80's y entre los 80's a 70's. Las concentraciones más bajas de la mayoría de los elementos se encontraron en la década de los 50's.







# Q - i - B





## Bibliografía

Abraham, G. M. S., & Parker, R. J.; 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 136, 227-238.

Appleby P.G., Oldfield F.; 1992; Application of lead-210 to sedimentation studies: In M. Ivanovich and R.S Harmon (eds.), *Uranium series disequilibrium, Application to Earth. Marine and Environmental Science*, Chapter 21, Oxford University 910 pp.

Administración Portuaria Integral (API); 2005. Estadísticas del puerto de Veracruz. [www.apiver.com](http://www.apiver.com)

Apitz S., Degetto S., Cantaluppi C.; 2009; The use of statistical methods to separate natural background and antropogenic concentrations of trace elements in radiochronologically selected surface sediments of the Venice Lagoon; *Marine Pollution Bulletin*; (58) 402-414.

Beiras R., Bellas J., Fernandez N., Lorenzo J., Cobelo A.; 2003; Assessment of coastal marine pollution in Galicia (NW Iberian Peninsula), metal concentrations in seawater, sediments and mussels (*Mytilus Galloprovincialis*) versus embryo-larval bioassays using *paracentrotus lividus* and *Ciona intestinalis*. *Marine Environmental Research*; (56) 531-553.

Birch G., Hutson P.; 2009; Use of sediment Risk and Ecological/Conservation Value for Strategic Management of Estuarine Environments: Sydney Estuary, Australia; *Environmental Management*; (44) 836-850.

Birth G.; 2003; A scheme for assessing human impacts on coastal environments using sediments; In: Woodcoffe, C.D. Furness. R.A; Ed. *Coastal GIS 2003*. Wollongong University Papers in Center for Maritime Policy. 14, Australia.

Brayan G., Langston W., 1992; Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries, A review; *Environmental Pollution*; (76) 89-131.

Brookins Douglas G.; 1988; *Eh-pH Diagrams for geochemistry*; Ed. Springer- Verlag.

Bruland K.W., Bertine K., Koide M., Goldberg E.D.; 1974; History of metal pollution in Southern California coastal zone; *Environment Science Technology*; (8) 425-432.

Caccia V., Millero F., Palanques A., 2003; The distribution of trace metals in Florida Bay sediments; *Marine Pollution Bulletin*; (46) 1420-1433.





Carranza A.; 1997; La granulometría y su uso en estudios ambientales. Actas INAGEQ, (ISBN 968-36-6241-1) 3, 235-243.

Celis-Hernández O.; 2009; Estudio Químico de Agua y Sedimento en Bahía Vergara, Veracruz, México. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias del Mar. UNAM.

Ceron-Alvarado J.; 2008; Estudio de Metales en Agua, Material Suspendido y Sedimentos en los Arrecifes La Gallega y Galleguilla, Veracruz, Veracruz. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias del Mar. UNAM.

Chan J.; 1974; Trace metals in Hong Kong; Marine pollution; (5) 171-174.

Chapman P.M., Power E.A., Allen G., 1992; Integrative Assessment in Aquatic Ecosystems Chapter 14, In: Sediment Toxicity Assessment (Ed) Allen Burton G. Jr; (Ed) Lewis Publishers.

Chiu Wen., Chin K., Chin Ch., Cheng D.; 2007; Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan, Chemosphere, (66) 1431-1440.

Christophoridis, C., Dedepsidis, D. & Fytianos, H.; 2009. Occurrence and distribution of selected heavy metals in the surface sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators. Journal of Hazardous Materials, 168, 1082-1091.

CONAGUA, 2014, Inventario de presas;  
<http://201.116.60.136/inventario/hinicio.aspx>

Connell F.; 1997; Environmental Toxicology ; In Basic concepts of Environmental Chemistry, Ed. John Wiley and Sons.

Connell D. W., Miller G.; 1984; Chemistry and Ecotoxicology of Pollution; Ed. John Wiley and Sons.

Crossland C. J., Baird D., Ducrotot J. P., Lindeboom H., 2005, The Coastal Zone – a Domain of Global Interactions, In: Coastal Fluxes In The Anthropocene. USA. (Comps) Crossland, C.J.; Kremer, H.H.; Lindeboom, H.J.; Marshall Crossland, J.I.; Le Tessier, Springer, 1-32.

Cundy A. B., Croudace I. W., Thomson J., Lewis J. T.; 1997; Reliability of salt marshes as geochemical recorders of pollution input: a case study from contrasting estuaries insouthern England, Environmental Science and Tecnology, 31, 1093-1101.





Devesa R., Diaz F., Barral M.; 2009; Normalization strategies for river bed sediments: A graphical approach; *Microchemical Journal*; (91) 253-265.

Duan L., Song J., Xu Y., Li X., Zhang Y.; 2010; The distribution, enrichment and source of potential harmful elements in surface sediments of Bohay Bay, North China; *Journal of Hazardous Materials*; (183) 155-164.

Edgington D.N., Robbin J.A., 1975; Determination of activity of Lead-210 in sediments and soils Vol.3 Chapter 3; EPA (Environmental Protection Agency); <http://www.epa.gov/glnpo/lmmb/methods/lead-210.pdf>

Farkas A., Erratico C., Vigano L.; 2007; Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the river Po; *Chemosphere*; (68) 761-768.

Feng H., Jiang H., Gao W., Weinstern M., Zhang Q., Zhang W., Yu L., Yuan D., Tao J.; 2010; Metal contamination in sediments of western Bohay Bay and adjacent estuaries, China; *Journal of Environmental Management*; (xxx) 1-13.

Feng H., Han X., Zhang W., Yu L.; 2004; A preliminary study of heavy metal contamination in Yangtze River intertidal zone due to urbanization; *Marine Pollution Bulletin*; (49) 910-915.

Figueruelo J., Marino M.; 2001; Contaminación en los sistemas acuáticos: Química Física del Medio Ambiente. Ed. Reverte, México.

Figueiras A. V.; 2002; Chemical Sequential Extraction for Metal Partitioning in Environmental Solid Samples; *Journal Environmental Monitoring*; (3) 823-857.

Forstner U., Wittmann G.; 1979; *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Goldberg E.D.; 1963; Geochronology with 210 Pb in radioactive dating; p.131; In: *Radioactivity Dating IAEA*, Vienna.

Govindaraju, K.; 1994. Compilation of Working Values and Sample Description for 383 standard reference materials. *Geostandards Newsletter*, 18(2): 331.

Hang Y., Du P., Cao J., Posmentier E.; 2006; Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dust of Xian, Central China; *The Science of the Total Environment*; (355) 176.186.

Hakanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research* 14, 975-1001.





Hesse P.; 1971; Insoluble carbonates and sulphur requirement: Soils Chemicals Analysis: John Murray; USA.

Hosono T., Chih S., Delinom R., Umezawa Y., Toyota T., Kaneko S., Taniguchi M., 2011; Decline in heavy metal contamination in marine sediments in Jakarta Bay, Indonesia due to increasing environmental regulations; Estuarine, Coastal and Shelf Science; (92) 297-306.

Horowitz A., Elrick K.; 1987; The relation of stream sediment surface area, grain size and composition of trace element chemistry; Applied geochemistry; (2) 437-452.

Hung, J. J., & Hsu, C. L.; 2004. Present state and historical changes of trace metal pollution in Kaoping coastal sediments, Southwestern Taiwan. Marine Pollution Bulletin, 49, 986-998.

Idris, A. M.; 2008. Combining multivariate analysis and geochemical approaches for assessing heavy metal level in sediments from Sundance harbors along the Red Sea coast. Microchemical Journal, 90, 159-163.

INEGI; 1984; Anuario Estadístico del estado de Veracruz; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

INEGI; 1995; Anuario Estadístico del estado de Veracruz; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

INEGI; 2000; Anuario Estadístico del estado de Veracruz; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

INEGI; 2009; Anuario Estadístico del estado de Veracruz; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

INEGI; 2012; Anuario Estadístico del estado de Veracruz; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

INEGI; 2012; Anuario Estadístico del los Estados Unidos Mexicanos; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Ivanovich M., Latham A.G., Ku T.L.; 1992; Uranium-series disequilibrium applications in geochronology; P. 62-89; In Ivanovich M., Harmon R.S (eds.); Uranium-series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine, and Environmental Sciences; Clarendon Press, Oxford.





Jiménez M. A., Granados A., Ortiz L.; 2007, Análisis de la información científica en el sistema arrecifal veracruzano: Investigaciones científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano, Granados A., Abarca L., Vargas J., México, Universidad Autónoma de Campeche, Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, 1-16.

Klein, C., & Hurlbut, C. S. Jr.; 1997. Manual of Mineralogy. John Wiley & Sons, New York.

Krishnaswami S., Lal-Martin D., Meybeck J.M.; 1971; Geochronology of lake sediments; Earth and Planetary Science Letters; (11) 407-414.

Libes S.; 2000; Marine Geochemistry. Ed. John Wiley and Sons.

Liu X., Guo W., Liu Z., Li G.; 2010; Pollution and potential Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in sediments around Dongjiang Harbor, Tianjin; Procedia Environmental Sciences; (2) 729-736.

Long E., MacDonal D., Smith S., Calder F.; 1995; Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments, Environmental Management; (19) 81-87.

Loring D., Rantala R.; 1992; Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter: Earth Sciences Review, (32) 235-283.

Lozano S., Verma P., Giron P.; 1995; Calibración preliminar de fluorescencia de Rayos X para análisis cuantitativos de elementos mayores en rocas ígneas. Actas INAGEQ., (1), 203-208.

Manahan S.; 2005; Water Pollution: Fundamentals of environmental chemistry: Lewis publishers, USA.

Marmolejo A., Prego R., Meyer A., Shumilin E., Cobelo A., 2007; Total and labile metal in surface sediments of the tropical river-estuary system of Marabasco (Pacific coast of México): Influence of an iron mine; Marine Pollution Bulletin; (55) 459-468.

McCready S., Birch G., Long E.; 2006; Metallic and organic contaminants in sediment of Sydney Harbour Australia and vicinity- a chemical data set for evaluating sediment quality guidelines; Environmental International; (32) 455-465.

McDonald D., Ingersoll C., Berger T.; 2000; Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems; Archean Environmental Contamination Toxicology; (39) 20-31.





McLennan, S. M.; 2001; Relationship between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, doi:10.1029/2000GC000109.

Merian E.; 1991; *Metals and their compounds in the environment*; VCH, Weinheim New York.

Mil M., Branco V., Vale C., Boer W., Alt U., Abrantes F., Vicente M.; 2009; Sedimentary record of antropogenic metal inputs in the Tagus prodelta (Portugal); *Continental Shelf Research*; (29) 381-392.

Moreno I., Ham M., Lubian L.M.; 2003; Sediment toxicity tests using benthic marine microalgae *Cylindrotheca closterium* Lewin and Reiman *Bacillario Phyceae*; *Ecotoxicology and Environmental Safety*; (54) 290-295.

Moreno R., Cervantes C., 1999; *Contaminación ambiental por metales pesados: Impacto en los seres vivos*; Editorial A.G.T

Muller G.; 1969; Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geology Journal* 2, 109-118.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration); 1999; *Sediment Quality Guidelines Developed for the National Status and Trends Program*. <http://ccma.nos.noaa.gov/publications/sqg.pdf>

Olivares S., De la Rosa D., Lima L., Graham D.W., D'Alessandro K., Borroto J., Martinez F., Sanchez J.; 2005; Assessment of heavy metal levels in Almendares River sediments, Habana City Cuba; *Water research*; (39) 3945-3953.

Pekey H.; 2006; The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stram; *Marine Pollution Bulletin*; (52) 1197-1208.

Rainbow P.S.; 1990; Heavy Metal Levels in Marine Invertebrates Chapter 5: In *Heavy Metals in the Marine Environment*; (ed.) CRC Press.

Rainbow P.S.;1990; Heavy Metal Levels in Marine Invertebrates Chapter 5: In *Heavy Metals in the Marine Environment*; (ed.) CRC Press.

Reimann, C., & Caritat, P.,1998; *Chemical Elements in the Environment: Fact sheets for the Geochemist and Environmental Scientist*. Springer-Verlag, Berling, Heidelberg, New York.

Renfro W.C., Fowler, S.W.,Heyraud M., La Rosa J.;1975; Relative importance of food and water in long-term Zinc-65 accumulation by marine biota; *Journal of fisheries Research board of Canada*; (32) 1339-1345.





Robbins J.A., Edgington D.N., Kemp A.L.W.; 1978; Comparative Pb<sup>210</sup>, Cs<sup>137</sup> and pollen geochronologies of sediments from lakes Ontario and Erie; *Quaternary Research*; (10) 256-278.

Rollinson, H. R.; 1993; *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Group Limited, Essex, England.

Rosales H., Kasper J., Carranza A. Celis O.; 2008; Geochemical composition of surface sediments near Isla de Sacrificios coral reef ecosystem, Veracruz, Mexico: *Hidrobiologica*, (18) 155-165.

Rosales H., Carranza A., Sanvicente L., Alatorre M., Rivera F.; 2009; Distribution of dissolved trace metals around the Sacrificios coral reef island, in the southwestern Gulf of Mexico: *Environmental Contamination and Toxicology*, (1) 20-27.

Rosales H., Carranza A., Celis O.; 2007; Environmental implications of heavy metals in surface sediments near Isla de Sacrificios, Mexico: *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, (78) 353-357.

Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., Santiago-Pérez, S., & Morales-De La Garza, E., 2005; Spatial trends in the geochemical composition of sediments in the Panuco River discharge area, Gulf of Mexico. *Environmental Geology*, 48, 496-506.

Ruiz C., Hillaire C., de Vernal A., Machain M. L. Vásquez L., Ghaleb B. Aspiazú J.A. Páez F.; 2009; Changes of coastal sedimentation in the Gulf of Tehuantepec, South Pacific Mexico, over the last 100 years from short-lived radionuclide measurements: *Estuarine, coastal and shelf science*, 82, 525-536.

Ruiz C., Sanchez J. A., Alonso C., Martínez V., Hascibe L., Preda M., Hillaire C., Gastaud J., Quejido A.; 2012; Effects of land use change and sediment mobilization on coastal contamination Coatzacoalcos River, México; *Continental Shelf Research*; (37) 57-65.

Sadiq M.; 1992; *Toxic Metal Chemistry in Marine Environments*; Marcel Dekker Inc.; New York, Basel, Hong Kong.

Sakan M., Dordevic D., Manojlovic D., Predrag P.; 2009; Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments; *Journal of Environmental Management*; (90) 3382-3390.

Salomons W., Förstner; 1984; *Metals Inteh Hidrocycle*; (ed.) Springer- Verlag.







SEMARNAT, (Secretaría del medio ambiente); 2005; Biodiversidad, ecosistemas costeros y oceánicos. En Indicadores básicos del desempeño ambiental. Flores A. Gonzáles L. M., Rodríguez C. México, (Comps.) SEMARNAT, 170-276.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2005, Carta geológico-minera del Estado de Veracruz 1ª edición: Escala 1: 500000.

Shepard F.P.; 1954; Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. Journal of Sedimentary Petrology, (24) 151-158.

Skoog D.; 2005; Fundamentos de Química Analítica; Ed. Thomson.

Tamayo J., 2001; Geografía Moderna de México; Ed. Trillas; México.

Tessier A., Campbell P., Bisson M.; 1979; Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals: Analytical Chemistry; (51) 844-850.

Tuncer G., Tuncel G., Balkas T.; 2001; Evolution of metal pollution in the golden Horn (Turkey) sediments between 1912 and 1987; Marine Pollution Bulletin; (42) 350-360.

Zhang W., Feng H., Chang J., Qu J., Xie H., Yu L.; 2009; Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: An assessment from different indexes; Environmental Pollution; (157) 1533-1543.

