



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
INSTITUTO DE GEOLOGÍA**

**ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE NÚCLEOS DE  
SEDIMENTOS ADYACENTES A LA  
DESEMBOCADURA DEL RÍO PÁNUCO**

**TESIS**

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS  
(GEOLOGÍA AMBIENTAL)**

**PRESENTA:**

**ING. HÉCTOR HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

**DIRECTORA DE TESIS:**

**DRA. LETICIA ROSALES HOZ**

**2005**

MT 349417





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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



---

### AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, donde logré crecer y desarrollarme académicamente y a la vez consolidar mis conocimientos; al Instituto de Geología sede mis estudios de maestría. Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología - UNAM, en especial al Laboratorio de Química Marina y Contaminación, en donde, desarrolle este trabajo.

Al Instituto Mexicano del Petróleo por el apoyo brindado para la colección y análisis de muestras estudiadas en este trabajo a través del Proyecto FIES 98-19-VI.

Mi más profunda gratitud a la Dra. Leticia Rosales Hoz, directora de tesis, quien me brindo toda su confianza y apoyo para desarrollar mi trabajo de tesis en su laboratorio, así como de sus valiosos consejos y atinados comentarios para el buen desarrollo y termino de este trabajo.

Agradezco infinitamente a la Q.B.F Susana Santiago Pérez por sus enseñanzas, su paciencia y principalmente por haberme brindado toda su confianza y amistad durante todo momento.

Agradezco al Dr. Arturo Carranza, por el estudio textural que se realizo en su laboratorio, así como por su confianza en mi trabajo y por sus valiosos consejos técnicos y observaciones que hizo para este trabajo.

Agradezco al M. en C. Eduardo Morales de la Garza por su apoyo técnico brindado durante todo el tiempo, así como a la Ing Adriana por su apoyo en este trabajo.

Agradezco especialmente al Dr Andrew Cundy de la Universidad de Sussex por los análisis de actividades del isótopo  $^{210}\text{Pb}$ , así como de su gran disponibilidad y ayuda en todo momento.

Agradezco muchísimo al Ing. Rufino Lozano Sta. Cruz., por los análisis de FRX, pero sobretodo por su gran disposición y ayuda, así como de su confianza y amistad para mi persona.

Agradezco muchísimo al Maestro Margarito Álvarez Rubio por su apreciable apoyo y su tiempo a las asesorías que siempre me brindo para el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a los miembros del Jurado: Doctora Ofelia Morton Bermea, Doctor Alejandro Carrillo Chávez, M. en C. Margarito Álvarez Rubio y Dr. David Fastovsky por el tiempo dedicado para revisar, corregir y enriquecer el trabajo original.

Agradezco especialmente y profundamente a la Física Alejandra Cortes Silva por su siempre incondicional ayuda y por haberme aceptado como becario en los proyectos de Aguascalientes (INAGUA) y el de la Cuenca del Río Guanajuato del Consejo de Recursos Minerales (COREMI), que me proveyó de las herramientas necesarias para el buen desarrollo de este trabajo, del mismo modo agradezco, toda su confianza y amistad que siempre me ha brindado.

Agradezco al Lic. Antonio Rosales G. del Departamento de Ingresos Extraordinarios del Instituto de Geofísica, por su apreciable apoyo como becario y por haberme brindado su amistad.

Agradezco el apreciable apoyo que siempre me brindaron las secretarias del Posgrado de Geofísica, la Señorita Monica Salgado y la Señora Araceli Chaman, de quienes recibí sólo atenciones y apoyo cuando necesite de ellas.



---

### DEDICATORIA

*Dedico este trabajo de tesis a mis Padres la Sra. Adela Hernández Estrada y al Sr. Sebastián Hernández Arriaga, que de ellos sólo he recibido amor, educación, comprensión, disciplina y buen ejemplo, y este trabajo de tesis es el producto de todas las enseñanzas recibidas por mis Padres. Esta Tesis es sólo un pequeño tributo a todo el esfuerzo y dedicación que he recibido de manera incondicional de mis Padres para llegar a ser una mejor persona cada día.*

*Esta tesis también la dedico con mucho cariño a mis hermanos Laura y Hugo, que siempre obtuve de ellos ayuda y comprensión, en los momentos difíciles de la realización de este trabajo.*

*Dedico esta tesis de maestría a la Señorita Anny Christina Lima, por su extraordinaria y admirable paciencia por esperar el final de esta tesis, y que ahora logrado este objetivo comenzamos una nueva etapa en la vida que nos traerá nuevos retos y metas, y que deseo y espero, siempre logremos cumplir juntos con cada uno de los retos que nos propongamos, muchas gracias por todo Anny.*



---

<b>INDICE GENERAL</b>	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>X</b>
<b>Capitulo 1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos	4
<b>Capitulo 2 ANTECEDENTES</b>	<b>5</b>
2.1 Impacto ambiental en las zonas costeras	7
2.2 El papel de los sedimentos en las zonas costeras	10
2.3 Importancia de los sedimentos marinos	11
2.4 Clasificación de los sedimentos marinos	12
2.5 Tipos de sedimento	15
2.5.1 Sedimento Terrígeno	15
2.5.2 Sedimento biogénico	15
2.5.3 Sedimento hidrogénicos	17
2.5.4 Sedimento cosmogenos	17
2.5.5 Sedimento antropogénico	18
2.6 Estudios a nivel mundial	19
2.7 Estudios previos en la zona de estudio	21
<b>Capitulo 3 ÁREA SE ESTUDIO</b>	<b>25</b>
3.1 Características de la zona	25
3.2 Clima	26
3.3 Marco geológico	28
3.4 Hidrografía	30
3.5 Presiones sobre el área de estudio	32
3.5.1 Contaminación	32
3.5.2 Población	35
<b>Capitulo 4 METODOLOGÍA DE ESTUDIO</b>	<b>37</b>
4.1 Trabajo de campo	37
4.2 Trabajo de laboratorio	41
4.2.1 Secado y molienda de las fracciones de sedimento	42



---

	Pág.
4.2.2 Determinación de materia orgánica	43
4.2.3 Determinación de carbonatos de calcio	46
4.2.4 Determinación de elementos mayores y elementos traza por Fluorescencia de RX	49
4.2.5 Determinación de la textura de las fracciones de cada núcleo	56
4.2.6 Determinación de la actividad del isótopo $^{210}\text{Pb}$ en las fracciones de cada núcleo	56
4.2.7 Determinación de la mineralogía de los sedimentos.	57
4.3 Pruebas estadísticas	58
4.3.1 Análisis de cluster	58
4.3.2 Análisis factorial.	61
4.3.2.1 Componentes Principales	61
4.3.2.2 Rotación Varimax	63
4.3.3 Análisis Multidimensional.	64
4.3.4 Elaboración de gráficos	66
4.3.4.1 Coeficiente de Pearson	66
4.3.5 Elaboración de Planos	67
4.3.6 Normalización	67
<b>Capítulo 5 RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	
5.1 Textura	69
5.1.1 Textura de los núcleos de sedimentos	73
5.2 Minerales presentes en los núcleos de sedimento	87
5.3 Relación de sedimentación de los núcleos	91
5.3.1 Resultados de la datación de los sedimentos	95
5.4 Distribución de los elementos mayores y elementos traza	102
5.5 Normalización de las concentraciones de los metales mayores y metales traza	118
5.6 Distribución vertical de los contaminantes en los núcleos de sedimento.	125
5.6.1 Núcleo 47	125
5.6.2 Núcleo 93	127
5.6.3 Núcleo 17	129
5.7 Análisis multivariado de los núcleos de sedimento	
<b>5.7.1 Núcleo 47</b>	
5.7.1.1 Análisis de Cluster	132



---

	Pág.
5.7.1.2 Análisis Factorial	133
5.7.1.3 Rotación Varimax	134
5.7.1.4 Análisis Multidimensional	136
<b>5.7.2 Núcleo 93</b>	
5.7.2.1 Análisis de Cluster	138
5.7.2.2 Análisis Factorial	139
5.7.2.3 Rotación Varimax	140
5.7.2.4 Análisis Multidimensional	142
<b>5.7.3 Núcleo 17</b>	
5.7.3.1 Análisis de Cluster	144
5.7.3.2 Análisis Factorial	145
5.7.3.3 Rotación Varimax	146
5.7.3.4 Análisis Multidimensional	148
<b>5.7.4 Núcleo 53</b>	
5.7.4.1 Análisis de Cluster	150
5.7.4.2 Análisis Factorial	152
5.7.4.3 Rotación Varimax	153
5.7.4.4 Análisis Multidimensional	155
<b>Capítulo 6 CONCLUSIONES</b>	157
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	162
<b>APENDICE A</b>	169
<b>APENDICE B</b>	170
<b>APENDICE C</b>	178
<b>APENDICE D</b>	184



INDICE DE FIGURAS

Figura	TITULO	Pág.
2.1	Regiones económicas costeras de la República Mexicana	6
2.2	Diatomeas y Radiolarios	16
2.3	Foraminíferos	17
3.1	Ubicación del área de estudio	24
3.2	Las corrientes de aguas cálidas y salinas que entran a través del estrecho de Yucatán y salen por la Florida son llamadas como "Corrientes de Lazo"	26
3.3	Régimen de precipitación de la cuenca del Río Pánuco	27
3.4	Marco geológico de la cuenca del Río Pánuco	29
3.5	La cuenca del Río Pánuco es la séptima cuenca más grande	30
3.6	Sistema hidrográfico	31
3.7	Moctezuma Cid, J. (1998). "El Puerto Industrial de Altamira". Rev. El Mercado de Valores, N <sup>o</sup> , p. 18, junio de 1998. Nacional Financiera, México. Citado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano del Transporte. 1999.	36
4.1	Localización de los puntos de muestreo	38
4.2	Longitud de los Sedimentos	39
4.3	Muestreador de sedimentos tipo caja	40
4.4	Núcleos de sedimentos,	40
4.5	Ruta del tratamiento de los núcleos de sedimento	41
4.6	Equipo Sepx 8000 Mixer/Mill con vial de carburo de Tungsteno	42
4.7	Método para la determinación de carbono orgánico total desarrollado por Walker and Black, 1934	45
4.8	Ruta para la determinación de carbonato de calcio, Santiago, 1989	48
4.9	Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos-x	49
4.10	Sistema secuencial Siemens SRS 3000 (tubo de Rh y ventana de Be 125µm) con detectores de flujo de centelleo.	50
4.11	Patrones de referencia Internacional	50
4.12	Prensa	51
4.13	Perladora	51
4.14	Tratamiento de las muestras de sedimento para el uso de la técnica de Fluorescencia de Rayos-x.	55
4.15	Mallas para determinar el % gravas y % arenas	56
4.16	Equipo Coutler LS230 Beckman	56



## INDICE DE FIGURAS



Figura	TITULO	Pág.
5.1	Ubicación de las zonas de estudio por el tamaño de partículas de los sedimentos superficiales.	70
5.2	Zona de estudio delimitada por los cuatro sitios donde se muestrearon los núcleos de sedimento.	71
5.3	Relieve de la zona de muestreo de los cuatro núcleos de sedimento	72
5.4	Fotografía del núcleo 47 de sedimento donde se aprecian las partículas de limos, arcillas y arenas; siendo los limos las partículas de mayor concentración.	74
5.5	Fotografía de los primeros centímetros del núcleo 93 de sedimentos donde se aprecia una partícula muy probablemente de cuarzo rodeada de partículas de limos.	75
5.6	Fotografía del núcleo 93 de sedimento donde se presenta una probable partícula de calcita independiente de la matriz de limos y arcillas.	76
5.7	Fotografía del núcleo 17 de sedimento donde se presenta una partícula de cuarzo, en la zona de mayor concentración de arenas.	77
5.8	Fotografía del núcleo 17 de sedimento donde se presenta un microorganismo (diatomea) que aporta óxido de silicio.	78
5.9	Fotografía del núcleo 17 de sedimento donde se presenta una conchita marina que aporta calcita.	78
5.10	Fotografía del núcleo 53 de sedimento donde se aprecia la alta concentración de arenas en una matriz de limos.	80
5.11	Distribución de gravas, arenas, limos y arcillas en los núcleos de sedimento.	82
5.12	Distribución de los limos a la desembocadura del Río Pánuco	84
5.13	Distribución de las arcillas a la desembocadura del Río Pánuco	85
5.14	Distribución de las arenas a la desembocadura del Río Pánuco	86
5.15	Mineralogía de los sedimentos del núcleo 47	89
5.16	Mineralogía de los sedimentos del núcleo 93	89
5.17	Mineralogía de los sedimentos del núcleo 17	90
5.18	Mineralogía de los sedimentos del núcleo 53	90
5.19	Gráfico de la actividad del $^{210}\text{Pb}$ vs. Profundidad del núcleo 47	91
5.20	Gráfico de la actividad del $^{210}\text{Pb}$ vs. Profundidad del núcleo 93	92
5.21	Gráfico de la actividad del $^{210}\text{Pb}$ vs. Profundidad del núcleo 17	92
5.22	Relación de sedimentación del núcleo 93	97
5.23	Relación de sedimentación del núcleo 47	98
5.24	Relación de sedimentación del núcleo 17	99
5.25	Distribución de la concentración del $\text{SiO}_2$ en la zona de estudio	108



## INDICE DE FIGURAS



<b>Figura</b>	<b>TITULO</b>	<b>Pág.</b>
<b>5.26</b>	Distribución de la concentración del $Al_2O_3$ en la zona de estudio	<b>108</b>
<b>5.27</b>	Distribución de la concentración del CaO en la zona de estudio	<b>109</b>
<b>5.28</b>	Distribución de la concentración del $CO_3$ en la zona de estudio	<b>109</b>
<b>5.29</b>	Distribución de la concentración del $Fe_2O_3$ en la zona de estudio	<b>110</b>
<b>5.30</b>	Distribución de la concentración de la Materia Orgánica en la zona de estudio	<b>111</b>
<b>5.31</b>	Distribución de la concentración del Zn en la zona de estudio	<b>112</b>
<b>5.32</b>	Distribución de la concentración del Cr en la zona de estudio	<b>112</b>
<b>5.33</b>	Distribución de la concentración del Pb en la zona de estudio	<b>113</b>
<b>5.34</b>	Distribución de la concentración del Ni en la zona de estudio	<b>113</b>
<b>5.35</b>	Distribución de la concentración del Co en la zona de estudio	<b>114</b>
<b>5.36</b>	Distribución de la concentración del Cu en la zona de estudio	<b>115</b>
<b>5.37</b>	Comparación de las concentraciones de los elementos traza de fondo reportados por la Coastal and Restoration Division, con las concentraciones encontradas en los núcleos de los sedimentos estudiados.	<b>117</b>
<b>5.38</b>	Correlación del tamaño de grano con la concentración del % $Al_2O_3$	<b>118</b>
<b>5.39</b>	Normalización de la concentración del $Fe_2O_3$ en los núcleos de sedimentos analizados.	<b>119</b>
<b>5.40</b>	Normalización de la concentración del $K_2O$ en los núcleos de sedimentos analizados	<b>120</b>
<b>5.41</b>	Normalización de la concentración del MgO en los núcleos de sedimentos analizados.	<b>121</b>
<b>5.42</b>	Normalización de la concentración del $SiO_2$ en los núcleos de sedimentos analizados.	<b>122</b>
<b>5.43</b>	Normalización de la concentración del $TiO_2$ en los núcleos de sedimentos analizados.	<b>123</b>
<b>5.44</b>	Relación CaO/ $CO_3$ de los núcleos de sedimento.	<b>124</b>
<b>5.45</b>	Distribución vertical de los metales mayores, materia orgánica y carbonatos en el núcleo 47.	<b>125</b>
<b>5.46</b>	Distribución vertical de los metales traza en el núcleo 47	<b>126</b>
<b>5.47</b>	Distribución vertical de los metales mayores, materia orgánica y carbonatos en el núcleo 93.	<b>127</b>
<b>5.48</b>	Distribución vertical de los metales traza en el núcleo 93	<b>128</b>
<b>5.49</b>	Distribución vertical de los metales mayores, materia orgánica y carbonatos en el núcleo 17.	<b>129</b>
<b>5.50</b>	Distribución vertical de los metales traza en el núcleo 17.	<b>130</b>
<b>5.51</b>	Dendograma de variables del núcleo 47 de sedimento.	<b>132</b>



## INDICE DE FIGURAS



---

<b>Figura</b>	<b>TITULO</b>	<b>Pág.</b>
<b>5.52</b>	Mapa perceptual de las variables del núcleo 47 de sedimento.	<b>136</b>
<b>5.53</b>	Dendograma de variables del núcleo 93 de sedimento	<b>138</b>
<b>5.54</b>	Mapa perceptual de las variables del núcleo 93 de sedimento,	<b>142</b>
<b>5.55</b>	Dendograma de variables del núcleo 17 de sedimento	<b>144</b>
<b>5.56</b>	Mapa perceptual de las variables del núcleo 17 de sedimento	<b>148</b>
<b>5.57</b>	Dendograma de variables del núcleo 53 de sedimento	<b>150</b>
<b>5.58</b>	Mapa perceptual de las variables del núcleo 53 de sedimento.	<b>155</b>



## INDICE DE TABLAS

Tabla	TITULO	Pág.
2.1	Contaminantes potenciales de aguas marinas derivados de actividades humanas	8
2.2	Presiones sobre el medio ambiente marino	8-9
2.3	Clasificación de Weihaupt según el sitio de donde proviene el sedimento	12
2.4	Clasificación de Weihaupt según de la fuente de donde proviene el sedimento	13
2.5	Dimensiones de los sedimentos, según J. Boucart	14
3.1	Inventario de industrias que generan aguas residuales en la zona de estudio	33
3.2	Principales giros industriales responsables de las mayores descargas de agua residual	34
4.1	Ubicación de los núcleos de sedimento	37
4.2	Validación del método para la determinación de materia orgánica	44
4.3	Determinación de carbonatos de Calcio	46
4.4	Estándares de metales mayores para la curva de calibración contra la que se compararon las muestras de sedimento.	52
4.5	Exactitud del método de Fluorescencia de R-x, para metales mayores (n=4)	52
4.6	Precisión del método de Fluorescencia de R-x, para metales mayores (n=4)	53
4.7	Estándares de metales traza para la curva de calibración contra la que se compararon las muestras de sedimento.	53
4.8	Exactitud del método de Fluorescencia de R-x, para metales traza (n=4)	54
4.9	Precisión del método de Fluorescencia de R-x, para metales traza (n=4)	54
5.1	Distribución textural de los núcleos de sedimento	81
5.2	Relación de edades de cada perfil de los núcleos 47 y 93	100
5.3	Relación de edades de cada perfil del núcleo 17	101
5.4	Valores promedio $\pm$ desviación estándar de las concentraciones de los elementos mayores a lo largo de los núcleos 17, 53, 47 y 93.	105
5.5	Valores promedio $\pm$ desviación estándar de las concentraciones de los elementos traza a lo largo de los núcleos 17, 53, 47 y 93.	105
5.6	Valores promedio $\pm$ desviación de los elementos traza de los núcleos de sedimento, comparados con valores de fondo reportados por la Coastal Protection and Restoration Division, 1999. NOAA.	116
5.7	Análisis de Factores por Componentes Principales Núcleo 47	133
5.8	Rotación Varimax para las variables del Núcleo 47 de sedimento	134
5.9	Análisis de Factores por Componentes Principales Núcleo 93	139
5.10	Rotación Varimax para las variables del Núcleo 93 de sedimento	140



## INDICE DE TABLAS



---

<b>Tabla</b>	<b>TITULO</b>	<b>Pág.</b>
<b>5.11</b>	Análisis de Factores por Componentes Principales Núcleo 17	<b>145</b>
<b>5.12</b>	Rotación Varimax para las variables del Núcleo 17 de sedimento	<b>146</b>
<b>5.13</b>	Análisis de Factores por Componentes Principales Núcleo 53	<b>152</b>
<b>5.14</b>	Rotación Varimax para las variables del Núcleo 53 de sedimento	<b>153</b>



## Resumen

Las costas mexicanas, especialmente en las desembocaduras de los ríos son afectadas por las actividades antropogénicas que utilizan a estos sitios como tiraderos, los cuales transportan todo tipo de contaminantes al mar. Este es el caso que ocurre con el Río Pánuco que nace en el Estado de México cruzando una gran parte del territorio mexicano hasta desembocar en el Golfo de México. Durante su camino al mar, el Río Pánuco recibe los desechos de aguas industriales y municipales de las zonas industriales y urbanas por donde atraviesa.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de las descargas del Río Pánuco en la zona costera inmediata a su desembocadura a través del estudio geoquímico de núcleos de sedimento localizados en el área. Con esta finalidad se realizó un muestreo que se llevo a cabo a bordo del buque oceanográfico Justo Sierra (del 18 al 23 de febrero de 2002), estableciéndose una red de 32 estaciones localizadas al Norte y Sur de la desembocadura del Río Pánuco. Se colectaron cuatro núcleos de sedimento, la ubicación de cada uno de los núcleos se baso en los patrones de distribución textural de la zona. Los núcleos de sedimento se dividieron en fracciones de 1 cm y a cada una de las fracciones se le determinaron los elementos mayores  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$  y elementos menores Rb, Sr, Ba, Y, Zr, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn y Pb por espectrometría de Fluorescencia de Rayos-X, materia orgánica, carbonatos, textura, minerales presentes por Difractometría de Rayos-X y la actividad del radioisótopo  $^{210}\text{Pb}$  por espectrometría Gamma (de emisiones gamma de baja energía).

Se utilizó la relación de sedimentación para determinar la dinámica a la cual los sedimentos se fueron depositando en la zona de estudio y poder determinar en los estratos verticales de los núcleos con exactitud las épocas en que determinados contaminantes fueron depositados en las fracciones finas. Se determino que en la desembocadura del Río Pánuco existe una alta velocidad de sedimentación y perturbación de los sedimentos, debido a la influencia de las descargas de sedimento del Río Pánuco, mientras que al alejarse de la desembocadura del río el efecto disminuye considerablemente, encontrando además que los sedimentos mas lejanos de la desembocadura del Río Pánuco son los más antiguos con una edad cercana a los 185 años.



Con la normalización geoquímica (relaciones metal /Al) se pudo determinar la composición y el origen de los sedimentos de cada núcleo, así como las posibles contribuciones antropogénicas de metales traza en la zona de estudio. En la zona Noreste de la desembocadura se determinó la existencia de una zona de enriquecimiento de metales pesados, que coincide con las mayores concentraciones de las partículas más finas de los sedimentos (limos y arcillas), esta distribución se debe muy probablemente a las corrientes marinas debidas al fenómeno de la corriente de Lazo. Se determinó también que en años recientes ha existido un incremento considerable de Co en la zona a la desembocadura del Río Pánuco como lo sugieren las gráficas (metal/Al vs. profundidad).

Con el análisis multivariado se determinó que existen tres zonas importantes de sedimentos según su origen, que coinciden con la textura de la zona de estudio, la primera zona es la ubicada frente a la desembocadura del Río Pánuco donde se determinó que los sedimentos son de origen terrígeno provenientes del Río Pánuco, mientras que en el Noreste de la desembocadura del Río Pánuco se encuentra la segunda zona, la cual es una zona de enriquecimiento de metales traza que son transportados por las corrientes marinas desde la desembocadura del Río Pánuco y que se encuentran asociados a las partículas más finas de los sedimentos. La tercera zona se ubicó en la zona más alejada del Río Pánuco, mar adentro, encontrándose que esta zona está dominada por sedimentos de tipo biogénicos, presentando muy poca influencia del Río Pánuco.

El estudio de los sedimentos por lo tanto es de un gran interés científico ya que permiten inferir los procesos que se han llevado a cabo en un área determinada. Los núcleos de sedimentos son herramientas fundamentales para estudiar la geología y la geotecnia de un área y recientemente los núcleos de sedimentos se han utilizado para estudiar la relación de acumulación de sedimentos que existe en el tiempo en un área determinada, sirviendo a su vez para la investigación de la entrada de contaminantes en diferentes épocas a los sistemas acuáticos.

Se comprobó que los sedimentos que aporta el Río Pánuco al Golfo de México cambian al ser transportados por las corrientes marinas existiendo zonas de enriquecimiento de metales pesados y zonas que no son afectadas por las descargas del río esto gracias a las corrientes marinas existentes, además que se comprobó que el mar tiene un inmenso poder de disolución, pero mientras las descargas antropogénicas se incrementen por el acelerado desarrollo industrial y urbano de la zona, la zona del Golfo de México estudiada corre el peligro de ser una "zona muerta", como existe ya en la desembocadura del Río Mississippi.



## 1. INTRODUCCIÓN

La plataforma continental es una superficie sumergida, suavemente inclinada que se extiende desde la línea de costa hacia el borde de las cuencas oceánicas profundas. Dado que está sobre la corteza continental, se trata claramente de una extensión inundada de los continentes. Como media, la plataforma continental tiene 80km de ancho y 130m de profundidad en su borde orientado hacia más adentro. La inclinación media de la plataforma continental es sólo de una décima parte de un grado y una caída de alrededor de 2 metros por kilómetro (Tarbuck E.J., Lutgens F.K 2000).

Aunque las plataformas continentales representan sólo el 7.5% del área cubierta por los océanos, tienen una gran importancia económica y política, por que contienen importantes depósitos minerales, entre ellos grandes reservas de petróleo y gas natural, así como enormes depósitos de arena y grava. Las aguas de la plataforma continental contienen también importantes bancos de peces, que son fuentes significativas de alimento.

Los márgenes continentales donde yacen los ecosistemas costeros son regiones de notoria productividad biológica y fácil acceso. Esto las ha convertido en centros de actividad humana durante miles de años. Los ecosistemas costeros proporcionan todo un rango de bienes y servicios albergan los puertos de comercio más importantes; son los principales productores de pescado, mariscos y algas tanto para consumo humano como animal; y también constituyen una fuente importante de fertilizantes, sustancias farmacéuticas y cosméticas, productos para el hogar y materiales de construcción.

El océano, cumple un papel fundamental en la regulación de la hidrología y el clima, además de constituir un importante sumidero de carbono y fuente de oxígeno por su alta productividad. La belleza de los sistemas costeros los convierte en un imán para la gente, que busca las regiones litorales como lugar de residencia y también como sitio de descanso, diversión y turismo (World Resources 2000-2001).

En todo el mundo, el número de personas que viven dentro de la franja de 100km a partir de la costa aumentó desde aproximadamente 2000 millones en 1990 hasta 2200 millones en 1995, esto es, el 39% de la población total (Burke et al. 2000).

Sin embargo, el número de personas cuyas actividades afectan a los ecosistemas costeros es mucho mayor que la población que allí habita porque los ríos envían



## INTRODUCCIÓN



contaminantes desde las cuencas interiores, y gente hacia los estuarios y aguas costeras circundantes. A medida que las poblaciones del interior y zonas costeras continúan creciendo, es de esperar que los efectos de este crecimiento también sigan aumentando.

Los ecosistemas costeros tienen una gran importancia ya que prestan el servicio de preservar la calidad del agua filtrando o degradando contaminantes tóxicos, absorbiendo insumos de nutrientes y ayudando a controlar las poblaciones de patógenos. Pero la capacidad de los estuarios y costas para prestar estos servicios puede excederse fácilmente, por lo menos de tres modos.

- A. Los contaminantes tóxicos pueden acumularse en peces y mariscos en niveles tales que pongan en peligro la supervivencia de las especies y afecte la salud humana.
- B. Las aguas costeras contaminadas pueden albergar patógenos como el cólera y la Hepatitis A, que también representan un peligro para la salud.
- C. El exceso de insumos de nutrientes provenientes de la escorrentía urbana y agrícola y de los efluentes de las aguas residuales puede causar eutroficación, un fenómeno que permite que los nutrientes adicionales estimulen el rápido crecimiento de las algas. A medida que se descomponen, estos nutrientes a su vez agotan el nivel de oxígeno disuelto en el agua, producen zonas de anoxia lo cual daña o expulsa entonces a todas las especies salvo a las más resistentes.

El turismo en las zonas costeras tiene un enorme potencial para llevar desarrollo y prosperidad económica, incluyendo mejoras ambientales, a los destinos en que opera. Sin embargo, un turismo mal planificado y mal gestionado puede ocasionar daño a los propios recursos de los cuales depende. Entre los efectos adversos del turismo figuran el paisaje cicatrizado de las colinas invadidas por condominios y nuevas vías, la desecación de humedales y el desmonte de manglares para construir centros vacacionales; pérdida de área de playa y lagunas debido a la extracción de arena y a la contaminación, dragado y vertimiento de aguas residuales, y daño de los arrecifes coralinos por el anclaje de embarcaciones (UNEP/CEP 1994).



Las costas y océanos del mundo están siendo afectados por un vasto abanico de contaminantes. Éstos se pueden clasificar de manera amplia como químicos tóxicos (químicos orgánicos, metales pesados y desperdicios radiactivos, entre otros), nutrientes (principalmente fertilizantes agrícolas y lodos de desechos municipales), sedimentos y desperdicios sólidos. La contaminación bacteriana es un caso especial que por lo general se asocia a la contaminación por descargas urbanas. La contaminación por hidrocarburos (derrames y filtración) incluye compuestos orgánicos y metales.

La mayor parte de la contaminación de las aguas costeras proviene del continente, pero las fuentes atmosféricas y las marinas también contribuyen en parte (World Resources 2000-2001).

La contaminación por nutrientes, especialmente nitratos y fosfatos, ha aumentado de forma dramática durante el siglo XX. El uso cada vez mayor de fertilizantes, el aumento en el volumen de aguas residuales de origen doméstico e industrial, y el incremento de la acuicultura que libera cantidades considerables de desperdicios directamente al agua, son todos factores que contribuyen a este aumento (GESAMP 1990). A nivel local se han logrado mejoras en el terreno de la contaminación por nutrientes a través del tratamiento de aguas residuales y la prohibición de usar detergentes fosfatados (NOAA 1999; EAA 1999). Sin embargo, el Grupo Conjunto de Expertos sobre los Aspectos Científicos de la Contaminación Marina (GESAMP por sus iniciales en inglés) identificó la eutroficación marina causada por tales nutrientes como una de las causas más inmediatas de preocupación en este entorno particular (GESAMP 1990).

Aunque la agricultura contribuye en muchas formas a deteriorar la calidad del agua, la sedimentación y erosión antropogénica es un problema mundial que suele estar especialmente asociado a la agricultura. Si bien no hay cifras mundiales, es probable que la tala de los bosques para aumentar las áreas destinadas a la agricultura, los que es la causa de gran parte del aporte mundial de sedimentos a los ríos, lagos, estuarios y, finalmente, a los océanos mundiales.



### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de las descargas del Río Pánuco en la zona costera inmediata a su desembocadura a través del estudio geoquímico de núcleos de sedimento localizados en el área.

### OBJETIVOS PARTICULARES.

- Caracterizar los núcleos de sedimento de las zonas de estudio tomando en cuenta sus características texturales.
- Determinar la concentración de los elementos mayores en los núcleos de sedimento: Mn, Fe, Al, Si, Ca, Na, K, Ti, P y Mg.
- Determinar la concentración de los elementos traza en los núcleos de sedimento: Zn, V, Cu, Ni, Cr, Cd, y Pb.
- Determinar el carbono total de los núcleos sedimento.
- Determinar la concentración de carbonatos  $\text{CO}_3^{2-}$  en los núcleos de sedimento.
- Determinar la relación de sedimentación de los núcleos de sedimento por medio de la actividad isotópica del isótopo de plomo-210 ( $^{210}\text{Pb}$ ).
- Determinar las características mineralógicas de los sedimentos superficiales de cada núcleo.
- Determinar los cambios históricos en las concentraciones de los elementos mayores y traza en los núcleos de sedimentos.
- Determinar las probables zonas contaminadas en la zona costera inmediata a las desembocadura del Río Pánuco



### 2. ANTECEDENTES

México tiene alrededor de 11,592.76km de línea de costa en ambos océanos, en el Atlántico (8475.06km) y el en pacíficos (3117.71km) (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1999., citado por Rivera E. y Villalobos G. 2001). La gran extensión del litoral mexicano representa un rasgo sobresaliente de la fisiografía del país, que implica una gran variedad de ambientes costeros derivados de la interacción de procesos geológicos, oceanográficos y atmosféricos, que por lo tanto producen innumerables ecosistemas costeros.

En base en el desarrollo de las actividades económicas de las zonas costeras de México, estas pueden dividirse en 5 regiones importantes (Rivera E. y Villalobos G. 2001) (Fig.2), como a continuación se explican.

#### **Región I. Pacífico Norte.**

Esta región se caracteriza por la importante pesca de anchoas, sardinas, y atún; esta importante pesca se debe gracias a las ricas aguas en nutrientes y la alta productividad de la zona. Otra importante actividad económica de esta región es el turismo costero que ha aumentado recientemente. Las características más importantes de esta región son las numerosas bahías, como las de Guerrero Negro, Ojo de Liebre, San Ignacio y Magdalena. Estas bahías son también el lugar de nacimiento y desarrollo de las ballenas grises (*robustus de eschrichtius*), que se han visto amenazadas por las actividades de extracción de sal que se realizan en esta región.

#### **Región II. Mar de Cortes.**

Es una región se encuentra densamente poblada, y existen importantes puertos pesqueros como el de Guaymas, Mazatlán, Yavaros, Puerto Peñasco, y Topolobampo, como también puertos con actividades turísticas con todos los recursos e infraestructura para su desarrollo como en los puertos de Loreto, Los Cabos y La Paz. La zona costera de la Península es impactada por la actividad minera en Santa Rosalía y La Paz, mientras que la zona costera del continente recibe el escurrimiento de los desechos de las actividades agrícolas así como las de residuos municipales urbanos que finalmente tiene un efecto negativo en las zonas pesqueras. Un ejemplo de esto es el Río de Colorado que constituye un problema binacional en la frontera de



México-EUA con una alta contaminación de las aguas proveniente del norte de la región y que descargan en el Golfo de California.

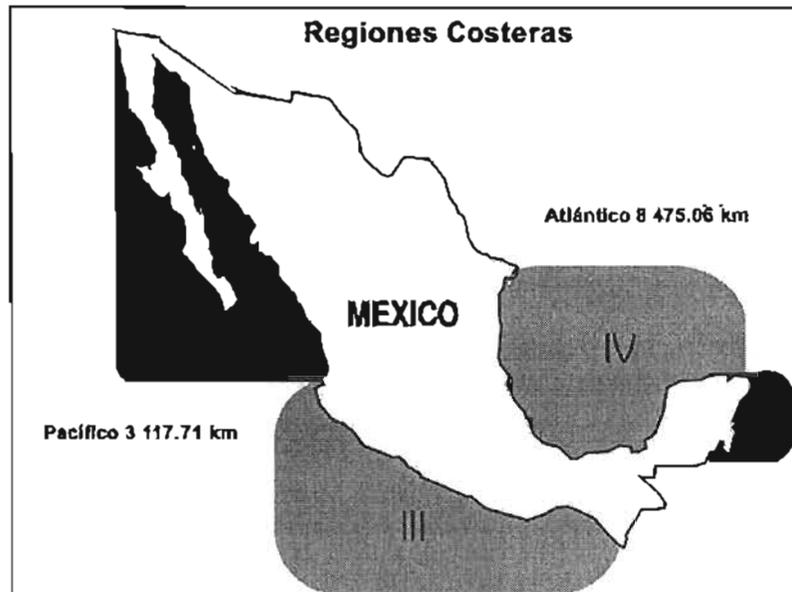


Figura (2.1). Regiones económicas costeras de la República Mexicana (Rivera E. y Villalobos G. 2001)

### Región III. Sur del Pacífico.

Esta región se caracteriza por tener importantes desarrollos turísticos en las ciudades de Manzanillo, Zihuatanejo, Ixtapa, Acapulco, Huatulco, y Puerto Ángel. Sin embargo, los recientes complejos industriales petroleros en las ciudades de Lázaro Cárdenas y Salina Cruz, comienzan a tener un importante desarrollo económico y esto ha comenzado a afectar el valor turístico que tiene esta región.

### Región IV. Golfo de México.

Esta región comprende la cuenca entera del Golfo de México, que tiene la plataforma continental más grande del país (más de 260 km), así como ricos campos petroleros explotables. En esta región se encuentran importantes puertos en las ciudades costeras de Tampico, Tuxpan, Veracruz, Poza Rica, Coatzacoalcos, Ciudad Carmen, y Progreso, donde se han desarrollado industrias pesqueras, de extracción de petróleo, refinerías petroleras y actividades de transporte.



El litoral sur del estado de Tamaulipas es de gran relevancia por constituir un área de recreación turística, así como por sus actividades pesqueras, sin embargo, esta zona está influenciada por las aguas del estuario del Río Pánuco, el cual es uno de los depositarios de lluvias de ciclones, y de gran cantidad de sustancias ajenas al medio, provenientes de las descargas municipales, industriales, petroquímicas y agrícolas de varios estados de la República Mexicana (incluido el D.F.), así como también por descargas de aguas residuales provenientes de industrias instaladas en el corredor industrial del municipio de Altamira, Tamaulipas, mismos que le ocasionan una serie de cambios biológicos, físicos y químicos (Secretaría de Marina, 2000).

### **Región V. Mar Caribe.**

Esta región cuenta con unas características ambientales que favorece a las actividades turísticas; algunos de los sitios más importantes son Cancún, Cozumel, Isla Mujeres, el corredor Cancún-Tulum, Playa del Carmen y la Riviera Maya. La alta transparencia y las temperaturas calidas del agua han permitido la formación de la última sección de la barrera de arrecifes coralinos de Mesoamerica, el segundo más grande del mundo, el cual crece a lo largo de la plataforma continental. Junto a estas características ambientales, existen numerosos sitios arqueológicos de gran importancia como los Tulum, X'caret, y Xel-ha, entre otros, que contribuyen a hacer de esta región muy atractiva para el turismo.

### **2.1 Impacto ambiental en las zonas costeras.**

La degradación del medioambiente causada por el crecimiento económico desordenado, es actualmente uno de los más graves problemas en las regiones costeras de México (Secretaría de Marina, 2000).

A través del tiempo se ha acostumbrado a depositar los desechos urbanos y otras basuras en las lagunas costeras, ríos, estuarios y/o mar (Tabla 2.1). Debido a la alta dinámica de los sistemas acuáticos especialmente en la zona costera que los efectos de estos desechos no eran perceptibles; no es sino hasta los últimos años con el marcado incremento poblacional y con la introducción de compuestos químicos nuevos más persistentes que ha empezado a ser evidente el impacto de las descargas terrestres en el océano.

## ANTECEDENTES



Tabla (2.1). Contaminantes potenciales de aguas marinas derivados de actividades humanas. (INEGI a. Estadísticas del medio ambiente. México 1994)

Fuente	Contaminación (%)
Producción mar adentro	1
Transportación marítima	12
Residuos	10
Derrame y deslaves de tierra	44
Contaminación de la atmósfera	33

A lo largo de las costas mexicanas, especialmente en las desembocaduras de los ríos, así como en las áreas costeras afectadas por las actividades antropogénicas el tipo de contaminantes varía, así como sus efectos. En la tabla (2.2) se resumen algunos de los productos contaminantes en las zonas costeras, sus orígenes y efectos (Secretaría de Marina, 2000).

Tabla (2.2). Presiones sobre el medio ambiente marino. (INEGI a. Estadística del medio ambiente. México. 1994)

Presión	Substancias o actividad	Mayores fuentes antropogénicas	Efectos potenciales
Ingreso de residuos a los océanos	Nutrientes	Aguas negras, agricultura, acuicultura, industria.	Eutroficación.
	Patógenos	Aguas negras, agricultura	Enfermedades e infección, contaminación de mariscos.
	Petróleo	Industria, aguas negras, embarques, automóviles, derrame urbano.	Contaminación de: Aves y animales, alimentos marinos, playas.
	Componentes orgánicos sintéticos.	Industria, aguas negras, agricultura, silvicultura.	Disfunción metabólica
	Desperdicios radioactivos	Pruebas de armas nucleares, reprocesamiento de combustible nuclear, descargar a los océanos debido a accidentes en estaciones generadoras de energía nuclear.	Disfunción metabólica.
	Residuos de metales.	Industria, drenaje, descargas en los océanos, automóviles	Disfunción metabólica.
	Plásticos y desperdicios	Basura, desecho de barco, equipos de pesca perdidos	Enmarañamiento de la vida salvaje, interferencia digestiva
	Desperdicios sólidos (orgánicos e inorgánicos)	Aguas negras, descargas en los océanos, industria	Reducción de oxígeno, hábitat sofocante



## ANTECEDENTES



CONTINUACIÓN. (INEGI a. Estadística del medio ambiente. México, 1994)

Presión	Sustancia o actividad	Mayores fuentes antropogénicas	Efectos potenciales
Reestructuración ambiental	Desarrollo costero.	Dragado, industrial, residencial y desarrollo turístico.	Pérdida de estética y hábitat, erosión costera
Explotación de recursos	Recolección de peces y mariscos	Actividades de recolección	Agotamiento de existencias, cambios en los ecosistemas.
	Desarrollo petrolero.	Perforación, accidentes.	Contaminación de petróleo y químicos
	Desarrollo mineral	Dragado, eliminación de residuos, extracción	Decrecimiento de la calidad del agua, erosión costera
Impactos por cambio atmosférico	Dióxido de carbono, CFC's, otros gases de invernadero	Producción de energía, transportación, agricultura, industria.	Crecimiento del nivel del mar, inundación costera, pérdida de pantano, daños a la infraestructura, alteración del hábitat, decrecimiento de la productividad oceánica.

El problema básico de la contaminación por desechos vertidos al mar, está asociado al concepto de utilizar al mar como un vertedero universal dado su gran poder de dilución de contaminantes. Las tendencias de los últimos años, indica un incremento de la contaminación en las zonas costeras, y una menor captura de especies de peces marinos afectados por la pesca excesiva y la alta contaminación presente (INEGI b, 1994).

En algunas regiones como América del Norte y Europa, la contaminación por metales pesados y químicos tóxicos ha disminuido en décadas recientes paralelamente con la disminución en el uso de estos compuestos, aunque de todas maneras los químicos tóxicos continúan siendo un problema en todo el mundo (NOAA 1999; EEA 1998). También existen avances en lo que se refiere a reducir el volumen de derrames de hidrocarburos en los océanos. El número de derrames como la cantidad derramada han disminuido considerablemente desde la década de los años setenta (ITOPF 1999; Etkin, 1998). Lo cierto es que aunque los derrames de petróleo transportado en buques pueden ser catastróficos, no constituyen la fuente principal de contaminación por hidrocarburos; la escorrentía y el mantenimiento de rutina de las instalaciones petroleras dan cuenta de más del 70% del total de petróleo que se vierte en el océano cada año (National Research Council 1985).

En 1996 un estudio llevado a cabo por Island Resources Foundation estableció que el turismo era una de las fuentes principales de contaminación por aguas residuales y residuos sólidos, así como uno de los causantes principales de erosión y sedimentación en los litorales (IRF 1996).



### 2.2 El papel de los sedimentos en las zonas costeras.

La disponibilidad de los metales pesados para asociarse a la biota, depende de la forma química en que se encuentra el metal tanto disuelto como en los sedimentos. Los sedimentos actúan como reservorios naturales de los contaminantes (Goms, 1983., citado por Secretaria de Marina, 2000) y los hacen disponibles al cambiar las características fisicoquímicas del medio.

La contribución de los sedimentos a la contaminación química está vinculada al tamaño de las partículas de los sedimentos y al volumen del carbono orgánico en partículas asociado con los sedimentos. Se suele considerar que la fracción químicamente activa de un sedimento es la que mide menos de 63  $\mu\text{m}$  (limo-arcilla). En el caso del fósforo y los metales, el tamaño de las partículas es de importancia decisiva, debido a la gran superficie externa de las partículas muy pequeñas. El fósforo y los metales suelen tener fuerte atracción a los lugares de intercambio de iones, que están asociados con las partículas de arcilla y con los recubrimientos de hierro y manganeso que se dan normalmente en estas partículas pequeñas. Muchos de los contaminantes persistentes, bioacumulados y tóxicos, especialmente los compuestos clorados incluidos en muchos plaguicidas, están fuertemente asociados con los sedimentos y en especial con el carbono orgánico transportado como parte de la carga de sedimentos de los ríos (Ongley E.D 1997).

Milliman y Syvitski (1992) estiman que la carga mundial de sedimentos en los océanos en los años centrales del siglo XX fue de 20.000 millones de t/año, de las que aproximadamente el 30 por ciento procede de ríos de Asia meridional (en particular los ríos Yangtze y Amarillo, de China). Es significativo que, en su opinión, casi el 50 por ciento del total mundial procede de la erosión asociada a los altos relieves en las islas de Oceanía - fenómeno que no se ha valorado suficientemente en anteriores estimaciones de la producción mundial de sedimentos. Si bien la erosión en las islas montañosas y en las zonas altas de los ríos continentales es resultado de las influencias topográficas naturales, Milliman y Syvitski consideran que las influencias humanas en Oceanía y Asia meridional producen cargas de sedimentos desproporcionadamente elevadas en esas regiones.



### 2.3 Importancia de los sedimentos marinos

Los estudios de sedimento por lo tanto son de interés científico ya que permiten inferir los procesos que se han llevado a cabo en un área determinada. Los núcleos de sedimentos son herramientas fundamentales para estudiar los procesos que han afectado un área a través del tiempo. Recientemente los núcleos de sedimentos se han utilizado para estudiar la relación de acumulación de sedimentos que existe en el tiempo en un área determinada, también los núcleos de sedimentos han servido para la investigación de la entrada de contaminantes en diferentes épocas a los sistemas acuáticos utilizando para tal efecto técnicas isotópicas. Los depósitos de sedimentos por lo tanto pueden dar la clave para el entendimiento de la historia de la tierra, especialmente un valor para la reconstrucción de las condiciones ambientales del pasado de los continentes y océanos. En particular, la composición cualitativa y cuantitativa de los componentes sedimentarios refleja las condiciones de su propia formación (Fütterer D.K, 2000., citado por Schulz H., Zabel M. 2000).

Las fuentes de donde proceden los sedimentos marinos son los continentes, el propio océano y la atmósfera. La mayor parte de ellos se deriva de la erosión de la tierra continental; es decir, del desgaste de las rocas (gneas, metamórficas y sedimentarias, que finalmente son transportadas hasta el mar por los ríos. Los sedimentos de origen oceánico están constituidos por los restos de los organismos que viven en él, así como por las partes que se desprenden de los volcanes submarinos a causa de las corrientes y de la desintegración por acción química. De la atmósfera proceden gases como el bióxido de carbono, que contribuyen a estructurar las calizas marinas, las cuales forman a su vez fangos calcáreos en los fondos marinos (Cifuentes J.L. et al, 1997).

Los sedimentos son importantes en el transporte de metales traza en un ciclo hidrológico (Salomón y Förstner, 1984) pueden reflejar a su vez la calidad actual de los sistemas acuáticos. Se han investigado por muchos autores como: Tessier (1982), Stumm y Morgan (1981), Förstner y Pachineelam (1980), a través de análisis comparativos en secciones longitudinales y núcleos de sedimentos, la determinación de anomalías en la concentración total de metales en zonas de mineralización y en zonas receptoras de aguas de desecho.

El análisis de sedimentos juega un papel importante en los estudios ambientales, ya que es insuficiente considerar únicamente los análisis de agua para precisar el grado



de contaminación de está (Whitman, 1983). Los sedimentos son, dependiendo de las condiciones ambientales, receptores de metales traza (Gibbs, 1973, Farmer y Linton, 1984), sin embargo no permanecen fijos en los sedimentos, ya que pueden ser reciclados por agentes biológicos y químicos (Florence y Batley, 1979, Förstner, 1984., citado por Barceló I. 1998); el reciclaje de materia orgánica mineralizada es un componente esencial de los modelos que describen la dinámica de los nutrientes y de los contaminantes en los sistemas acuáticos. Förstner (1990), considera cuatro factores importantes que afectan la solubilidad, movilidad y disponibilidad de los metales asociados a las partículas de los sedimentos:

1. Aumento en la concentración salina que impacta en la competencia de los sitios activos de adsorción de los sólidos y la formación de cloruros complejos formados con metales traza.
2. Disminución del pH localmente proveniente por ejemplo de los afluentes mineros y de la lluvia ácida.
3. Aumento de los agentes acomplejantes naturales y sintéticos, provenientes de desechos urbanos e industriales, que pueden formar complejos solubles, algunos muy estables.
4. Cambio en las condiciones de oxidación-reducción, por ejemplo, depósitos arenosos de materiales anóxicos contaminados.

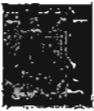
**2.4 Clasificación de los sedimentos marinos.**

La clasificación de los sedimentos marinos ha sido muy variada; las más aceptadas son las que se basan en la localidad donde se deposita el sedimento y la fuente marina de donde procede.

Y según del sitio de donde provienen, se clasifican, de acuerdo con J. G. Weihaupt (1964) (Tabla 2.3):

Tabla (2.3) Clasificación de Weihaupt según el sitio de donde proviene el sedimento (1964)

Provincia	Profundidad	Tipo de sedimento
Litoral	De alta a baja mar	Arena de playa
Nerítico	hasta 200 metros	Arrecifes coralinos
Batial	de 200 a 3700 metros	Limo y lodo, fangos calcáreos
Abisal	de 3700 a 6000 metros	Fangos silíceos, arcilla marrón
Hadal	+ de 6000 metros	Limo y arcilla marrón



Y según el origen de donde provienen, se clasifican conforme al mismo autor en Tabla (2.4):

Tabla (2.4). Clasificación de Welhaupt según la fuente de donde proviene el sedimento (1964)

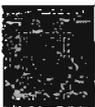
Fuente	Sedimento	Tipo de sedimento
Continental	Terrígeno	Arenas cuarcíticas y de feldespatos, barros de deltas y de estuarios
Biológica	Biógeno	Fangos calcáreos
Hidrogenica	Hidrogenicos	Nódulo de manganeso, glauconita
Extraterrestres	Cosmogenicos	Componentes de arcilla marina marrón

Los sedimentos que se depositan en los fondos oceánicos, forman diferentes capas, llamadas estratos, que se colocan de diversas formas, generalmente paralelos, de acuerdo con el tipo de sedimento y las características del ambiente en donde está ocurriendo el proceso.

Las corrientes de deriva, son el resultado de la acción oblicua del oleaje sobre el litoral, transportan materiales sedimentarios en dirección a la costa. Los fragmentos así transportados varían en cuanto a su composición y tamaño, pero fundamentalmente son de tipo arenoso y arcilloso. El hecho de que estos materiales se depositen tanto en sentido transversal como longitudinal a la costa constituye un punto de referencia para establecer sus tamaños.

Los de mayor tamaño, como los grandes trozos de roca, llamadas cantos; de tamaño medio que el agua rueda, gravas o gravillas; y las arenas gruesas o medianas que permanecen cerca de la costa, constituidos principalmente por polvos, precoloides y coloides, son llevados mar adentro.

Las costas son caracterizadas por la acumulación de materiales sedimentarios. Cuando en ellas se deposita fundamentalmente arena, considerado como el sedimento más abundante en las costas del mundo, se forman las llamadas playas. Dichos materiales se establecen generalmente en lugares abrigados, como los fondos de ensenadas o bahías donde las corrientes marinas pierden fuerza. Los granos de arena son producto casi siempre de la desintegración de granitos, formados principalmente por cuarzo, cuyo tamaño varía de 2 milímetros a 50 micras (Tabla 2.5) (Schulz H., Zabel M. 2000).



## ANTECEDENTES



Tabla (2.5).Escala de tamaño de grano y clasificación textural. Según Udden-Wentworth US Standar (citado por Schulz H., Zabel M. 2000).

Tipo	Tamaño en milímetros (mm)	Valor phi ( $\phi$ )
Canto rodado	1024	-10
	512	-9
Piedras redondeadas	256	-8
	128	-7
	64	-6
	32	-5
Guljarros	16	-4
	8	-3
	4	-2
	3.36	-1.75
Gránulos	2.83	-1.5
	2.38	-1.25
	2.00	-1.0
	1.68	-0.75
Arena muy granulada	1.41	-0.5
	1.19	-0.25
	1.00	0.0
	0.84	0.25
Arena granulada	0.71	0.50
	0.59	0.75
	0.50	1.00
	0.42	1.25
Arena media	0.35	1.50
	0.3	1.75
	0.25	2.00
	0.21	2.25
Arena fina	0.177	2.50
	0.149	2.75
	0.125	3.00
	0.105	3.25
Arena muy fina	0.088	3.50
	0.074	3.75
	0.0625	4.00
	0.053	4.25
Limo granular	0.044	4.50
	0.037	4.75
	0.031	5.00
	Limo medlo	0.0156
		5.50
		5.75
		6.00
Limo fino	0.0078	6.25
		6.50
		6.75
		7.00
Limo muy fino	0.0039	7.25
		7.50
		7.75
		8.00
Arcillas	0.00200	9.0
	0.00098	10.0
	0.00049	11.0



## 2.5 Tipos de sedimentos

### 2.5.1 Sedimentos Terrígenos.

El sedimento terrígeno consiste fundamentalmente en granos minerales que fueron meteorizados de las rocas continentales y transportados al océano. Las partículas de tamaño arena se depositan cerca de la costa. Sin embargo, dado que las partículas muy pequeñas tardan años en depositarse en el fondo oceánico, pueden ser transportadas millares de kilómetros por las corrientes oceánicas. Por consiguientes, prácticamente todas las partes del océano reciben algún sedimento terrígeno. El ritmo al cual este sedimento fino se acumula en el fondo oceánico es, sin embargo, muy lento. Se necesitan de 5,000 a 50,000 años para que se forme una capa de 1 centímetro. A la inversa, en los márgenes continentales cerca de las desembocaduras de los grandes ríos, el sedimento terrígeno se acumula rápidamente. En el Golfo de México, por ejemplo, los sedimentos han alcanzado una profundidad de muchos kilómetros.

Dado que las partículas finas siguen suspendidas en el agua durante mucho tiempo, hay muchas oportunidades de que se produzcan reacciones químicas. Por ello el color de los sedimentos submarinos es a menudo rojo o marrón. Esto se produce cuando el hierro de la partícula o del agua reacciona con el oxígeno disuelto en el agua y produce un revestimiento de óxido de hierro (patina) (Tarbuck E.J., Lutgens F.K., 2000).

### 2.5.2 Sedimentos biogénicos.

El sedimento biogénico consiste en caparazones y esqueletos de animales marinos y plantas. Estos restos los producen fundamentalmente los microorganismos que viven en las aguas bañadas por el Sol próximas a la superficie oceánica. Sus restos, literalmente, "llueven" constantemente sobre el fondo oceánico.

Los sedimentos biogénicos más comunes se conocen como fango calcáreo ( $\text{CaCO}_3$ ) y, como su nombre indica, tiene la consistencia de lodo grueso. Esos sedimentos son producidos por organismos que habitan aguas superficiales calidas. Cuando las partes calcáreas duras se hunden lentamente atravesando una capa fría de agua, empiezan a disolverse. Esto es debido a que el agua fría de mar es rica en dióxido de carbono



(CO<sub>2</sub>) y, por tanto, es más ácida que el agua cálida. En las aguas profundas, a más de 4,500 metros, los caparzones calcáreos se disolverán por completo antes de alcanzar el fondo. Por consiguiente, en las cuencas submarinas profundas no se acumula fango calcáreo. Otros sedimentos biogénicos son el fango silíceo (SiO<sub>2</sub>) y los materiales ricos en fosfato. Los primeros están compuestos fundamentalmente de esqueletos opalinos de diatomeas (algas unicelulares) y radiolarios (animales unicelulares), mientras que los últimos derivan de los huesos, dientes y escamas de peces y otros organismos marinos (Tarbuck E.J., Lutgens F.K., 2000).

Entre los organismos que aportan sílice a los sedimentos marinos destacan las diatomeas, que cuando se acumulan y sedimentan reciben el nombre de fango de diatomeas, y los animales que proporcionan este sílice son los radiolarios formando el fango de radiolarios. Las diatomeas se localizan a profundidades promedio de 3 900 metros, mientras los radiolarios llegan hasta los 5 500 metros (Fig. 2.2) (Cifuentes J.L. et al, 1997).

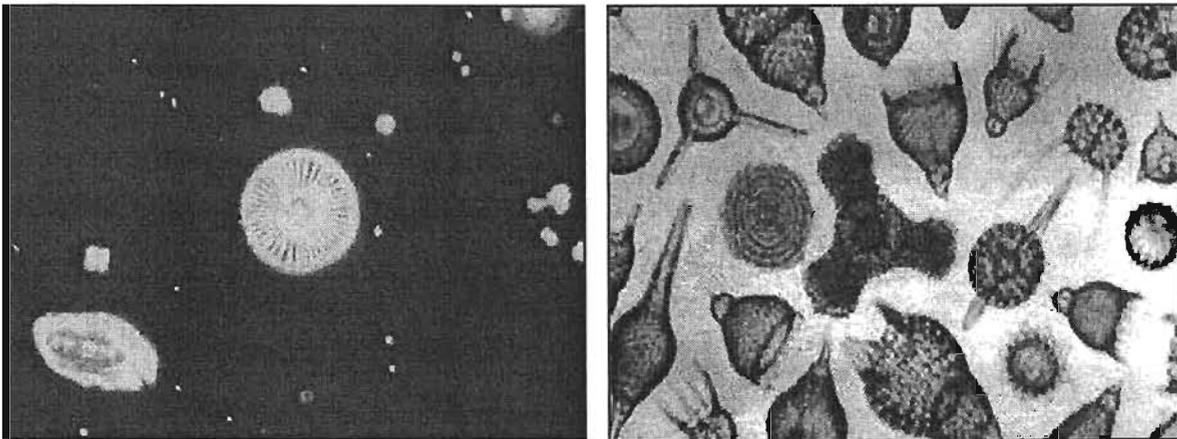


Figura (2.2). Diatomeas y radiolarios.

Los sedimentos ricos en carbonato de calcio están formados por restos de foraminíferos, coccolitofóridos y pterópodos. Entre los foraminíferos, los más abundantes son las globigerinas, pequeños animales que tienen una concha que mide medio milímetro, y está constituida por cámaras globulares. A estos sedimentos se les conoce como fango de foraminíferos o globigerinas (Fig. 2.3) (Cifuentes. J.L. et al, 1997).

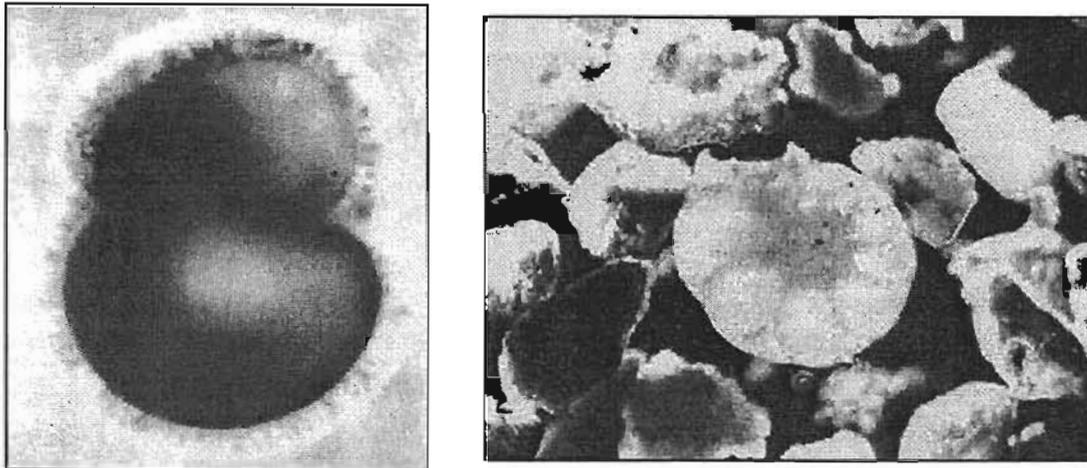


Figura (2.3). Foraminíferos.

### 2.5.3 Sedimentos hidrogénicos.

El sedimento hidrogénico consisten en minerales que cristalizan directamente a partir del agua del mar a través de varias reacciones químicas. Por ejemplo algunas arcillas se forman cuando el carbonato de calcio precipita directamente desde el agua; sin embargo, la mayor parte de la caliza está compuesta por sedimento biogénico. Uno de los principales ejemplos de sedimento hidrogénico, y unos de los sedimentos más importantes del fondo oceánico en términos potenciales de potencial económico, son los nódulos de manganeso. Se trata de nódulos redondeados negruzcos compuestos por una mezcla compleja de minerales que se forman muy despacio sobre los suelos de las cuencas oceánicas (Tarbuck E.J., Lutgens F.K., 2000).

### 2.5.4 Sedimentos Cosmógenos

Los sedimentos cosmógenos son fragmentos de material extraterrestre que entran constantemente a la atmósfera de la Tierra (Libes, 1992). Las pequeñas partículas cosmogénicas (polvo cósmico) son producidas por la fragmentación de meteoritos que entran a la atmósfera de la Tierra.

El polvo cósmico se produce por la fusión de minúsculos meteoritos y de la parte superficial de los grandes cuando éstos entran en la atmósfera externa, y constantemente está cayendo sobre la superficie terrestre.



Las partículas mayores de polvo cósmico son minúsculas esferas que rara vez sobrepasan el tamaño de 0.1 milímetro de diámetro. Estas minúsculas bolitas llamadas microctitas son magnéticas y contienen proporciones importantes de hierro, níquel, cobalto y cobre (Holmes A. et al. 1987).

### **2.5.5 Sedimentos antropogénicos.**

Los sedimentos antropogénicos son aquellos que debido a las actividades humanas son introducidos al océano. El ser humano ha acelerado grandemente la velocidad de introducción de partículas terrígenas al océano. La mayoría de este material es la erosión del suelo como resultado de la deforestación y de la agricultura. En algunos lugares, se han represado los ríos y se ha detenido la entrada de partículas de origen terrígeno al océano, creando con esto sedimentos relicticos y erosionando las riberas. El vertido de desechos municipales ha aumentado la materia orgánica grandemente de algunos sedimentos costeros y aguas, causando con esto episodios periódicos de anoxia en las zonas costeras (Libes, 1992).



### 2.6 Estudios a nivel mundial.

De los estudio a nivel mundial se eligieron tres de los estudio más próximos al tipo de investigación que se trata en este trabajo, como el estudio de metales traza y mayores en núcleos de sedimentos marinos y el manejo e interpretación de la actividad del isótopo de plomo-210 ( $^{210}\text{Pb}$ ), para el fechamiento de sedimentos y la determinación de la relación de sedimentación.

**Zoumis T., et al. (2001).** Determinaron la potencial movilidad y peligro de los sedimentos contaminados de metales pesados y químicos orgánicos como el clorobenceno y DDT. Analizaron varios núcleos de sedimento muestreados en el embalse de Mulde ubicado en Saxony, Alemania; para determinar los metales pesados (Zn y Cd) y los compuestos orgánicos (clorobenceno y DDT).

Encontraron que al comparar núcleos de sedimentos anoxicos y oxicos existe una potencial remoción del Zn y del Cd, de los sedimentos anoxicos a los oxicos, debido a la bioturbación o resuspensión de los sedimentos por las inundaciones. Determinaron que el promedio de concentración del Zn en los depósitos sedimentarios del embalse es de 1.5 g/kg y que durante un proceso de oxidación como lo son las inundaciones, varias toneladas de sedimentos pueden perturbarse y oxidarse, dando como consecuencia una remoción de Zn hasta del 75%.

Realizaron una extracción secuencial para describir el comportamiento de los metales pesados en los diferentes componentes mineralógicos de los sedimentos, encontraron que existe una remoción de Zn y Cd en los sedimentos, en la fracción estable (orgánico-sulfuroso) el Zn y el Cd decrecen de 10% a 3% y de 35% a 5% en concentración, respectivamente. Simultáneamente en la fracción carbonatada de los núcleos de sedimento aumento de 3% a 12% para el Cd y de 10% a 22% para el Zn. Además encontraron que los contaminantes orgánicos (clorobenceno y DDT) también pueden ser removidos de los sedimentos con características oxicas.

**Ligero R.A. et al. (2002).** Estudiaron la evolución de la concentración de los metales pesados Pb, Zn, Cd y Hg en la Bahía de Cádiz, al Suroeste de España, durante el último siglo como resultado de la influencia industrial de la zona.

Para este estudio se tomaron perfiles de sedimento extraídos del lecho marino y se fecharon utilizando los radionuclidos de  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{137}\text{Cs}$ , tomándose las muestras de sedimentos hasta una profundidad que correspondió a una edad de 115 años. Determinaron que la relación de sedimentación se encuentra alrededor de 0.2 cm/año.



Con esta investigación determinaron que la concentración de metales pesados en los sedimentos en la Bahía de Cádiz presentaba un aumento en la segunda mitad del siglo veinte esto debido como consecuencia a las actividades industriales y a los desechos urbanos. Los metales Pb (10-45 ppm), Zn (50-150 ppm) y Hg (1 ppm) se encontraron en una concentración moderadamente alta, considerándose por las normas de la USEPA (United States Environment Protection Agency) como una contaminación moderada.

Los perfiles de las concentraciones de estos metales con respecto a la profundidad pueden ser usados para estudiar la evolución de estos metales con respecto al tiempo durante los últimos siglos. La concentración del Cd (0.05-0.5 ppm) no rebasa la norma de la USEPA para ser considerado como una contaminación moderada, sin embargo el perfil de la concentración del Cd no puede ser usado para estudiar la evolución de este metal con respecto al tiempo debido a que el Cd presenta una difusión a través del núcleo de sedimento.

**Lee S.V., Cundy A.B. (2001).** Investigaron las propiedades geoquímicas de núcleos de sedimento muestreados en zonas pantanosas y de marismas en el Estuario de Humber, Inglaterra.

Para esta investigación se muestrearon diez núcleos de sedimento de los cuales determinaron las concentraciones de metales mayores y traza para cada núcleo.

Determinaron la distribución vertical de los radionuclidos  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{137}\text{Cs}$  para conocer la relación de acumulación de los sedimentos.

Las superficie intersticial de los sedimentos mostraron una elevada concentración de elementos traza y mayores, incluyendo Pb (46-127 ppm), Zn (78-344 ppm), Cu (<3-60 ppm), y Al, Mn y Fe que fueron asociados a los minerales presentes. Las mayores concentraciones de estos elementos en los sedimentos de pantano y de marisma se encontraron donde los tamaños de grano de los sedimentos eran los más finos (< 8 micras).

La datación de los sedimentos de las marismas indico que hay relación de sedimentación de 0.4 cm/año.

La remobilización de metales pesados fue aparentemente muy limitada, y los sedimentos de las marismas pudieron suministrar un record histórico de las entradas de contaminantes al estuario.

En los sedimentos de los pantanos, el mezclado local, la resuspensión y la erosión, fueron el resultado de la existencia de un entremezclado de los horizontes sedimentarios encontrados en los perfiles de estos sedimentos.



Por tal efecto la distribución vertical de los metales pesados, en los sedimentos de los pantanos, son relativamente erráticos, Pb (28-145 ppm), Zn (88-395 ppm), Cu (<3-83 ppm), y por lo tanto los sedimentos de los pantanos fueron inconvenientes para realizar el estudio histórico para conocer las tendencias de la contaminación.

### 2.7 Estudio previos en la zona de estudio

**Stanimirova I., et al. (1999).** Realizaron un análisis ambiental de los datos obtenidos de muestras de sedimentos muestreados a lo largo de las costas del Golfo de México en los Estados Unidos de América. Tomaron tres muestras para determinar compuestos orgánicos, tres para compuestos inorgánicos y tres para la estimación del tamaño de grano. Los sedimentos se muestrearon a una profundidad de entre 0.1m y 3m, y a una distancia de la línea de costa de 1m a 400m.

Diseñaron una matriz de datos de tamaño 123 x 16 y utilizaron la técnica estadística de análisis multivariado a los datos de los sedimentos muestreados, obteniendo cuatro factores. El primer factor fue llamado como "inorgánicos naturales" que presento una carga estadística del 39.24%, el segundo factor fue nombrado como "inorgánico antropogénico" que presento una carga estadística del 23.17%, el tercer factor se llamo como "bioorgánico" presentando una carga estadística del 10.77%, y por último el cuarto factor se llamo "orgánicos antropogénicos" con una carga estadística del 10.67%. La separación de la contribución de cada parámetro químico se logra dentro del marco del origen natural u origen antropogénico de los metales pesados respectivos o a la materia orgánica de los procesos de formación de los sedimentos.

El modelo sugiere la división de los componentes naturales de las influencias de origen antropogénico y esto permite de una manera que cada participante en el proceso de formación de los sedimento se use como marcador de los efectos naturales o efectos de origen antropogénico.



**Hudson P. F. (2003).** Este estudio proporciona un análisis detallado de la descarga (Q) y la dinámica del transporte de los sedimentos suspendidos para la cuenca baja del Pánuco, incluyendo la parte baja del Río Moctezuma, el Río Tamuin y el Río Pánuco. En este trabajo se examinaron diariamente los valores de descargas (Q) y la concentración de los sedimentos suspendidos (SSC) en tres estaciones de muestreo, medidas desde finales de 1950 y hasta principios de 1990.

El régimen anual de avenidas para el Río Panuco en Las Adjuntas refleja los modelos de la precipitación regionales para el oriente de México. Estacionalmente, las avenidas más grandes se presentan entre junio y octubre, disminuyendo en noviembre, y son uniformemente bajas en los meses de octubre a Abril.

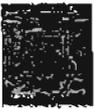
Se determino que la concentración del sedimento más alta es de 46 mg/l y ocurre en el mes de Junio, al comienzo de la estación lluviosa. La carga media del sedimento diaria es de  $1733 \times 10^3$  toneladas en septiembre, que se encuentra asociada con los grandes volúmenes de flujo. La mayoría de las avenidas y el suministro de sedimentos proporcionados al Panuco provienen de la cuenca de Moctezuma.

**Lira J. et. al. (1997).** En este trabajo caracterizaron la distribución espacial de los sedimentos en la zona costera localizada frente al área de Tampico-Altamira. Este estudio se baso en el análisis digital de dos imágenes multiespectrales del satélite Landsat-5, datos colectados en campo y técnicas de visualización de datos.

Las imágenes usadas fueron de Octubre de 1990 y de Octubre de 1992 donde para obtener los mapas temáticos se empleo el algoritmo de análisis de cluster de ISODATA, de donde se obtuvieron las cartas espaciales usadas para tierra firme y para cuerpos de agua con coordenadas geográficas.

En el análisis de las imágenes se obtuvieron que el complejo lagunero de Champayán y laguna La Vega Escondida; presentaban un bajo nivel de sedimentos y que son relativamente libres de la influenciada del Río Pánuco. La laguna Marismas mostró una gran dinámica de sedimentos que recibe las descargas de la zona industrial de Altamira.

Determinaron que la cercanía de las lagunas al mar, su conexión al Río Pánuco y la escasa diferencia en la elevación del área, genera una dinámica de intercambio notable de sedimentos de las cartas espaciales, de tierra firme y de los cuerpos de agua. El procesamiento de imágenes muestra claramente el complejo sistema donde el agua de la zona costera, el Río Pánuco y el conjunto de lagunas tienen una interacción muy estrecha.



**Secretaria de Marina (1998).** En este estudio determinaron el impacto ambiental en la zona costera del sur de Tamaulipas por la influencia del estuario del Río Pánuco.

Para esta investigación ubicaron ocho puntos de muestreo distribuidos a lo largo de los 18 kilómetros del canal de navegación del Río Pánuco y cuatro puntos de muestreo distribuidos en un área de 22 millas sobre la línea de costa y 13 millas mar adentro.

En el análisis de sedimentos encontraron que el contenido de nutrientes y metales pesados es variable a lo largo del río y en las diferentes épocas del año. Encontraron que los principales aportadores de nutrientes y metales pesados en el estuario del Pánuco, es el complejo hidrológico lagunero, compuesto por el Río Tamesí, la Laguna del Chairel, la Laguna Pueblo viejo y la Laguna del Carpinteiro, cuya aportación parece más importante que la del Río Pánuco antes de llegar a este complejo.

Encontraron que el contenido de nutrientes ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ , Orto- $\text{PO}_4$  y  $\text{SiO}_2$ ) en los sedimentos del Río Pánuco era mucho mayor a las encontradas en los sedimentos en la zona de la desembocadura del Río, justo en el área costera, con una diferencia de 57 veces más concentrado en el Río Pánuco que en la zona costera y en casos extremos determinaron una diferencia de hasta 200 veces. También determinaron que la concentración de metales pesados (Cu, Cr, Fe, Ni y Pb) en los sedimentos es mayor en el río que en los sedimentos de la zona costera con una diferencia que llego alcanzar hasta 10.7 veces más concentrados en el Río Pánuco que en la zona costera.



### 3. Área de estudio.

El área de estudio se encuentra ubicada entre los paralelos 22° 08' (2448569.383 UTM) y 22° 24' (2477796.497 UTM) de latitud norte, y entre los meridianos 97° 28' (657620.618 UTM) y 97° 32' (650735.332 UTM) de longitud oeste, frente a las costas donde desemboca el Río Pánuco, entre los estados de Veracruz y Tamaulipas (Fig. 3.1).

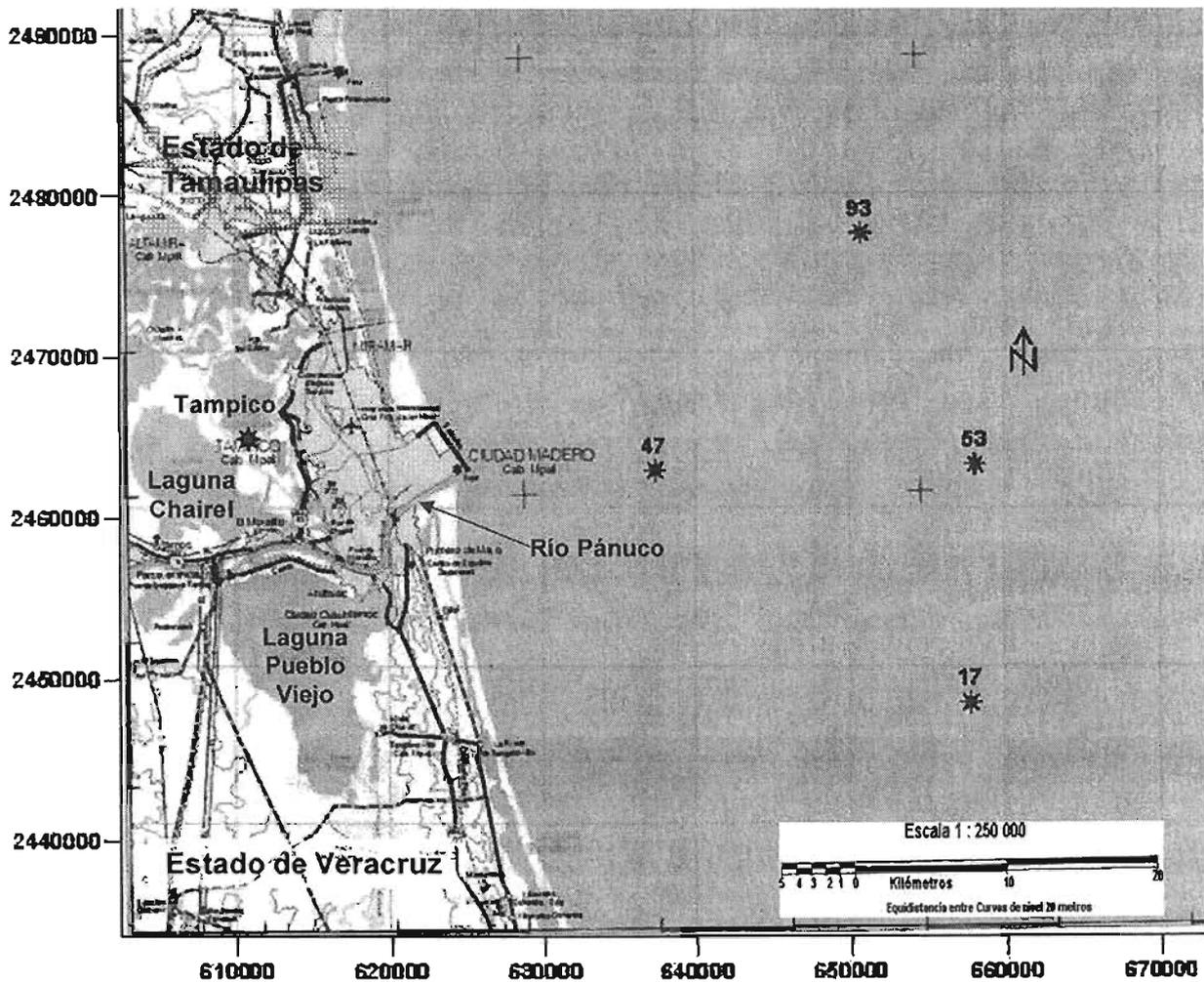


Figura (3.1). Ubicación del área de estudio



### 3.1 Características de la zona.

El Golfo de México es una cuenca oceánica relativamente poco profunda, localizada entre los 30° y 18° Norte y los 98° y 80° Oeste, con 3,600 m en la parte mas profunda y con un área de 1,602,000 km<sup>2</sup>.

El Golfo de México está caracterizado por una amplia franja costera de agua de menos salinidad (35.6 ‰), comparada con la del agua central del Golfo (36.4 ‰), producto de la descarga de ríos y del viento dominante del Este. Esta franja se detecta desde el Norte de Florida, E.U.A, hasta el Sur de Campeche. La Península de Yucatán no presenta estas características debido a la ausencia de ríos con gasto considerable (Secretaría de Marina, 2000).

La característica más sobresaliente en el Golfo de México, es que la circulación marina está gobernada por pares de giros ciclónicos (en sentido inverso a las manecillas del reloj) y anticiclónicos (en sentido a las manecillas del reloj). La circulación de las corrientes del Golfo de México están relacionadas con la influencia de corrientes de aguas calidas y salinas que entran a través del estrecho de Yucatán y salen por la Florida, a estas corrientes se les conoce como "Corriente de Lazo", como puede verse en la figura 3.2, donde parte del agua que penetra al Golfo por el estrecho de Yucatán retorna por contracorrientes (Armstrong y Grady, 1967 citado por de la Lanza E. G. 1991).

Al paso de la corriente del Lazo, proveniente del estrecho de Yucatán, por la cuenca del Golfo; se forman anillos de circulación anticiclónicos que se desplazan al interior del Golfo e influyen en las corrientes adyacentes, generando movimientos en sentido opuesto que se constituyen en remolinos de tipo ciclónicos. La intensidad de los anillos depende directamente de la magnitud del decaimiento en el flujo de la corriente del Lazo (Secretaria de Marina, 1998). La zona de estudio esta influenciada por la corriente de Lazo, la cual en el sitio se encuentra girando en sentido de las manecillas del reloj (anticiclónico) (Secretaria de Marina, 2000). Estas corrientes pueden tener una influencia importante en el transporte de sedimentos marinos.

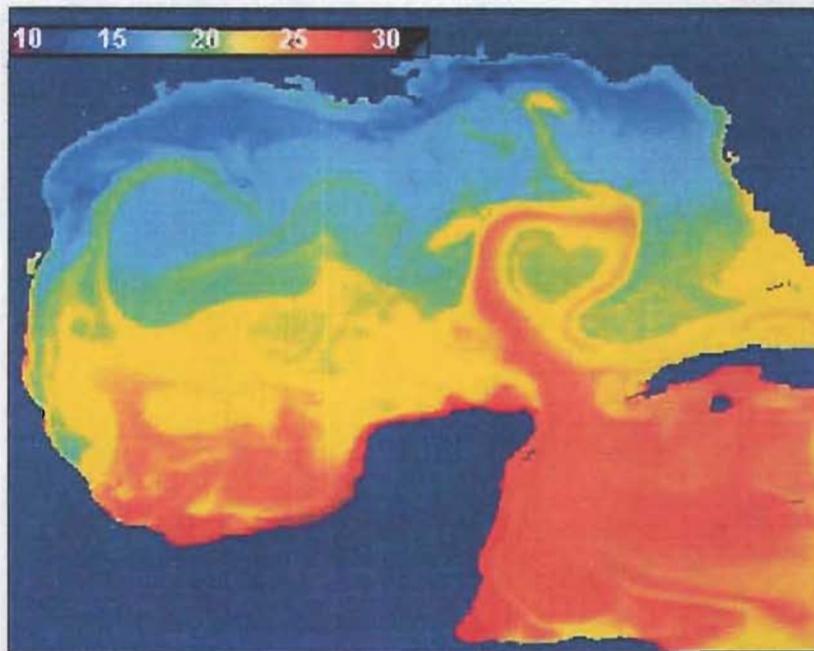


Figura (3.2). Las corrientes de aguas calidas y salinas que entran a través del estrecho de Yucatán y salen por la Florida son llamadas como "Corriente de Lazo" (Foto de la temperatura promedio superficial del agua tomada el Marzo 2001, Satélite NOAA-12).

### 3.2 Clima

En la zona de estudio el clima es cálido-subhúmedo, los registros máximos de temperatura ambiente se presentan de Junio a Agosto con un promedio de 28.2°C y las temperaturas más bajas se presentan en el mes de Febrero, con 14.2°C.

La precipitación anual promedio es aproximadamente de 300 mm, donde las recargas de la cuenca drenan en la Meseta Central árida, al oeste de la Sierra Madre Oriental, pero se incrementa la precipitación a aproximadamente 2400 mm a lo largo de los flancos de la Sierra Madre Oriental (Hendrickson et al., en prensa) (Fig. 3.3).

Marzo es el mes más seco con una precipitación promedio de 5.9 mm/mes; mientras que Julio es el mes más lluvioso con una precipitación promedio de 176 mm/mes.

La evaporación registra valores promedios de 1617mm/año, presentándose las mínimas entre los meses de Abril a Junio con promedios entre 70.1 a 95.7 mm/mes (Secretaría de Marina, 1998).

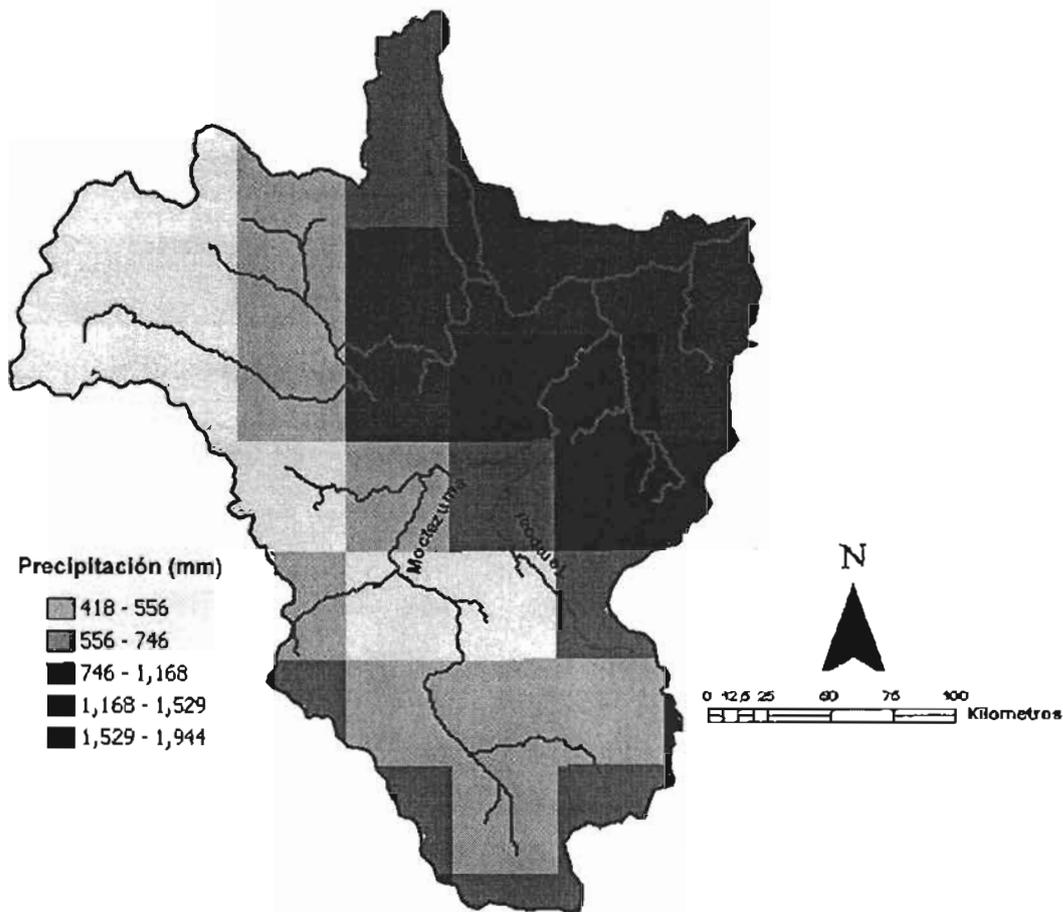


Figura (3.3). Régimen de precipitación de la cuenca del Río Pánuco

Al contrario de la mayoría de las cuencas de la llanura costera del Golfo Norteamericano que recibe mucha de su precipitación de lluvia en el otoño e invierno (Hirschboek, 1991; Lecce, 2000), la Llanura Costera del Golfo mexicano tiene un régimen de precipitación tropical. La mayoría de precipitación ocurre entre los meses de Mayo y Octubre, con los meses de Julio y Septiembre como los más húmedos (Hudson, 2003). Esto hace que la zona de estudio tenga un aporte importante de sedimentos terrígenos al mar.

En la época próxima a la estación lluviosa, la precipitación se genera por los fuertes vientos alisios orientales que aportan aire húmedo del golfo al oriente de México. Los ciclones tropicales del Atlántico y el Golfo producen grandes cantidades de precipitación en la región oriente de México a fin de verano y principios de otoño (Metcalf, 1987).



Combinado con la influencia de la orografía de los acantilados abruptos del oriente de la Sierra Madre Oriental, las grandes cantidades de lluvia ocurren a lo largo del barlovento (oriental) al lado de la Sierra Madre Oriental (Hudson, en prensa). De noviembre a abril, hay precipitaciones pequeñas, aunque hay nortes (ciclones de media-latitud) ocasionalmente barren el sur de los Estados Unidos y proporcionan varios días de precipitación (West et al., 1969).

### 3.3 Marco Geológico.

La cuenca drena por tres regiones fisiográficas, la Meseta Central, la Sierra Madre Oriental, y la Llanura Costera del Golfo. El relieve de la cuenca es más grande en las porciones centrales de la cuenca, con varias crestas en la Sierra Madre Oriental que excede los 3000 m (Hendrickson et al., en prensa). La Llanura Costera del Golfo mexicano se extiende 90km de la costa en Tampico, y termina abruptamente donde se encuentran los depósitos del Terciario y las calizas del Cretácico de los acantilados orientales de la Sierra Madre Oriental (Fig. 3.4).

Existen diferencias significantes en la geología en las partes bajas de los ríos Moctezuma y Tamuin que resulta en la mayor variación de la carga de sedimento.

La carga media anual de sedimento para el Río Moctezuma es de  $4623 \times 10^3$  toneladas, mientras el Río Tamuin transporta un promedio de carga de sedimento anual de  $2030 \times 10^3$  toneladas (Hudson, en prensa).

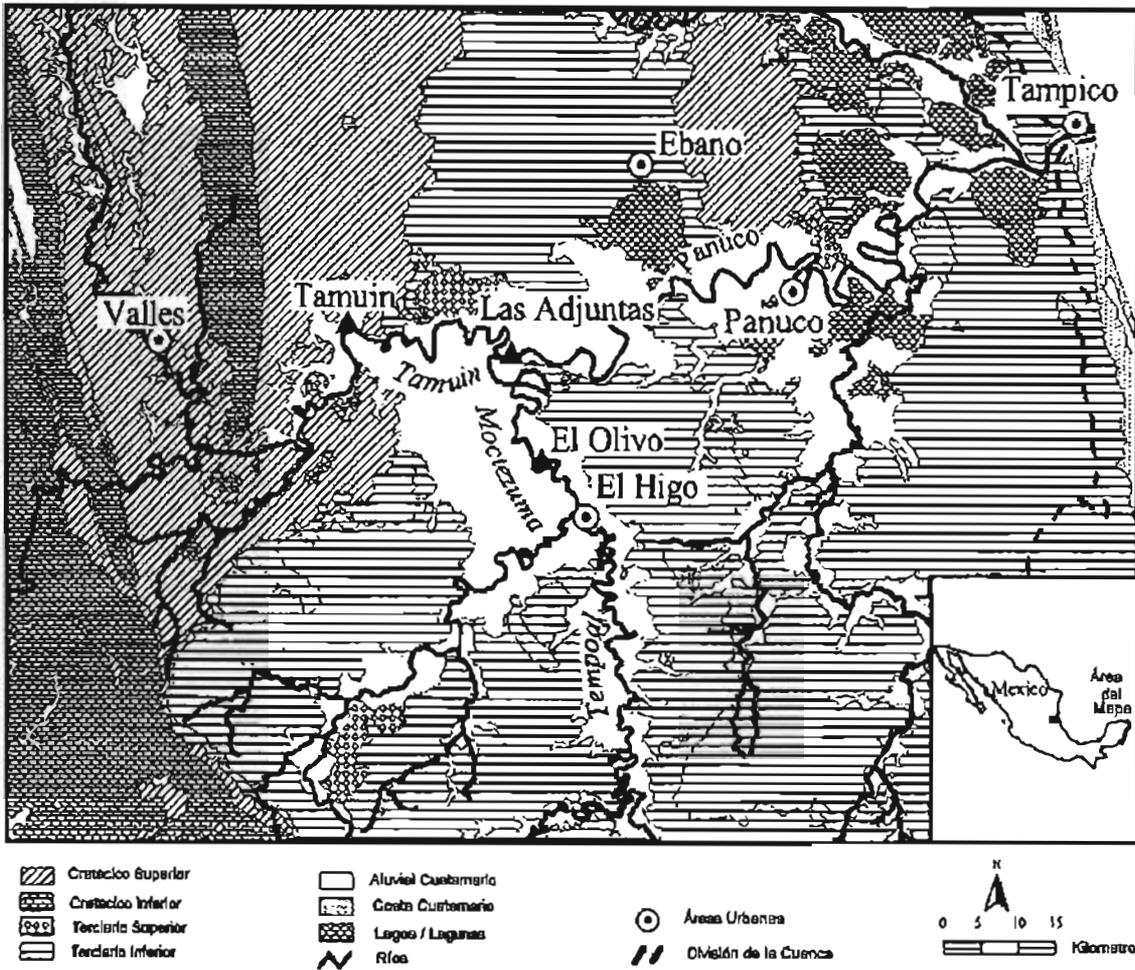


Figura (3.4). Marco geológico de la cuenca del Río Pánuco (Hudson, 2002)

Aunque en parte, la carga más grande de sedimento del Río Moctezuma es debida a la escala, la mayor razón es que el Río Moctezuma proporciona grandes cantidades de sedimentos clásticos de las porciones más bajas de la cuenca. El Río Tempoal es una cuenca grande que principalmente vierte sedimentos erosionados de la unidad esquistos-areniscas del Terciario Bajo (Paleoceno y Oligoceno) y suministra una gran cantidad de sedimento fino al Río Moctezuma y al Río El Higo. En contraste, las porciones más bajas de la cuenca Tamuín drenan cantidades considerables de caliza del Cretaceo y se alimenta por numerosos manantiales (Fish, 1977) que diluyen la concentración del sedimento (Hudson, en prensa).

En el área de estudio, continuamente se depositan sedimentos provenientes de la actividad de dragado, la cual se realiza de manera constante y que puede ocasionar deterioro ecológico en la preservación de recursos marinos (Secretaria de Marina, 1998).



### 3.4 Hidrografía

La cuenca del Río Pánuco tiene un área de desagüe de 98,227 km<sup>2</sup>, es una de las más importantes del país, ocupa el cuarto lugar por su extensión y es la séptima cuenca más grande que descarga en el Golfo de México Figura (3.5) (Hudson, 2003).

Se ubica en la línea fronteriza estatal entre Tamaulipas y Veracruz, y comprende parte de las cuencas de los ríos Pánuco, Tamesí y Moctezuma. La corriente principal de la región es el Río Pánuco, que nace en el estado de México, siendo los ríos Tamesí y Moctezuma sus principales afluentes. Los cuerpos de agua más importantes son: Laguna de Tamós, Laguna de Pueblo Viejo, Laguna de Tamiahua y Laguna de Tampamachoco (Secretaría de Marina 2000).



Fig. (3.5) La cuenca del Río Pánuco es la séptima cuenca más grande (98,227km<sup>2</sup>) drenando en el Golfo de México (Hudson, 2002).

El Río Pánuco, se localiza en el Estado de Tamaulipas, situado en el extremo Noreste del país. Queda comprendido entre los 22°18' y 27°41' de latitud Norte y los 97°10' y 100° 08' de longitud Oeste. Presenta una anchura de 300m a lo largo de sus primeros 20Km río arriba desde su desembocadura con el mar. Su gasto promedio antes de su desembocadura es de 571.8 m<sup>3</sup>/s (Secretaría de Marina 2000).



## ÁREA DE ESTUDIO



El Río Panuco esta formado en la llanura costera por la confluencia del Río Moctezuma (42,726 km<sup>2</sup>) y Río Tamuin (33,260 km<sup>2</sup>). Río abajo de la confluencia el río serpentea 185 km a Tampico, Tamaulipas descargando en el Golfo de México.

En la planicie costera el sistema hidrográfico de la región esta formado por una serie de arroyos perfectamente localizados que cubren y drenan la parte alta del puerto de Tampico y que son el medio de transporte de las aguas residuales al Río Pánuco y se caracteriza por ser de pendientes suaves, con numerosos meandros, lagunas marginales de considerable extensión. Entre las lagunas predominan en la margen izquierda, se tiene entre las más importantes las de Marland, Tamos, La Costa y Chairely y en la margen derecha la de Pueblo Viejo. Poco antes de su desembocadura al Golfo de México recibe por margen derecha las aportaciones del Río Chacayán y por la margen izquierda las aguas del Río Tamesí, afluente considerado como uno de los más importantes del Río Pánuco (Secretaría de Marina, 2000) (Fig. 3.6).

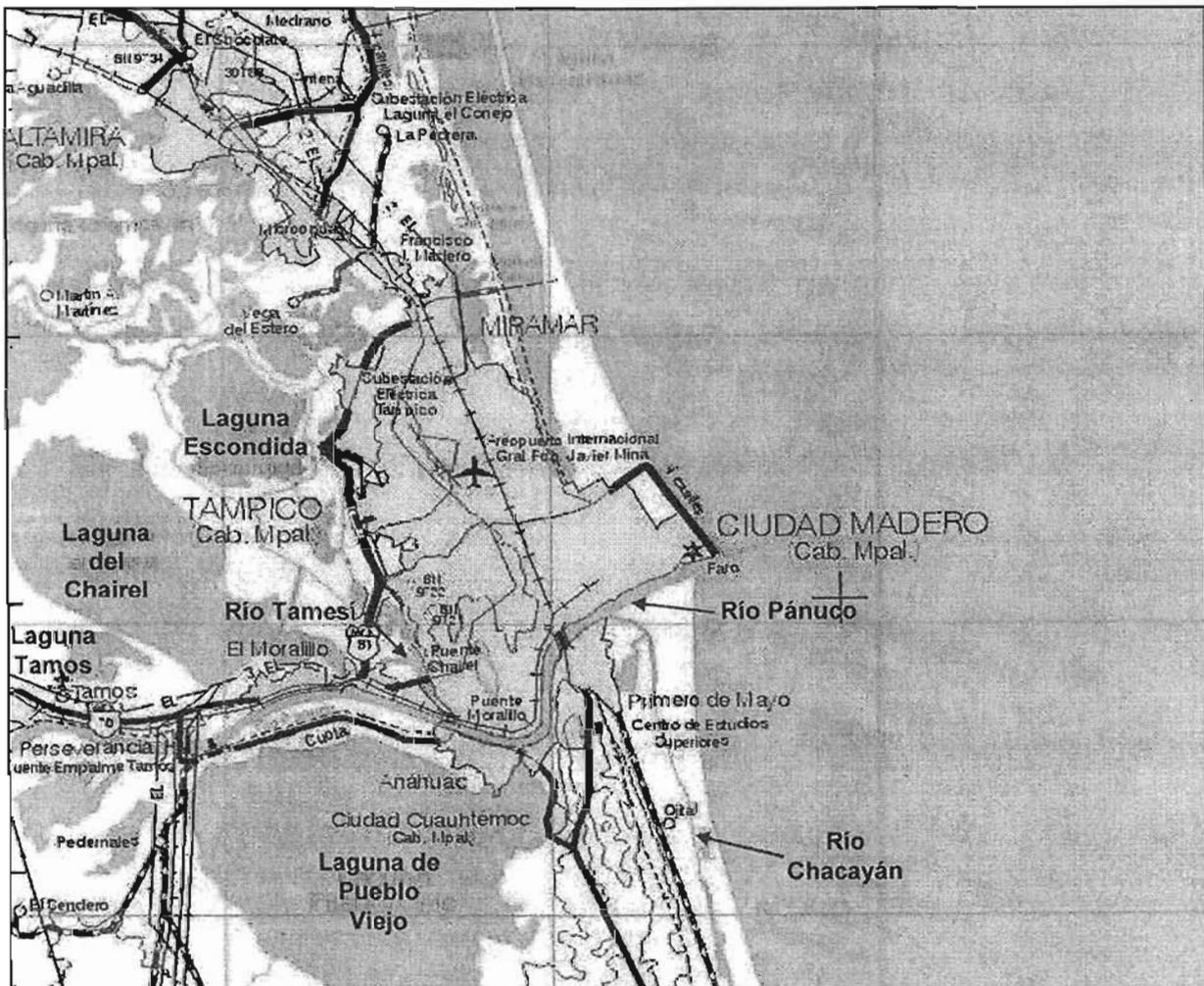


Figura (3.6). Sistema hidrográfico



### 3.5 Presiones sobre el área de estudio

La región occidental del Golfo de México es particularmente interesante ya que además de recibir la influencia de la dinámica oceanográfica y meteorológica del golfo, recibe los aportes de los efluentes continentales que desembocan en la zona costera, entre los que se encuentran los ríos, Tuxpan, Pánuco, Soto La Marina y Bravo, que ocasionan variación en la temperatura y salinidad y aportan altas concentraciones de nutrientes, lo que constituye un factor importante para el incremento de la productividad con su consecuente efecto trófico en la comunidad biológica. También influyen las lagunas costeras mayores: la Laguna de Tamiahua y la Laguna Madre, las que han sido señaladas como sistemas muy productivos que presentan gran repercusión en la zona costera (Villalobos et al. 1976). También estos sistemas son la puerta de entrada al mar, de la influencia antropogénica que aporta productos de las actividades domésticas, industriales y agropecuarias.

La línea de costa localizada frente al área de estudio, destaca por ser un área natural protegida, con playa arenosa y áreas de desove de tortuga Lora. Así mismo, presenta considerable afluencia de turistas en épocas vacacionales. Por otro lado, frente a la desembocadura del Río Pánuco, aproximadamente a 30 km de la costa, se localizan tres plataformas de explotación petrolera, a partir de las cuales se derivan oleo gasoducto con dirección Oeste, que se conecta a la refinerías Francisco I. Madero, en ciudad Madero, Tamaulipas (Secretaría de Marina, 2000).

#### 3.5.1 Contaminación.

Como fuentes contaminantes se consideran todas las industrias o núcleos de población que vierten sus desechos en cualquier cuerpo receptor, los efectos de los materiales contaminantes, se manifiestan en muy diversas formas; por ejemplo, los desperdicios orgánicos, así como la aguas negras de derrames domésticos e industriales que acaban con las condiciones asépticas de las aguas, y algunas de estas sustancias tóxicas pueden ocasionar el exterminio directo y masivo de organismos (Secretaría de Marina, 1982).

El sector industrial localizados en el área de estudio genera a nivel nacional 82 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales de muy variadas características (Tabla. 3.1), las cuales en su



## ÁREA DE ESTUDIO



mayoría resultan altamente contaminantes para los cuerpos de agua natural, por descargarse sin tratamiento alguno.

Tabla (3.1). Inventario de Industrias que generan aguas residuales en la zona de estudio (INEGI a, 1994)

Cuenca	Municipio	Tipo de Descarga	Nombre de la Empresa	Gasto litro/segundo	Observaciones
Río Soto La Marina	Soto la Marina	Industrial	Empacadora Soto la Marina	8.25	
Laguna San Andrés	Aldama	Industrial	Unión Ganadera Regional de Tamaulipas	6.0	
Río Tamesí	Altamira	Industrial	Harinera de Tamaulipas	1.273	
Río Tamesí	Altamira	Industrial y servicios	Nhumo	13.16	
Río Tamesí	Altamira	Industrial y servicios	Novaquim	13.16	
Río Tamesí	Altamira	Industrial y servicios	Petrocel	104.16	
Río Tamesí	Altamira	Industrial y servicios	Negromex	10.8	
Río Tamesí	Altamira	Industrial y servicios	Pemex	36.794	
Río Tamesí	Altamira	Industrial	Finacril	40	
Río Tamesí	Altamira	Industrial y servicios	Primex	60	
Río Tamesí	Altamira	Industrial y servicios	Polimar	18.4	Descargas Ind.
Río Tamesí	Altamira	Industria	C.F.E. Termoeléctrica	168	0.14 Descargas Sanitarias
Río Tamesí	Altamira	Industrial y servicios	Polycyd	15.4	
Río Tamesí	Altamira	Industrial y servicios	Hules Mexicanos	28.56	
Río Tamesí	Altamira	Servicio	Fraccionamiento Lagunas de Miralta	0.48	Reusa su descarga en riesgo de áreas verdes
Río Tamesí	Altamira	Industrial y servicios	BASF, Mexicana	11.574	
Río Tamesí	Madero	Industrial	Refinería Madero	330.7	

La cuenca del Río Pánuco, que desemboca en el Golfo de México, recibe ya desde la Ciudad de México, un conjunto de descargas orgánicas y tóxicas que, en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), podría ascender a cerca de 650 mil toneladas anuales (INEGI a, 1994)

Las industrias que destacan por sus volúmenes de producción o de descargas de aguas residuales son la Refinería de Ciudad Madero que vierte sus aguas residuales directamente al estuario del Río Panuco.



En la siguiente Tabla (3.2) se presentan los principales giros industriales responsables de las mayores descargas de aguas residuales.

Tabla (3.2). Principales giros industriales responsables de las mayores descargas de agua residuales (INEGI a. Estadísticas del Medio Ambiente. México 1994)

INDUSTRIA	DESCARGA (%)
Azucarera	38.8
Química	21.0
Papel y celulosa	6.0
Petróleo	8.2
Bebidas	2.4
Textil	2.7
Siderúrgica	1.7
Eléctrica	0.7
Alimentos	0.2

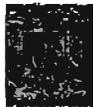
Entre los problemas presentes en el estuario del Río Pánuco destaca el vertimiento inadecuado de las aguas residuales municipales e industriales consideradas en cierta medida como la causa directa de la degradación experimentada en la calidad de agua del Río Pánuco.

Estas descargas forman una película superficial y en algunos casos imprimen una coloración negrusca parda a las aguas del río, perjudicando el ecosistema acuático.

Cerca del 80% del agua de esta cuenca es de mala calidad para usarse en el abastecimiento de agua potable, con fines recreativos o en la conservación de flora y fauna. Sólo un 25% es de regular calidad para uso agrícola o industrial. Esta situación produce, no sólo un impacto ambiental negativo, sino que también representa un gran riesgo para la salud de la población (CNA, 1998).

En su trayecto, las aguas contaminadas afectan a las lagunas aledañas, como la de Pueblo Viejo, en la zona norte del estado Veracruz, y del Carpintero, misma que es usada en los últimos años con fines de recreación y deportivos.

La muerte de gran cantidad de peces de agua dulce en la Laguna del Carpintero de esta zona, es consecuencia de la contaminación que priva en el río Pánuco, que afecta a lagunas y cuerpos de agua del sur de Tamaulipas.



Los desechos que arroja el botadero incluyen pesticidas, cloruros, desechos orgánicos y otros contaminantes, que afectan la calidad del agua del sistema de lagunas, la parte sur de la Laguna del Chairel y del río Pánuco.

La población de la región metropolitana se desarrolla en cuatro municipios, siendo los de Tampico y Ciudad Madero, los que tienen características más homogéneas en cuanto a población y por su condición de centro turístico variable conforme la época del año y el explosivo crecimiento de la población fija en los últimos años, esto debido fundamentalmente al proceso migratorio ocasionado por el desarrollo industrial, esto hace difícil establecer la calidad actual de sus aguas, ya que en un gran porcentaje, esta agua residuales industriales no tienen un sistema integral de alcantarillado y cada industria tiene su propio drenaje, los cuales descargan directamente al Río Pánuco o al Mar (Secretaría de Marina, 1982).

### 3.5.2 Población.

Se estima que el puerto de Tampico, tiene una población cercana a los 500,000 habitantes, quienes producen un considerable volumen de agua residual que llega tanto al Río Pánuco como al Mar a través de un sistema de alcantarillado.

El drenaje de Tampico y Ciudad Madero, esta dividido en 12 sistemas de los cuales 2 descargas a la laguna Chairel y el resto al Río Pánuco ya sea por gravedad o por bombeo. Se estima que para el año 2025 la población en esta zona alcanzará los 5.5 millones de habitantes, de los cuales 53 % se ubicará en zonas urbanas (CNA, 1998).

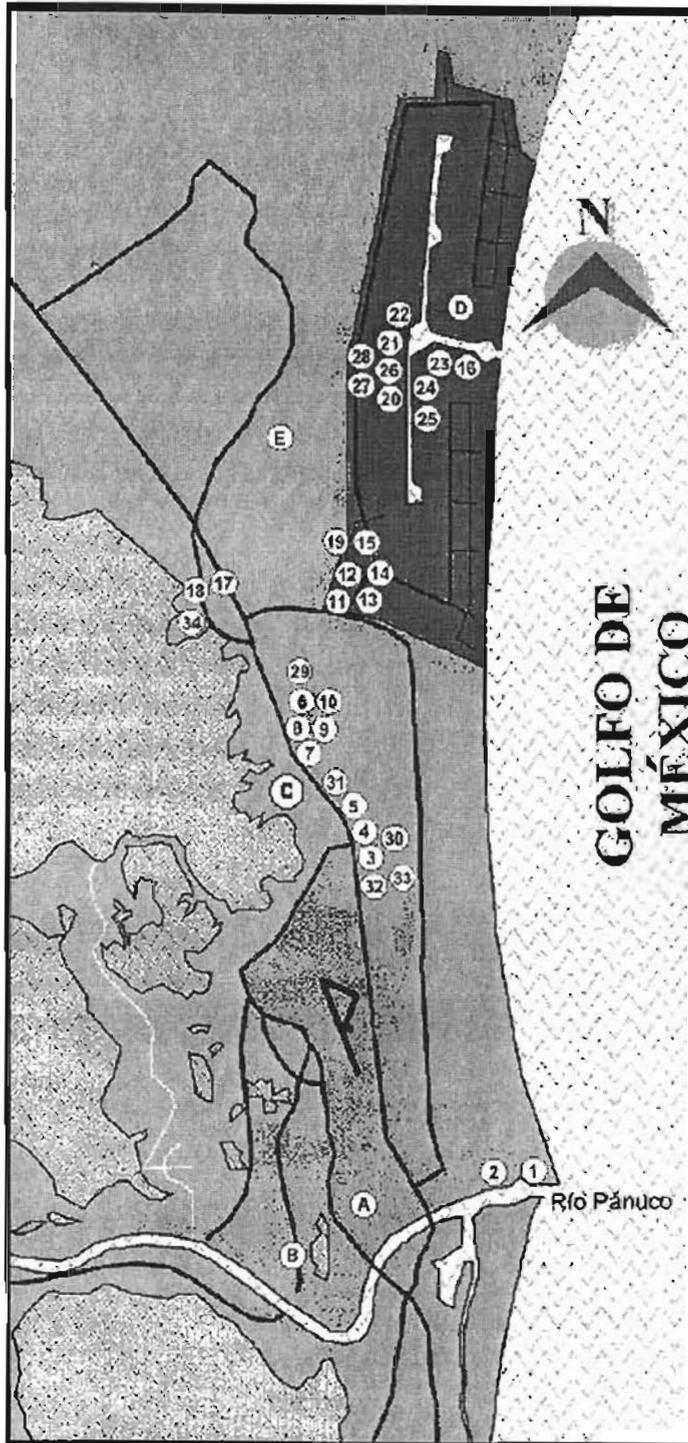
El sistema de alcantarillado en algunas zonas es combinado de aguas residuales y aguas pluviales y en otras en sistemas separados, en las partes donde no existe drenaje pluvial, el drena por las calles descargando al Pánuco y a las lagunas de Chairel y del Carpintero. Ciudad Madero, no cuenta con una red suficiente para aguas pluvial y para evacuar las aguas estancadas se utilizan bombas y canales.

En el actual sistema de alcantarillado de Tampico y Ciudad Madero, se encuentran instaladas estaciones de bombeo que se utilizan para la disposición final de las aguas residuales municipales.

El puerto de Tampico y Cd. Madero Tamaulipas, constituyen una zona conurbana donde opera la importante refinería de Cd. Madero, se ha apreciado un rápido crecimiento industrial en los que se ha llamado el "Corredor Industrial de Altamira-Tampico" (Fig. 3.7).



**INDUSTRIAS Y TERMINALES ESTABLECIDAS EN EL CORREDOR TAMPICO-ALTAMIRA Y EN EL PUERTO INDUSTRIAL DE ALTAMIRA, 1998.**



- A. Ciudad Madero
- B. Tampico
- C. Corredor Industrial Tampico-Altamira.
- D. Puerto Industrial de Altamira
- E. Campo Petrolero
- 1. Química del Mar,
- 2. Refinería Madero (PEMEX)
- 3. DUPONT
- 4. NOVAQUIM.
- 5. Hules Mexicanos (NEGROMEX)
- 6. PETROCEL
- 7. INDELPRO
- 8. Hércules
- 9. Pecten Poliesters (SHELL)
- 10. Teraftalatos Mexicanos
- 11. Grupo PRIMEX
- 12. ALTERESIN
- 13. FINACRIL
- 14. G.E. Plástico (POLIMAR)
- 15. Basf Mexicana
- 16. Vitro/PPG
- 17. NEGROMEX
- 18. POLICID
- 19. POLIOLES
- 20. Operadora de Terminales Marítimas
- 21. TEPEAL
- 22. TEPESA
- 23. Terminal NEGROMEX
- 24. Terminal de Usos Múltiples (ATP)
- 25. Terminal de Usos Múltiples (IPM)
- 26. Terminal Marítima de Altamira
- 27. Servicios Industriales Altamira
- 28. Parque Ecológico Industrial
- 29. FIMEX, S.A. de C.V.
- 30. CRYOINFRA
- 31. MASECA
- 32. Embotelladora PEPSI COLA
- 33. ALBATAM
- 34. Consolidación de Carga

Fig. (3.7). Moctezuma Cid, J. (1998). "El Puerto Industrial de Altamira". Rev. El Mercado de Valores, N°6, p. 18, junio de 1998. Nacional Financiera, México. Citado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes e Instituto Mexicano del Transporte. 1999.



## 4. Metodología de estudio

### 4.1 Trabajo de Campo.

Esta investigación se llevo acabo a bordo del buque oceanográfico Justo Sierra a partir de la Campaña Oceanográfica Pánuco II, realizada del 18 al 23 de febrero de 2002, donde se había diseñado una red de 32 estaciones localizadas de Norte a Sur de la desembocadura del Río Pánuco para el estudio de la zona. Debido a la logística con la que se contaba para el muestreo sólo se colectaron cuatro núcleos de sedimento, muestreando los núcleos más representativos de la zona de estudio, la ubicación de cada uno de los núcleos se baso en los patrones de distribución textural de los sedimentos superficiales estudiados previamente por Cabrera Ramírez, 2003. Los cuatro núcleos de sedimento se colectaron de acuerdo a los siguientes criterios:

El núcleo 47 se ubico frente a la zona costera donde desemboca del Río Pánuco entre los paralelos, 22° 16' 07.5 de latitud norte y 97° 40' 05.4 de longitud oeste, muestreándose este núcleo a una profundidad de 38 m, ubicado en una zona con un alto contenido de arcillas en los sedimentos superficiales.

El núcleo 93 se ubico entre los paralelos, 22° 24' 03.4 de latitud norte y 97° 32' 08.4 de longitud oeste, muestreando el núcleo a una profundidad de 60 m, ubicado en una zona con un alto contenido de limos y arcillas, en los sedimentos superficiales.

El núcleo 17 se ubico entre los paralelos, 22° 08' 10.9 de latitud norte y 97° 28' 18.3 de longitud oeste, muestreando el núcleo a una profundidad de 58 m, ubicado en una zona con un alto contenido de gravas y arenas.

El núcleo 53 se ubico entre los paralelos, 22° 16' 12.7 de latitud norte y 97° 28' 02.2 de longitud oeste, muestreando el núcleo a una profundidad 70 m, ubicado en una zona con un alto contenido de gravas y arenas Tabla (4.1) y Figura(4.1).

Tabla (4.1). Ubicación de los núcleos de sedimentos

Núcleo	Latitud	Longitud	Norte(UTM)	Este(UTM)	Profundidad de muestreo (m)	Longitud del núcleo (cm)
47	22°16' 07.5	97°40'05.4	2463034.819	637223.524	38	25
93	22°08'10.9	97°28'18.3	2477796.497	650735.332	60	27
17	22°08'10.9	97°28'18.3	2448569.383	657620.618	58	19
53	22°16'12.7	97°28'02.2	2463390.886	657923.511	70	15

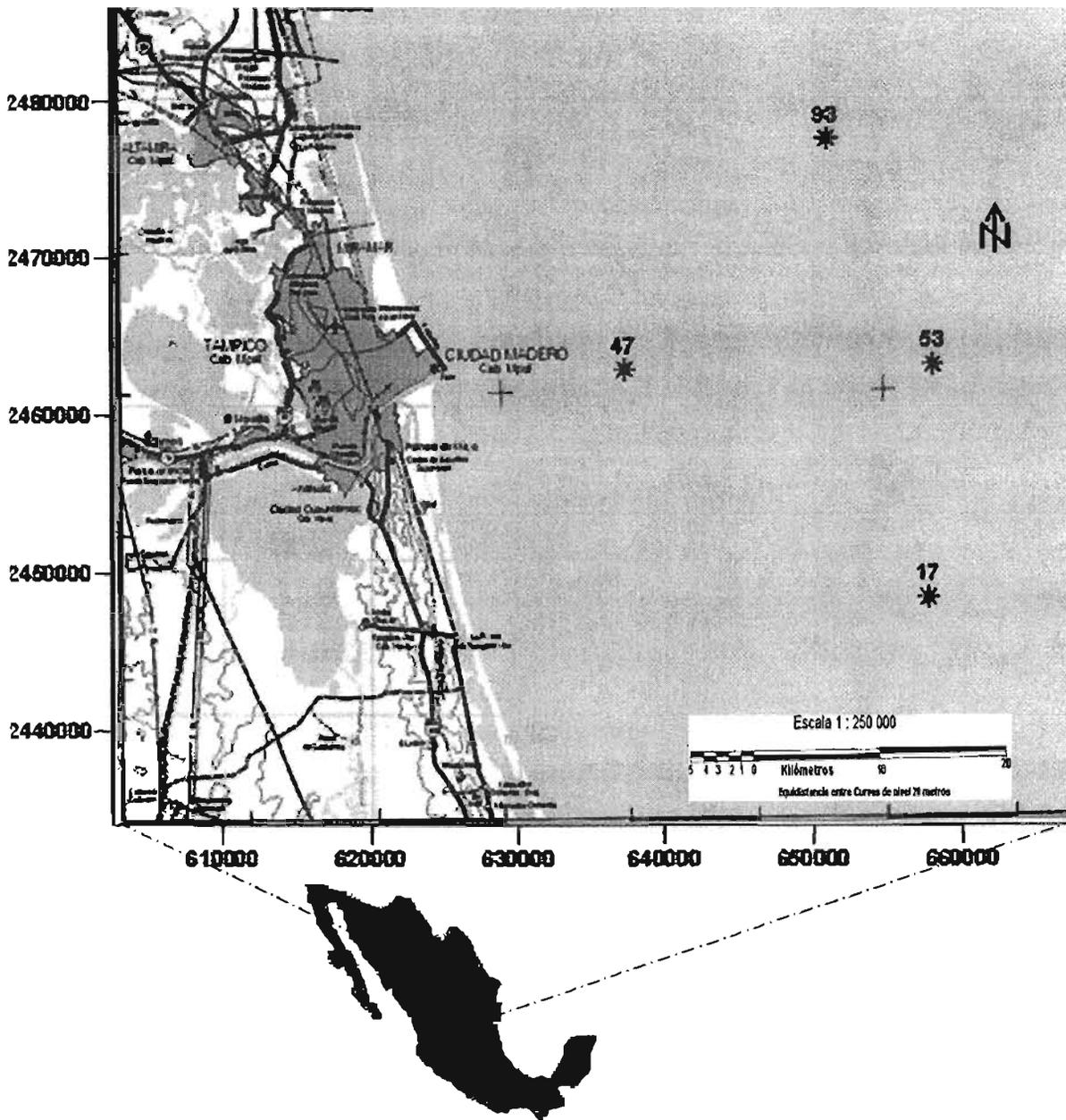


Figura (4.1). Localización de los puntos de muestreo



Los núcleos de sedimento se obtuvieron de diferentes longitudes como se muestra en la figura (4.2).

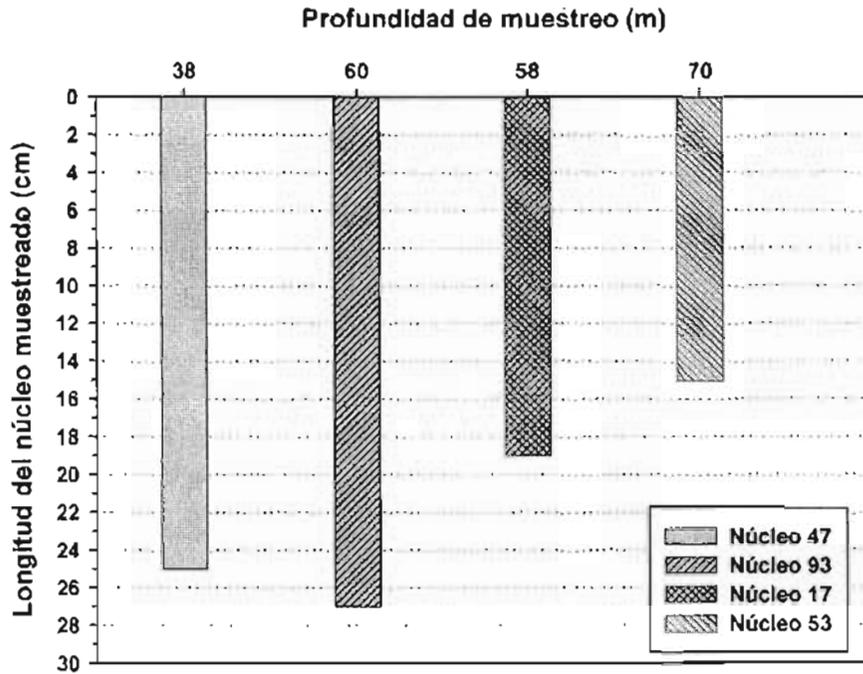


Figura (4.2). Longitud de los sedimentos

En cada sitio muestreado se tomaron los datos de profundidad (m) y en el agua de fondo se determinaron los parámetros de turbidez, salinidad, temperatura (°C), potencial redox (Eh, mV) y material suspendido (mg/l) con el equipo Hydrolab (*Apéndice A*).



Los sedimentos se colectaran con un muestreador de sedimentos tipo caja, de dimensiones de 50x50x50 cm por lado (Fig. 4.3).

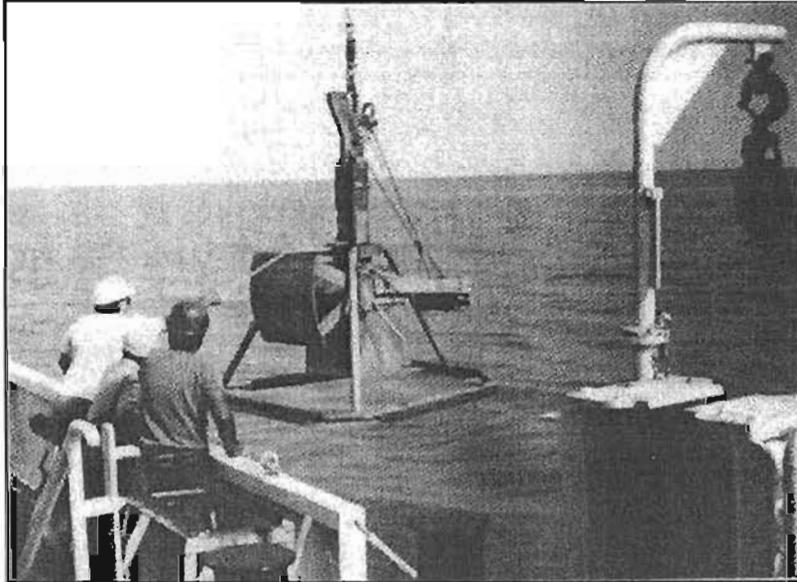


Figura (4.3). Muestreador de sedimentos tipo caja

Con un arreglo de cuatro tubos con camisa de plástico tipo PVC de 11.5cm de diámetro interno con una longitud de 50cm, este arreglo tiene la finalidad de que la muestra de uno de los tubos sirva para determinar la textura, la otra muestra del siguiente tubo para determinar Isótopos, la tercera muestra para realizar las determinaciones químicas y la ultima muestra sirva de testigo, Los tubos se guardaron en refrigeración en posición vertical (Fig. 4.4).

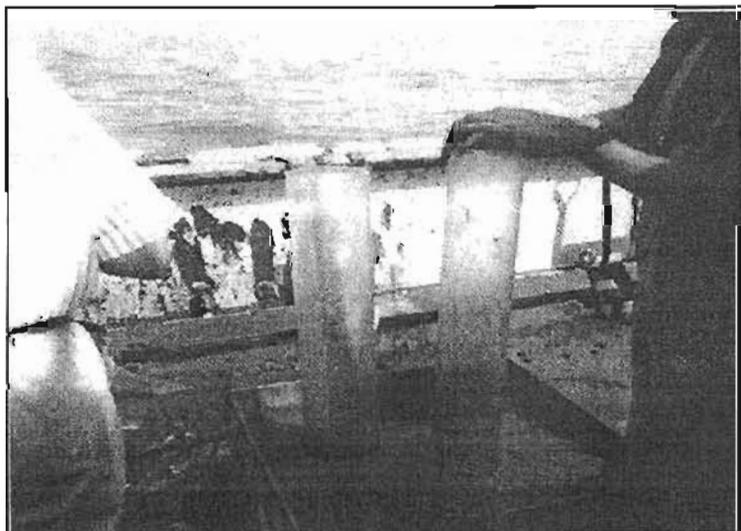


Figura (4.4). Núcleos de sedimento



### 4.2 Trabajo de laboratorio.

El trabajo de laboratorio se resume en el la Figura (4.5)

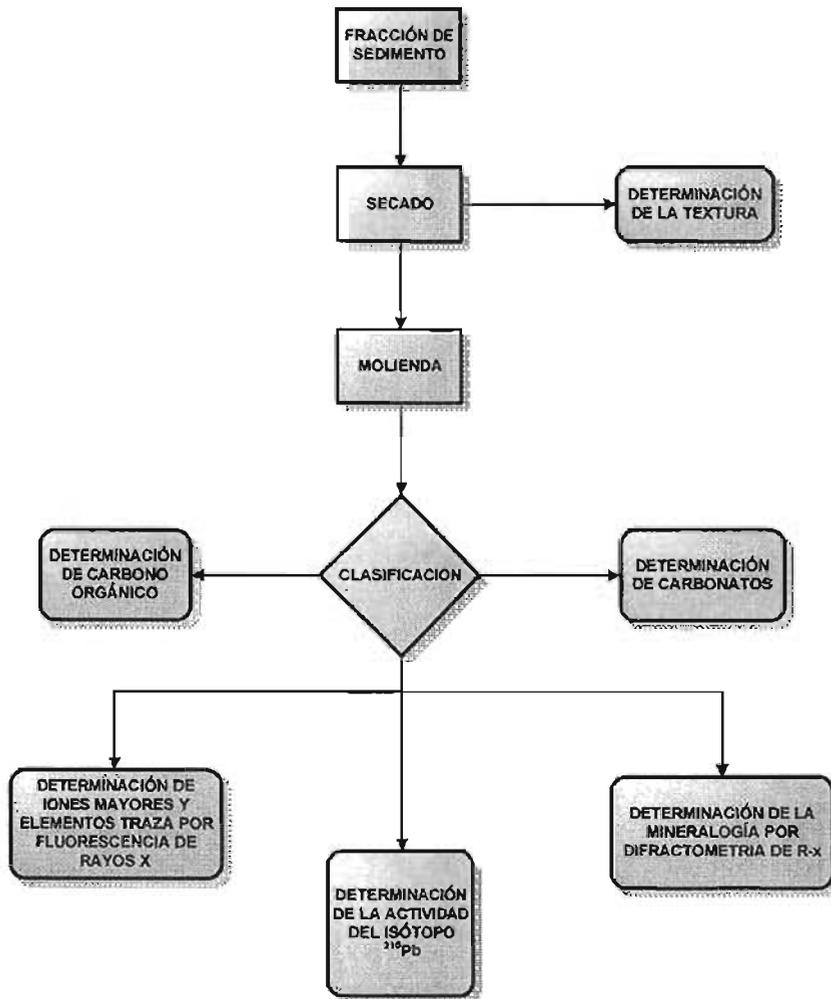


Figura (4.5). Ruta del tratamiento de los núcleos de sedimento.

Los núcleos de sedimentos al sacarse de los tubos se dividieron en fracciones de 1cm colocándose en bolsas plásticas negras previamente etiquetada con nombre de la estación de muestreo, núcleo, fracción (cm) y fecha; el color negro de las bolsas es para evitar el crecimiento bacteriano y por ende los procesos de oxido-reducción. Las fracciones de sedimentos inmediatamente se refrigeraron a una temperatura de 4°C para minimizar los cambios químicos.



El núcleo 47 se subdividió en 13 fracciones, el núcleo 93 se subdividió en 14 fracciones, el núcleo 17 se subdividió en 10 fracciones y el núcleo 53 se subdividió en 8 fracciones de un centímetro cada uno.

A cada una de las fracciones se le determinaron los elementos mayores (%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %SiO<sub>2</sub>, %TiO<sub>2</sub>, %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %MnO, %MgO, %CaO, %Na<sub>2</sub>O, %K<sub>2</sub>O y %P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), materia orgánica (%), carbonatos (%), elementos traza (en partes por millón) (Rb, Sr, Ba, Y, Zr, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn y Pb) y la textura (%gravas, %arenas, %limos y %arcillas) (*Apéndice B*).

#### 4.2.1 Secado y molienda de las facciones de sedimento.

Las fracciones obtenidas de cada núcleo a procesar se secaron a una temperatura de 60°C ± 2°C, durante 48 horas para posteriormente triturarlas en un vial de carburo de tungsteno con un equipo Sepx 8000 Mixer/Mill (Fig. 4.6); después se clasifico el sedimento triturado a través de una malla de 200 micras, para obtener las partículas mas finas, para después aplicar las diferentes técnicas de análisis a las que se les iba a someter cada fracción de sedimento.

Cabe mencionar que una parte de la muestras de sedimento original se uso para la determinación de la textura de las fracciones de sedimento.

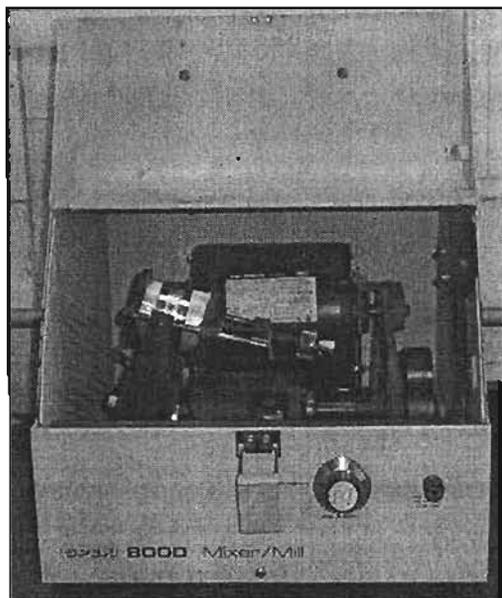
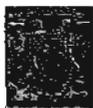


Figura (4.6).Equipo Sepx 8000 Mixer/Mill con vial de carburo de tungsteno



#### 4.2.2 Determinación de materia orgánica.

El carbono orgánico se determina para evaluar el papel que juega la fracción orgánica de los sedimentos en el transporte, depositación y retención de los metales traza.

Para la determinación del carbono orgánico en cada muestra se siguió el método de titulación, este método diferencia materia húmica de fuentes externas de carbono orgánico tales como grafito y carbón, este método fue desarrollado por Walker & Black, 1934 (citado por Santiago-Pérez, 1989 y Bahena-Manjarrez, 1999).

El carbono orgánico por titulación se determinó, oxidando 0.5 gr, de sedimento con 10 ml de  $K_2Cr_2O_7$  1N en 20 ml de  $H_2SO_4$  concentrado, utilizándose para la reacción el calor de disolución del  $H_2SO_4$  (Fig. 4.6), se dejó en reposo 30 minutos y pasado ese tiempo se agregaron 200 ml de agua destilada, se adicionaron 10 ml de  $H_3PO_4$  concentrado y 0.2 gr, de NaF para eliminar las interferencias por el ion cloruro y los iones férricos respectivamente. El exceso de  $K_2Cr_2O_7$  se valoró con una solución de  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$  0.5 N, usando difenilamina como indicador (Fig. 4.7) (Santiago-Pérez, 1989 citado por Bahena-Manjarrez, 1999).

Los resultados de carbono orgánico se obtuvieron siguiendo la siguiente ecuación.

#### Cálculos.

$$\% \text{ de carbono orgánico} = 10 * (1 - T/S) * [ (1.0N) * (0.003) * (100/W) ]$$

Donde:

T = ml de solución de  $FeSO_4$  consumidos en la titulación de la muestra

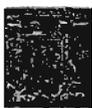
S = ml de solución de  $FeSO_4$  consumidos en la titulación del blanco

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

1.0 N = Normalidad del  $K_2Cr_2O_7$

10 = volumen de  $K_2Cr_2O_7$  en ml

W = peso de la muestra de sedimento en gramos



## Validación del método

Para determinar la precisión del método se utilizó la muestra de sedimento del núcleo 47. La exactitud del método se determinó utilizando glucosa seca como muestra control (Bermejo, 1991., citado por Santiago, 1989).

La equivalencia de carbono en la glucosa es de 39.99% (Santiago, 1989). Los resultados se muestran en la Tabla (4.2).

Tabla (4.2) Validación del método para la determinación de materia orgánica

Repetición	% Materia Orgánica	% Recuperación
1	40.9	102.28
2	38.9	97.27
3	39.7	99.27
4	39.27	98.20
5	40.3	100.78
6	39.3	98.27
7	39.05	97.65
Media $\bar{x}$	39.63	99.10
Desviación Estándar ( $\sigma$ )	0.73	1.82
Coefficiente de Variación (C.V)	1.84	1.84
<b>Criterio de aceptación para análisis químicos.</b>		
Coefficiente de Variación (C.V)	$\leq 3\%$	% Recobro 97 - 103



La ruta seguida para determinar la materia orgánica se muestra en la Figura (4.7)

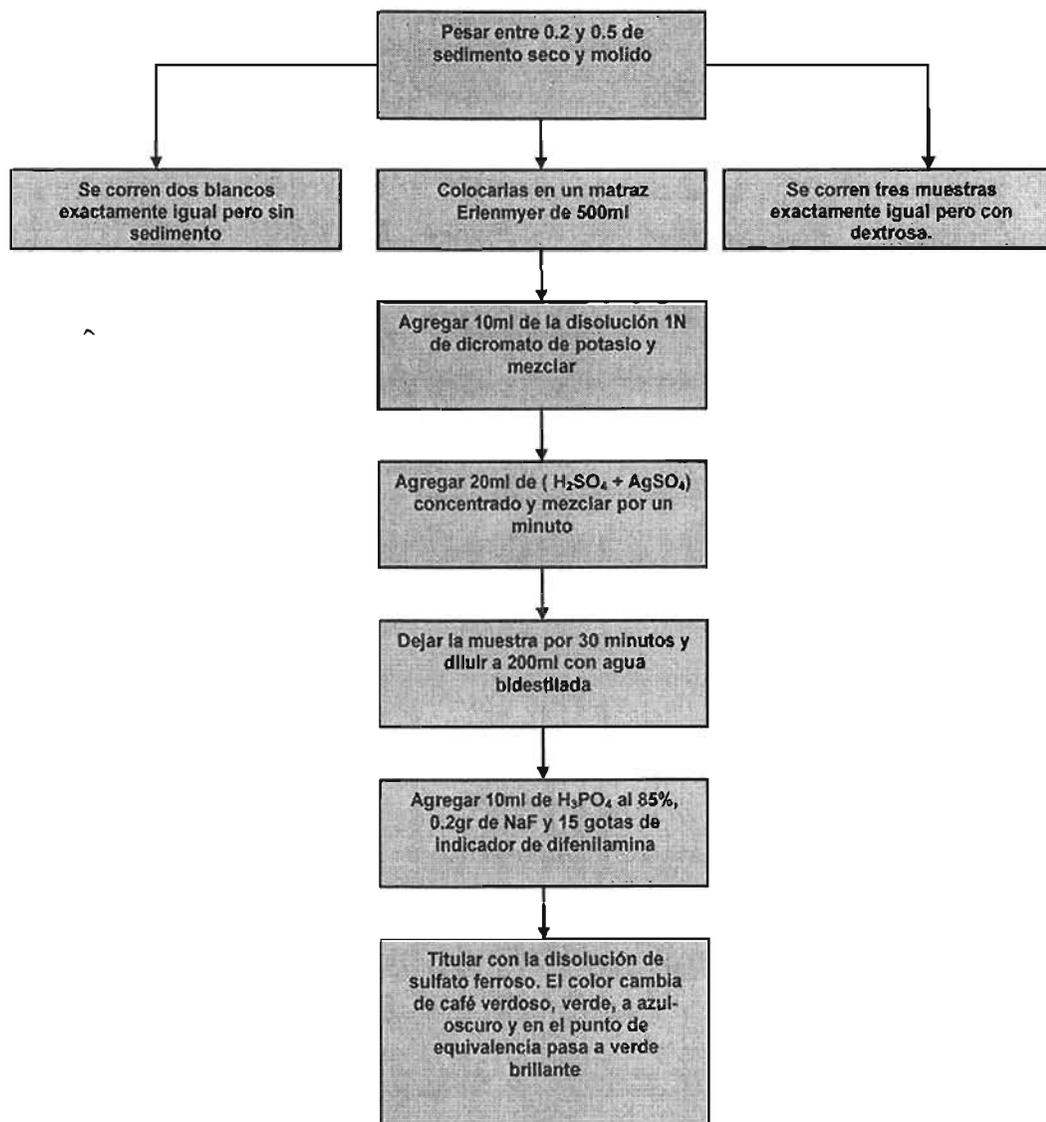


Figura (4.7). Método para la determinación de carbono total desarrollado por Walker & Black, 1934



4.2.3 Determinación de carbonato de calcio.

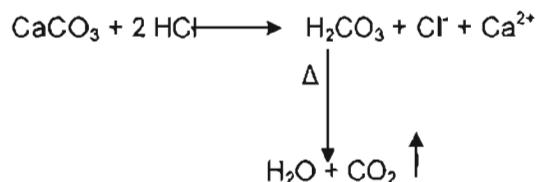
Se debe tener una idea de la presencia o ausencia de carbonatos en la muestra. Si es positiva la existencia de carbonatos, se puede planear el peso de la muestra que se debe tomar para su determinación de acuerdo con la Tabla (4.3).

Tabla (4.3) Determinación de carbonato de calcio

Pérdida por Calcinación	Peso de Muestra	Volumen de HCl 0.1N adicionado
< 10%	2.00g	400ml
10% a 20%	1.00g	200ml
20% a 40%	0.5g	100ml
>40%	0.25g	50ml

La técnica es basa en el principio de una titulación por retroceso, donde a la muestra de sedimento marino carbonatado se le agrega un cierto volumen en exceso de ácido clorhídrico, y el ácido clorhídrico que no reaccionó con los carbonatos se titula con una solución de hidróxido de sodio (Santiago, 1989).

La reacción es la siguiente.



La reacción del exceso de ácido clorhídrico con hidróxido de sodio:



Para obtener la cantidad exacta de carbonatos, hay que valorar las soluciones de ácido clorhídrico e hidróxido de sodio.



Cálculos para la determinación de carbonatos

Utilizando la siguiente ecuación determinamos el porcentaje de carbonatos presentes en la muestra.

$$\% CO_3 = \frac{(VB - Vm) \times N_{NaOH} \times meqCO_3 \times 100}{\text{Peso de la Muestra (gr)}}$$

Donde:

VB = Al promedio del volumen consumido en los blancos

Vm = Al promedio del volumen consumido en la muestra

$N_{NaOH}$  = Normalidad del NaOH

Peso de la muestra (gr).

Validación del método

Para determinar la precisión se tomo diez veces una misma muestra y se valoraron, después se le aplico la ecuación anterior para determinar la concentración de carbonatos.

Para determinar la exactitud se tomaron 10 muestras usando  $CaCO_3$  (seco) y se valoraron, determinando después con la ecuación anterior la concentración de carbonatos.

La ruta seguida para determinar los carbonatos de calcio en los sedimentos se muestra en la Figura (4.8)

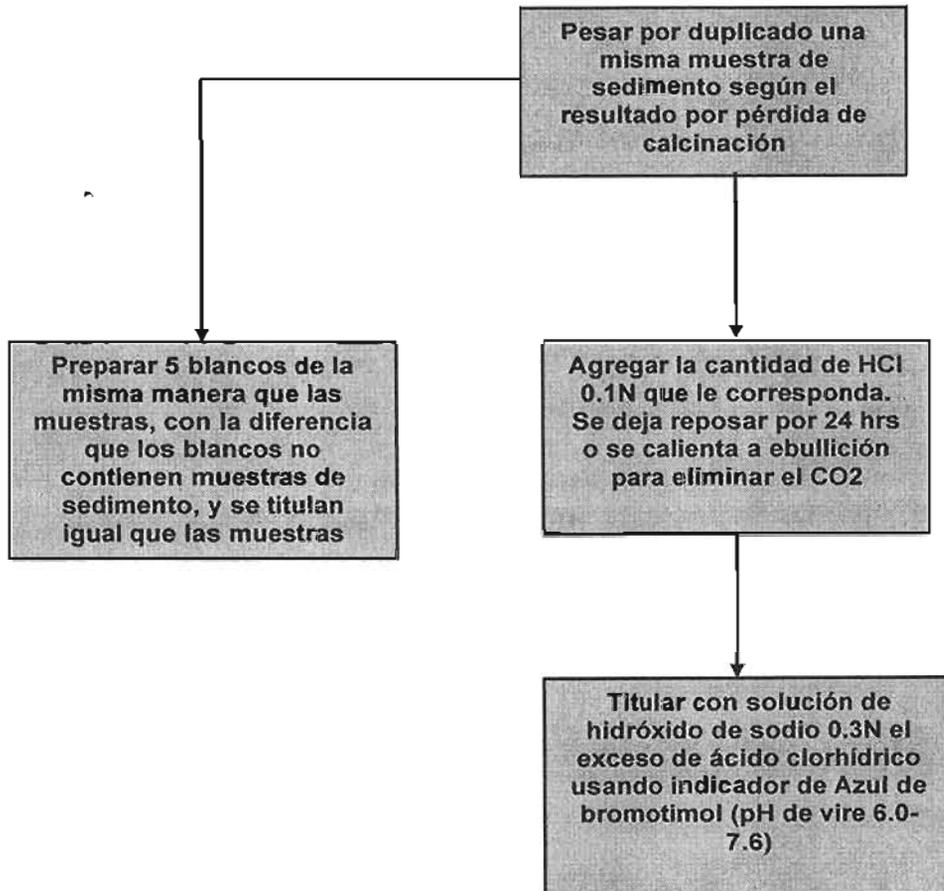
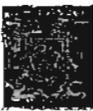


Figura (4.8).Ruta para la determinación de carbonato de calcio. Santiago, 1989



## 4.2.4 Determinación de elementos mayores y elementos traza por la técnica de Fluorescencia de R-X

El espectrómetro de fluorescencia de rayos-X (FRX) es un instrumento que determina cuantitativamente los elementos presentes en una determinada muestra (Fig. 4.9). Esto es posible a través de la aplicación de rayos-X en la superficie de la muestra y el posterior análisis de los fluorescentes rayos-X emitidos. La técnica de FRX no destructiva para la lectura de elementos traza en todos los tipos de muestras, incluyendo sólidos, líquidos, polvos, sedimentos etc. De esta forma, la técnica de fluorescencia de rayos-X es utilizada para investigación.

Para este estudio se utilizó un sistema secuencial de FRX Siemens SRS 3000 con detectores de flujo y centelleo, para el análisis de las muestras de los núcleos de sedimentos. (Fig. 4.10).

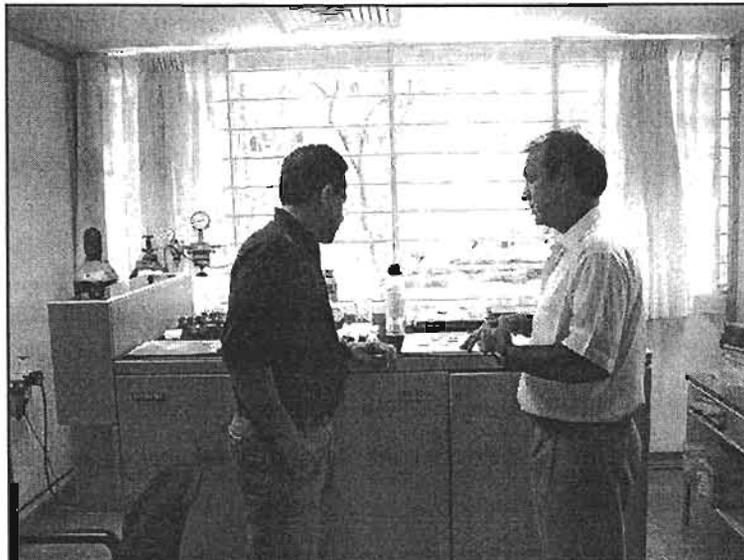


Figura (4.9). Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X (FRX)

La fluorescencia de rayos-X (FRX) utiliza señales de rayos-X para excitar una muestra desconocida. Los elementos individuales presentes en la muestra emiten sus rayos-X característicos (fluorescentes).

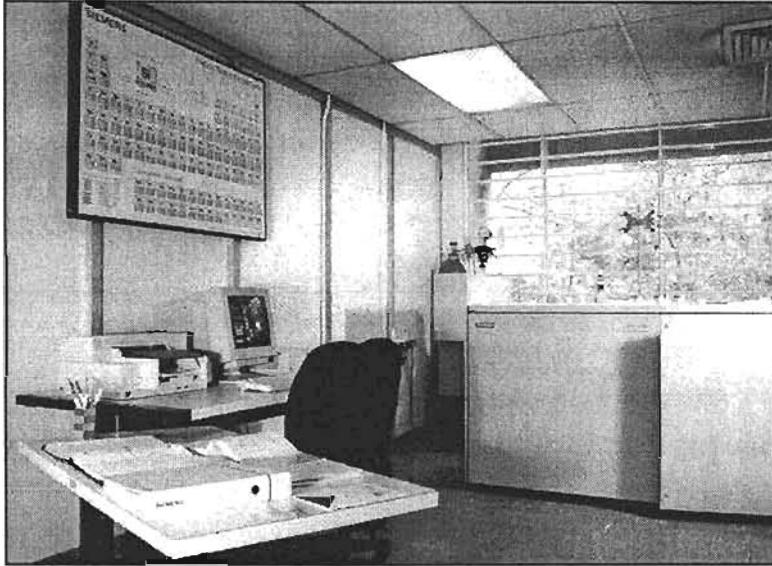


Figura (4.10). Sistema secuencial de FRX Siemens SRS 3000 (lubo de Rh y ventana de Be 125  $\mu\text{m}$ ) con detectores de flujo y centelleo

La fluorescencia de rayos-X tiene como finalidad principal el análisis químico elemental, tanto cualitativo como cuantitativo, de los elementos comprendidos entre el flúor (F) y uranio (U). En el análisis cuantitativo se dispone de un calibrado para muestras geológicas y similares, con patrones de referencia internacional (Fig. 4.11).



Figura (4.11). Patrones de referencia internacional



Los elementos mayoritarios que se determinan son:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y %PXC (pérdida por calcinación), y como elementos traza: V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ba, Nb, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Th y Pb.

En el trabajo de rutina las muestras a analizar han de ser sólidas y se preparan para su posterior análisis mediante compactación en una prensa (elementos trazas y semicuantitativo) (Fig. 4.12), o por fusión con una perladora (elementos mayoritarios) (Fig. 4.13).

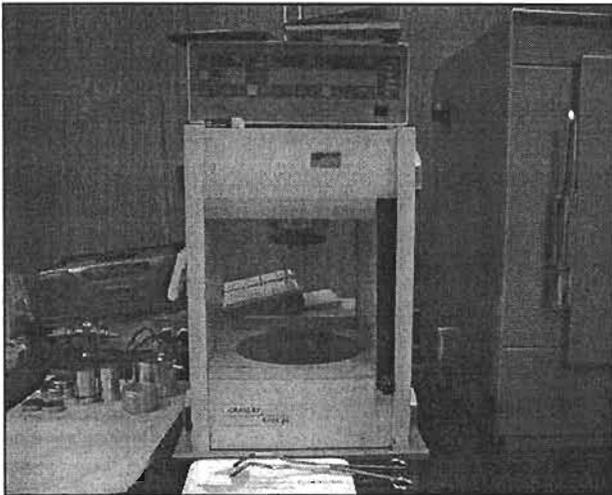


Figura (4.12). Prensa

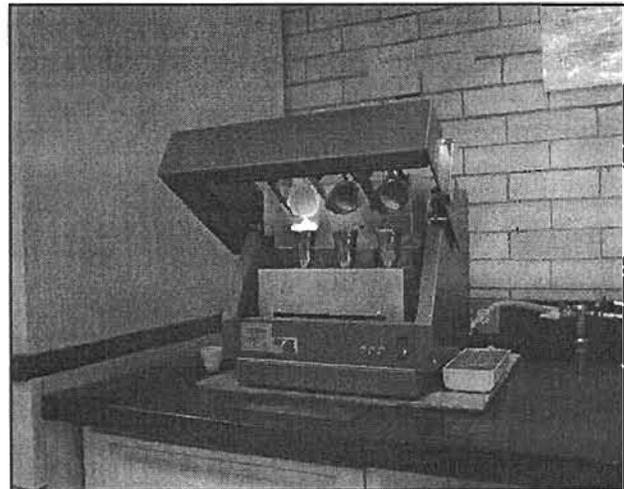


Figura (4.13). Perladora

### Preparación de muestras para la determinación de elementos mayores.

La preparación de muestras consiste en la fusión de 0.8g de muestra y 7.2g de fundente, constituido por  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  y  $\text{LiBO}_2$  granular, 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), bajo un procedimiento programado que controla el calentamiento en un período total de ~ 10 min. Se utiliza LiBr, en solución acuosa y con composiciones de 250g/l, como un agente no-mojante.

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  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{MgO}$  fueran fundidas y enfriadas, obteniéndose perlas de vidrio apropiadas para su medición (Lozano Santa Cruz. F., et.al, 1995).



Las muestras se analizaron en un sistema secuencial de FRX Siemens SR5 3000 (tubo de Rh y ventana de Be 125  $\mu\text{m}$ ) con detectores de flujo y centelleo en donde se compararon contra una curva de calibración compuesta por los siguientes estándares Tabla (4.4).

Tabla (4.4). Estándares de elementos mayores para la curva de calibración contra la que se compararon las muestras de sedimento

Estándar		Organización	Institución	Procedencia
NIM-P	Piroxenita	MINTEK	Council for Mineral Technology South Africa	Sudáfrica
JB1A	Basalto	GSJ		Japón
NIMN	Norita	MINTEK	Council for Mineral Technology South Africa	Sudáfrica
NIMS	Sienita	MINTEK	Council for Mineral Technology South Africa	Sudáfrica
JG1	Granodiorita	GSJ		Japón
NIMG	Granito	MINTEK	Council for Mineral Technology South Africa	Sudáfrica
BCU3	Basalto	UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México	México
BEN	Basalto	GIT-IWG		Francia
GH	Granito	CRPG		Francia
RGM1	Riolita	USGS	US Geological Survey	Estados Unidos

La exactitud de los datos obtenidos se evaluó analizando un material de referencia del Departamento de Fluorescencia de R-x del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (Tabla. 4.5).

Tabla (4.5). Exactitud del método de Fluorescencia de R-x., para metales mayores (n=4)

Metal	Valor Certificado (%)	Valor Determinado (%)	Intervalo de Confianza (95%)	Error relativo (%)
SiO <sub>2</sub>	50.58	50.353	±0.222	0.451
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.17	15.949	±0.217	1.386
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.53	10.099	±0.558	5.634
MnO	0.14	0.151	±0.011	7.285
MgO	8.17	8.183	±0.013	0.159
CaO	8.04	8.01	±0.029	0.375
Na <sub>2</sub> O	3.86	3.796	±0.063	1.686
K <sub>2</sub> O	1.15	1.096	±0.053	4.927
TiO <sub>2</sub>	1.75	1.783	±0.032	1.851
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.54	0.509	±0.030	6.090

Para el control analítico se insertaron muestras control durante los procesos de lavado, fusión y determinación de las concentraciones. La precisión media de cada metal determinada con una serie de replicas (n=4) del análisis de la muestra control, expresada como coeficiente de variación. Tabla (4.6).



Tabla (4.6). Precisión del método de Fluorescencia de R-x., para metales mayores (n=4)

Metal	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
SiO <sub>2</sub>	50.436	0.096	0.190
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.047	0.124	0.775
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.019	0.074	0.736
MnO	0.15	0.002	1.539
MgO	8.241	0.114	1.384
CaO	8.025	0.026	0.320
Na <sub>2</sub> O	3.832	0.037	0.953
K <sub>2</sub> O	1.103	0.011	0.969
TiO <sub>2</sub>	1.777	0.007	0.415
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.523	0.020	3.797

**Preparación de muestras para la determinación de elementos traza.**

Esta preparación consiste en el mezclado de 4g de polvo de muestra con 0.4 g de aglutinante *wax-c* micropolvo de *Hoechst*, para su posterior prensado a 30 ton/cm<sup>2</sup> durante 30 seg., en una prensa automática *Graseby/Specac*, con dado de 4cm de diámetro. Se cuenta con la posibilidad de evacuación de aire, lo cual permite extraer el gas presente y así evitar irregularidades en la muestra (Verma S. P. 1996).

Las muestras se analizaron en un sistema secuencial de FRX Siemens SRS 3000 (tubo de Rh y ventana de Be 125 μm) con detectores de flujo y centelleo en donde se compararon contra una curva de calibración compuesta por los siguientes estándares (Tabla. 4.7).

Tabla (4.7). Estándares de elementos traza para la curva de calibración contra la que se compararon las muestras de sedimento

Estándar	Organización	Institución	Procedencia	
NIM-P	Piroxenita	MINTEK	Council for Mineral Technology South Africa	Sudáfrica
JB1A	Basalto	GSJ		Japón
NIMN	Norita	MINTEK	Council for Mineral Technology South Africa	Sudáfrica
NIMS	Sienita	MINTEK	Council for Mineral Technology South Africa	Sudáfrica
JG1	Granodiorita	GSJ		Japón
NIMG	Granito	MINTEK	Council for Mineral Technology South Africa	Sudáfrica
BCU3	Basalto	UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México	México
BEN	Basalto	GIT-IWG		Francia
GH	Granito	CRPG		Francia
RGM1	Riolita	USGS	US Geological Survey	Estados Unidos



La exactitud de los datos obtenidos se evaluó analizando un material de referencia del departamento de Fluorescencia de R-x del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (Tabla. 4.8).

Tabla (4.8). Exactitud del método de Fluorescencia de R-x. para metales traza (n=4)

Metal	Valor certificado (ppm)	Valor determinado (ppm)	Intervalo de Confianza (95%)	Error relativo (%)
Rb	20	19	±0.98	5.26
Sr	567	553	±13.72	2.53
Ba	275	294	±18.62	6.46
Y	28.6	25	±3.53	14.40
Zr	225	234	±8.82	3.85
Nb	18.7	18	±0.69	3.89
V	178	193	±14.7	7.77
Cr	347	372	±24.5	6.72
Co	33.4	36	±2.55	7.22
Ni	163	159	±3.92	2.52
Cu	33.2	36	±2.74	7.78
Zn	83.7	80	±3.63	4.63
Th	3	4	±0.98	25
Pb	4	5	±0.98	20

Para el control analítico se insertaron muestras control durante los procesos de preparación. La precisión media de cada metal determinada con una serie de replicas (n=4) del análisis de la muestra control, expresada como coeficiente de variación. Tabla (4.9).

Tabla (4.9). Precisión del método de Fluorescencia de R-x. para metales traza (n=4)

Metal	Media	Desviación estándar	Coficiente de Variación (%)
Rb	19	0.8	4.21
Sr	556.75	10.1	1.81
Ba	295.5	8.7	2.94
Y	23.75	1.5	6.32
Zr	229.25	7.6	3.32
Nb	18.75	0.5	2.67
V	182.75	7.8	4.27
Cr	333	67.4	20.24
Co	36	1.4	3.89
Ni	168.5	7.8	4.63
Cu	37.75	1.5	3.97
Zn	78.25	1.3	1.66
Th	3	1.8	60
Pb	6.5	1.3	20



Para el uso de la técnica de FRX se prepararon las muestras en el laboratorio de contaminación marina del Instituto de Ciencias del mar y Limnología, siguiendo la siguiente técnica (Fig. 4.14).

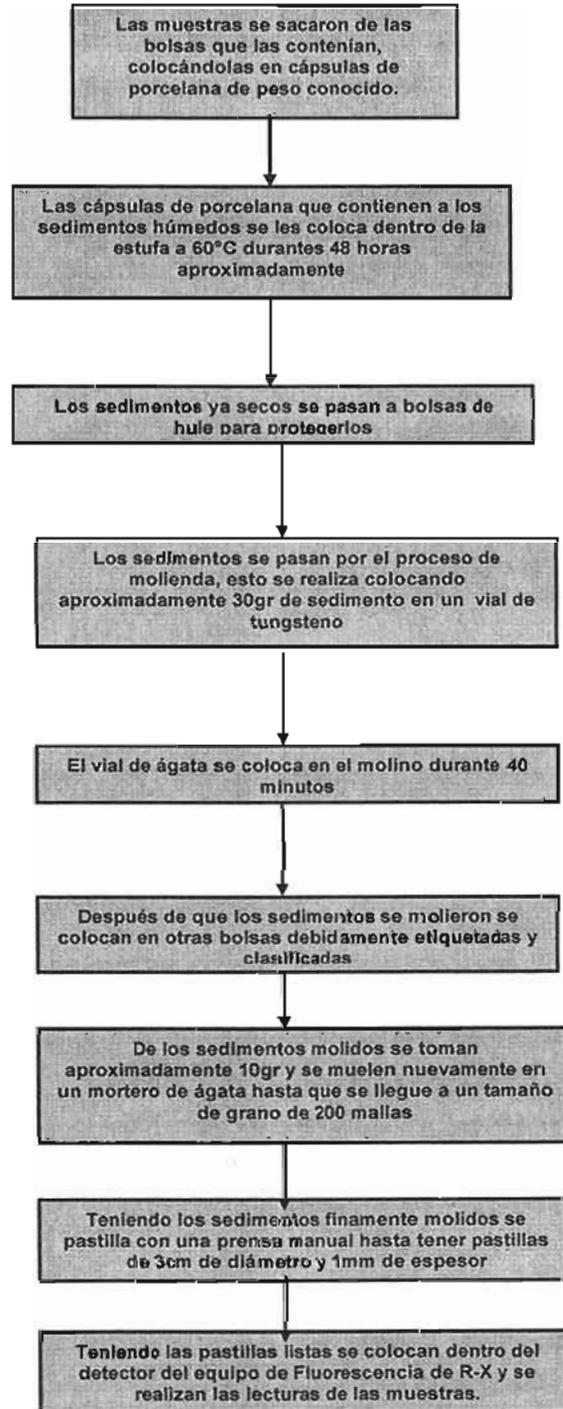


Figura (4.14). Tratamiento de las muestras de sedimento para el uso de la técnica de Fluorescencia de R-x.



#### 4.2.5 Determinación de la textura de las fracciones de cada núcleo.

Para la determinación de la textura de las fracciones de los núcleos de sedimento se hicieron pasar cada fracción por una serie de mallas para determinar el %gravas y %arenas (Fig. 4.15), para las partículas menores a 200 micras se tomo una alícuota de cada fracción a cada núcleo previamente disuelta en agua destilada, con el objetivo de mantener en solución a las partículas de sedimento utilizando para su lectura el equipo Coutler LS230 Beckman (Fig. 4.16) para determinar el %limos y %arcillas.

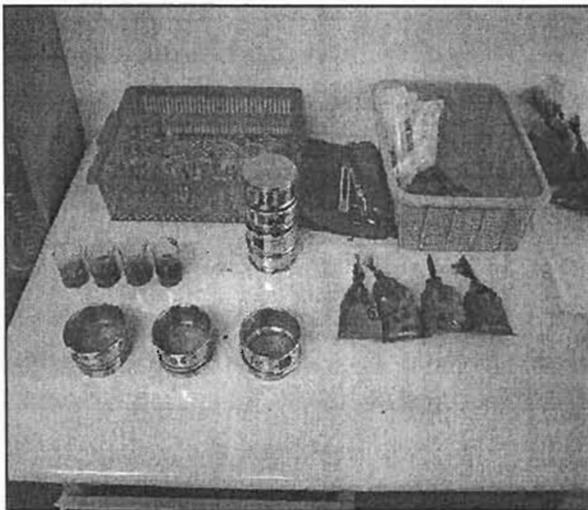


Figura (4.15). Mallas para determinar el %gravas y %arenas



Figura (4.16). Equipo Coutler LS230 Beckman

#### 4.2.6 Determinación de la actividad del isótopo $^{210}\text{Pb}$ , presente en las fracciones de cada núcleo.

El radioisótopo de plomo 210 ( $^{210}\text{Pb}$ ) es de origen natural, presenta una edad media de 22.3 años y proviene de la serie del radioisótopo del Uranio 238 ( $^{238}\text{U}$ ).

El  $^{210}\text{Pb}$  se presenta en los sedimentos de dos formas.

- Los materiales depositados contienen  $^{210}\text{Pb}$  derivado del decaimiento radioactivo del  $^{226}\text{Ra}$  (llamado "supported"  $^{210}\text{Pb}$ ).
- El  $^{226}\text{Ra}$  en rocas y suelos decae a  $^{222}\text{Rn}$  (gas). Algunos de los radioisótopos de  $^{222}\text{Rn}$  se difunden a la atmósfera y después van decayendo a  $^{210}\text{Pb}$ . Estos radioisótopos se precipitan con la lluvia y se incorporan en los sedimentos (llamados "excess"  $^{210}\text{Pb}$ ).



La deposición anual del radioisótopo "excess"  $^{210}\text{Pb}$  y se incorpora en los sedimentos, estos "excess"  $^{210}\text{Pb}$  van decayendo gradualmente en los sedimentos. Después de 22.3 años, la mitad de la cantidad original desaparece.

Midiendo la distribución vertical de la actividad del "excess"  $^{210}\text{Pb}$  acumulada en los sedimentos, permite suministrar un "cronometro radiométrico" el cual permite atribuir una fecha y describir los perfiles sedimentarios conociendo la relación de decaimiento (Cundy, A. B. 2002).

Para determinar la edad de los sedimentos se utilizó el método de datación del isótopo  $^{210}\text{Pb}$ . La datación usada del radioisótopo natural  $^{210}\text{Pb}$  se basa en la distribución vertical del  $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$  o  $^{210}\text{Pb}$  que surge a partir de una atmósfera radioactiva. Esto permite que las edades se atribuyan a los perfiles sedimentarios, basados en el conocimiento de la relación de decaimiento del  $^{210}\text{Pb}$  (Appleby and Oldfield, 1992, citado por Lee S.V., Cundy A.B. 2001).

La actividad del  $^{210}\text{Pb}$  en Bq/g, o número de desintegraciones atómicas por segundo por gramo) se determino a través de la medición de su nieto  $^{210}\text{Po}$  (Isótopo de Polonio 210) (método Proxy) usando espectrometría alfa realizandose en la Universidad de Sussex, Inglaterra. Los métodos usados se basan en Flynn (1968), usando un doble lixiviado ácido del sedimento y auto deposición del Po en el lixiviado sobre un disco de plata. El isótopo  $^{210}\text{Po}$  es usado como un trazador isotópico para determinar las actividades de la muestra. La actividad del isótopo  $^{210}\text{Pb}$  de soporte ( $^{210}\text{Pb}_{\text{supported}}$ ) fue determinado para el valor de la actividad constante del isótopo  $^{210}\text{Pb}$  con la profundidad (Cundy et al., 1995).

#### 4.2.7 Determinación de la mineralogía de los sedimentos.

Para la determinación mineralogica cualitativa de las fracciones de cada sedimento se utilizó la técnica de Difracción de rayos X (DRX) en un Difractómetro de rayos X para polvos SIEMENS D5000.

En el Difractómetro de Rayos X (DRX) se realizan las caracterizaciones estructurales e identificaciones de fases cristalinas, tanto naturales como sintéticas. Así mismo se pueden realizar medidas de reflectometría de rayos X, e incidencia rasante sobre películas delgadas. La cantidad y el tamaño de las muestras puede ser muy diverso:



desde miligramos en el caso de muestras en polvo, hasta bloques de varios centímetros con la plataforma multipropósito.

Para estudios de DRX, la muestra cristalina se moltura hasta obtener un polvo fino homogéneo. En esta forma, el enorme número de pequeños cristales está orientado en todas las direcciones posibles; y por tanto, cuando un haz de Rayos-X atraviesa el material, se puede esperar que un número significativo de partículas esté orientado de tal manera que cumpla las condiciones de Bragg para la reflexión para todo los espaciados interplanares posibles (Skoog and Leary, 1994). Las bandas obtenidas se comparan con una serie de patrones estándar, lo que permite definir los minerales en la muestra estudiada.

### **4.3 Técnicas estadísticas utilizadas**

#### **Análisis estadístico multivariado (AEM).**

Se utilizó el AEM para este estudio, ya que esta herramienta tiene la capacidad de hacer análisis en varias dimensiones, por eso su nombre de multivariado, y esto la hace una herramienta muy poderosa para los estudio en ecología, además de que da una gran capacidad de estudiar muchas variables a la vez, también tiene la característica de dar interpretaciones gráficas muy claras y precisas.

En este estudio se diseñaron matrices por el método de tipo R, para determinar las interrelaciones entre variables.

#### **Técnicas de análisis multivariantes.**

##### **4.3.1 “Análisis de Cluster”.**

El análisis de cluster es una técnica analítica para desarrollar subgrupos significativos de individuos u objetos.

De forma específica, el objetivo de esta técnica es clasificar una muestra de entidades (personas u objetos) en un número pequeño de grupos mutuamente excluyentes basados entre similitudes, esto quiere decir que el agrupamiento se realiza por las



semejanzas que tengas los individuos u objetos de estudio, así como también analiza las diferencias entre los individuos u objetos.

Para realizar un análisis por agrupaciones, en primer lugar se debe poder medir la semejanza o desemejanza entre dos observaciones separadas y, a continuación, la semejanza o desemejanza entre dos agrupamientos de observaciones.

Existen varias medidas de distancia. La más utilizada es la distancia Euclídiana que es una de las medidas utilizadas en este trabajo.

Una medida sencilla de desemejanzas es la distancia euclídiana estándar, también llamada distancia métrica, que es la distancia entre dos observaciones, si se pudieran representar las dos observaciones en el espacio muestral p-dimensional y se midiera la distancia entre ellas usando una regla.

La distancia euclídiana entre los puntos es la longitud de la hipotenusa de un triángulo rectángulo, calculada con la siguiente expresión.

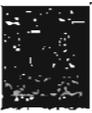
$$d_{ij} = \left\{ (x_i - x_j)(x_i - x_j) \right\}^{1/2} = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + \dots + (x_{ip} - x_{jp})^2} .$$

Otras de las medidas utilizadas en este trabajo fue el índice de correlación de pearson (r-pearson), que es una medida de similaridad, que es muy eficiente cuando se presentan datos con una gran variabilidad, como los que suelen encontrarse en datos químicos. El índice de correlación de pearson se calcula por la siguiente ecuación a partir de puntuaciones brutas.

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\left( (N \sum X^2 - (\sum X)^2) (N \sum Y^2 - (\sum Y)^2) \right)}}$$

Hay muchos métodos de clasificación que se pueden agrupar en:

**Métodos jerárquicos:** La asignación de una observación a un cluster es irrevocable. Una vez que se incluye en un cluster *ya no se cambia*.



**Métodos Aglomerativos:** Hacen series de fusiones de las observaciones en los grupos fijados. El más característico es de, el vecino más próximo que une las observaciones más cercanas en un primer cluster. Luego va realizando uniones de distancia mínima hasta que le queden tantos grupos como se le pide. Los métodos más utilizados son el de vecino más próximo y más lejano (Nearest Neighbor y Furthest Neighbor).

### **Vecinos Cercanos (Nearest Neighbor):**

También llamado encadenamiento simple, es un procedimiento que se basa en la distancia mínima. Encuentra los dos objetos separados por la distancia más corta y los coloca en el primer conglomerado. A continuación se encuentra la distancia más corta, y o bien un tercer objeto se une a los dos primeros para formar un conglomerado o se forma un nuevo conglomerado de dos miembros. El proceso continúa hasta que todos los objetos se encuentran en un conglomerado. El problema con esta técnica se produce cuando los conglomerados están mal definidos ya que pueden formar largas y sinuosas cadenas, y eventualmente todos los individuos pueden situarse en una cadena.

### **Vecinos lejanos (Furthest Neighbor):**

También conocido como encadenamiento completo, es un procedimiento parecido al de encadenamiento simple excepto en que el criterio de aglomeración se basa en la distancia máxima. La distancia máxima entre individuos de cada conglomerado representa la esfera más reducida (diámetro mínimo) que puede incluir a todos los objetos en ambos conglomerados. A este método se le denomina encadenamiento completo por que todos los objetos de un conglomerado se vinculan con el resto a alguna distancia máxima o por la mínima similitud. Esta técnica elimina el problema identificado para el encadenamiento simple. Este método fue el usado en este trabajo.

**Métodos Partitivos:** El más conocido, que tiene bastantes variantes es de las K-medias (k-means) que consiste en encontrar grupos que minimicen la distancia al centro del cluster.

Todos los métodos se basan en ir agrupando las observaciones más cercanas. En cualquiera de ellos es preciso indicar al Programa en cuantos Clusters se quieren clasificar los datos y las variables que se van a utilizar en la clasificación  $(X_1, X_2, \dots, X_k)$ .



El resultado es una tabla en la que se proporciona el número de elementos en cada grupo y los valores medios de cada una de las variables (**Centroides**). También se proporcionan diversos gráficos muy útiles (Villagarcía T. 2000).

## 4.3.2 “Análisis factorial”

El análisis factorial es un nombre genérico que se le da a una clase de métodos estadísticos multivariados cuyo propósito principal es definir la estructura subyacente en una matriz de datos.

Generalmente hablando, aborda el problema de cómo analizar la estructura de las interrelaciones (correlaciones) entre un gran número de variables con la definición de una serie de dimensiones subyacentes comunes, conocidas como factores. Con el análisis factorial, el investigador puede identificar primero las dimensiones separadas de la estructura y entonces determinar estas dimensiones y la explicación de cada variable, se pueden lograr los dos objetivos principales para el análisis factorial, el resumen y la reducción de datos.

Está es una técnica que permite particionar a una matriz de semejanzas, dentro de un eje ortogonal. La matriz se inicia con una matriz de varianza-covarianza, o a través de correlaciones; también es posible utilizar distancias euclidianas (Hair J.F and Anderson R.E, 1999).

### 4.3.2.1 Componentes Principales.

Uno de los problemas principales que afectan al estudio de grandes masas de datos, es que las variables explicativas suelen ser muy parecidas: contienen información equivalente. En efecto, cuando un investigador reúne información sobre cualquier fenómeno tiende a incorporar diversas variables que son semejantes pero no iguales, de modo que el análisis resulta complejo y surgen graves problemas de colinealidad entre las variables  $X$ . Así, por ejemplo en regresión múltiple, cuando existe multicolinealidad, no queda más remedio que eliminar algunas variables. Pero eso implica una pequeña pérdida de información.

Una forma alternativa de abordar el problema de la información recurrente es construir un conjunto de nuevas variables  $Z$  menor que el inicial  $X$  y que contengan la máxima información posible. Componentes Principales parte de la idea de transformar las variables originales  $X = X_1, X_2, \dots, X_k$  en un conjunto de variables  $Z = Z_1, Z_2, \dots, Z_p$  tales que  $p < k$ . Es decir se va a sustituir las variables iniciales altamente correlacionadas entre sí, por un nuevo conjunto menor de variables no correlacionadas.



La idea es, por tanto, sustituir el conjunto de variable inicial  $X$  por otro conjunto más pequeño  $Z$ . Para ello se definen las nuevas variables  $Z$  como combinaciones lineales de las viejas variables  $X$ :

$$\begin{aligned} Z_1 &= v_{11}X_1 + v_{12}X_2 + \dots + v_{1k}X_k \\ Z_2 &= v_{21}X_1 + v_{22}X_2 + \dots + v_{2k}X_k \\ &\dots \\ Z_p &= v_{p1}X_1 + v_{p2}X_2 + \dots + v_{pk}X_k \end{aligned}$$

Es decir las nuevas variables serán una combinación de las variables existentes  $X_1, X_2, \dots, X_k$ .

A estas nuevas variables se les denomina Componentes Principales y se calculan como los autovectores de la matriz  $X'X$  de observaciones. Estos cálculos complicados los realiza cualquier paquete estadístico.

Lo más importante en este tipo de análisis es que el número de variables  $Z$  sea menor que el número original de variables  $X$ . De hecho el objetivo de estas técnicas es, precisamente, reducir la dimensionalidad de los datos.

Surge pues el problema de determinar cuantas variables  $Z$  o componentes debemos incluir en el análisis. Para resolver este problema nos basaremos en las siguientes ideas:

1. La información total contenida en las  $k$  variables  $X$  va a ser explicada por un conjunto de variables  $Z$  que es menor.
2. Por tanto *NO TODA* la información contenida en las  $k$  variables  $X$  va estar contenida en las variables  $Z$ . Perderemos algo de información.
3. Debemos elegir el número de variables  $Z$  adecuado teniendo en cuenta que **VAMOS** a perder algo de información.

Para definir el número óptimo de Componentes  $Z$  utilizaremos la cantidad de varianza que explica cada componente. Así, si tenemos  $k$  variables  $X$ , el 100% de la varianza (Información) contenida por esas variables sólo puede ser explicada por  $k$  variables  $Z$ .



El coste de reducir el número de variables es, precisamente, perder "algo" de información (Villagarcía T. 2000).

### 4.3.2.2 Rotación Varimax

Los métodos dados para obtención de los factores no siempre conduce a una solución más clara y convincente para una interpretación científica de los factores, procediéndose a obtener otra solución como "rotación" de la solución obtenida. Se trata de obtener matrices factoriales "con significado" que cumplan unos requisitos que algunos autores llaman de estructura simple:

- Cada fila de la matriz factorial debe tener un cero por lo menos.
- Cada columna de la matriz factorial deberá contener "m" ceros por lo menos (m factores comunes).
- Para cada par de columnas de la matriz factorial deberá haber varias variables cuyas entradas se anulen en una columna pero no en la otra.
- Para cada par de columnas de la matriz factorial una gran proporción de las variables deberán tener entradas nulas en ambas columnas cuando hay cuatro o más factores
- Para todo par de columnas de la matriz factorial deberá haber solamente un número pequeño de variables con entradas no nulas en ambas columnas.

Dentro de la hipótesis de ejes factoriales ortogonales se tiene dos tipos de rotaciones. La rotación quartimax o criterio quartimax tiene por objeto determinar la transformación ortogonal que transforma la matriz factorial  $\Lambda$  en otra  $\Gamma$  de manera que la varianza de los cuadrados de las cargas factoriales es máxima, recayendo el énfasis del método en la simplificación de la descripción de las filas o variables.

La rotación varimax o criterio varimax que es el se uso en este estudio, hace énfasis en la simplificación de las columnas o factores de la matriz factorial (Kaiser, 1958, citado por Johnson D.E. 2000) con el fin de satisfacer los criterios de estructura simple, maximizándose la suma de varianzas de los cuadrados de las cargas factoriales de cada factor, como se aprecia en la siguiente ecuación.



$$V = \frac{1}{p^2} \sum_{q=1}^m \left[ p \sum_{j=1}^p \frac{b_{jq}^4}{h_j^4} - \left( \sum_{j=1}^p \frac{b_{jq}^2}{h_j^2} \right)^2 \right]$$

Donde  $h_j^2$  es la comunidad de la  $j$ -ésima variable respuesta,  $j = 1, 2, \dots, p$ . La matriz ortogonal  $T$  que maximiza la suma precedente produce la rotación Varimax de la matriz de cargas de factores. Este ajuste da mayor peso a las variables que tienen las comunidades más grandes y menor a las que tienen las comunidades pequeñas, es decir, menos peso a las variables que tienen menos en común con las demás.

De esta manera se consiguen mejores contrastes entre las variables. Las comunalidades se mantienen.

### 4.3.3 “Análisis multidimensional”

El análisis multidimensional (MSD) consiste en una serie de técnicas que ayudan al investigador a identificar las dimensiones subyacentes claves en las evaluaciones de los objetos de estudio por parte de los encuestados.

El análisis multidimensional se basa en las comparaciones entre objetos, al comparar las características que un objeto tiene con respecto a las características de otro objeto, estas semejanzas entre objetos se determinan por lo que se le ha llamado “estrés”, las mayores semejanzas entre objetos presentan un “estrés” de casi cero y cuando hay poca o ninguna semejanza entre objetos el “estrés” es cercano a uno. Gráficamente el “estrés” cercano a cero (gran semejanza entre objetos) está representado por la cercanía de puntos entre los objetos más semejantes, cuando el “estrés” es cercano a uno (nula semejanza entre objetos) se representa por la mayor distancia entre puntos de los objetos que no presentan semejanza.

El estrés de Kruskal es la medida más utilizada en la determinación de un modelo de buen ajuste y fue la medida que se utilizó en este estudio.



Es estrés de Kruskal se define cómo:

$$\text{Estrés} = \sqrt{\frac{(d_{ij} - \hat{d}_{ij})^2}{(d_{ij} - \bar{d})^2}}$$

Donde:

$\bar{d}$  = la distancia media ( $\sum d_{ij}/n$ ) sobre el mapa.

$\hat{d}_{ij}$  = distancia obtenida a partir de los datos de similitud

$d_{ij}$  = distancias originales facilitadas por los encuestados o datos originales de estudio.

El análisis multidimensional, también conocido como elaboración de mapas preceptuales, es un procedimiento que permite al investigador determinar la imagen percibida relativa de un conjunto de objetos.

El análisis multidimensional se basa en las comparaciones entre objetos (Hair J.F and Anderson R.E, 1999).

Para este estudio se tomaron cuatro poblaciones, que corresponden a cada uno de los cuatro núcleos, esto se realizó con el objetivo de conocer cada una de las características de los núcleos.

Para esto se diseñó una matriz de tamaño  $S \times n$ , para cada núcleo, donde por ejemplo, los casos de estudio son las fracciones tomadas de cada núcleo de sedimento, representados por "S", y las variables como los elementos mayores (%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %SiO<sub>2</sub>, %TiO<sub>2</sub>, %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %MnO, %MgO, %CaO, %Na<sub>2</sub>O, %K<sub>2</sub>O y %P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), materia orgánica (%), carbonatos (%), elementos traza (en partes por millón) (Rb, Sr, Ba, Zr, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, y Pb) y la textura (%gravas, %arenas, %limos y %arcillas), representados como "n" en la matriz, teniendo en forma matemática una matriz de tamaño  $S \times n$ , y esto se hizo para los cuatro núcleos.

El análisis estadístico multivariado se desarrolló con la ayuda del software estadístico STATISTICA 6.0



#### 4.3.4 Elaboración de gráficos.

En la elaboración de gráficos se aplicó un análisis estadístico empleando el coeficiente de correlación de Pearson.

##### 4.3.4.1. Coeficiente de Pearson.

El coeficiente de correlación es un valor que expresa el grado y la dirección de la asociación lineal entre dos variables.

Los valores de  $r$  siempre están entre -1 y 1. El grado, o sea la magnitud de la asociación está dada por el valor  $r$ . Se considera que cuanto más cercano se encuentre a cero, menos será la asociación lineal.

La dirección de la asociación está dada por el signo de  $r$ , cuando  $r$  es positivo, a un aumento de una variable corresponde un aumento en la otra. El signo negativo implica que a un incremento en una variable corresponde un decremento en la otra.

Más información sobre la asociación entre las variables se obtiene mediante el llamado coeficiente de determinación  $r^2$ , que es el valor de  $r$  elevado al cuadrado.

Si el valor de  $r^2$  es pequeño, se concluye que los datos no se ajustan bien a una línea recta:  $r^2$  se interpreta como la proporción de la variable  $Y$  que es explicada por la variable  $X$  a través del modelo.

Ecuación de la correlación de Pearson.

$$r = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)(\sum Y^2 - n\bar{Y}^2)}}$$

Se utilizó el software gráfico SIGMA PLOT (versión 8.0)



### 4.3.5 Elaboración de planos

Para elaborar los planos de distribución de elementos mayores ( $\%Al_2O_3$ ,  $\%SiO_2$ ,  $\%TiO_2$ ,  $\%Fe_2O_3$ ,  $\%MnO$ ,  $\%MgO$ ,  $\%CaO$ ,  $\%Na_2O$ ,  $\%K_2O$  y  $\%P_2O_5$ ), materia orgánica (%), carbonatos (%), elementos traza (en partes por millón) (Rb, Sr, Ba, Y, Zr, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn y Pb) y la textura (%gravas, %arenas, %limos y %arcillas) de este trabajo se utilizó el software gráfico SURFER (versión 8.0), el método de interpolación fue el de Kriging.

### 4.3.6 Normalización.

Es usual la estrecha relación entre la concentración de metales y el tamaño de grano en sedimentos marinos tendiendo a asociarse los metales con partículas de granos finos (Liven and Baxter, 1988; Cundy et al., 1997, citado por Lee S.V., Cundy A.B., 2001), a esta relación se le conoce como normalización. El aluminio es frecuentemente usado como un representante del tamaño de grano en sedimentos marinos y de estuarios (Zwolsman et al., 1993; Cundy and Croudace, 1995; citado por Lee S.V. and Cundy A.B; 2001).

Otros autores sugieren al Cesio (Cs) (Ackerman, 1980; citado por Lee S.V. and Cundy A.B; 2001) y el litio (Li) (Loring, 1990; citado por Lee S.V. and Cundy A.B; 2001) para la normalización del tamaño de grano. Sin embargo, el Cs se presenta usualmente en muy baja concentración en sedimentos de estuarios y el Li no puede ser cuantificado usando la técnica de FRX (Grant and Middleton, 1990; citado por Lee S.V. and Cundy A.B; 2001).

El hierro (Fe) y el titanio (Ti) son otros potenciales representantes del tamaño de grano de sedimentos (Lee S.V. and Cundy A.B; 2001). Sin embargo, en la zona de la desembocadura del Río Pánuco se sabe que las concentraciones de estos elementos son relativamente altas, haciendolos malos candidatos como elementos de referencia para la normalización de sedimentos.



El aluminio es el elemento que más ampliamente se utiliza para la normalización de datos de concentraciones de metales traza en material en suspensión marina y en sedimentos. El aluminio es un buen candidato como elemento de referencia con el que se normalizan las concentraciones de metales, por las siguientes razones.

- 1) Es el segundo metal más abundante de la corteza terrestre.
- 2) Las proporciones *metal/aluminio* son relativamente constantes en la corteza (Turekian & Wedepohl, 1961, citados por Schropp et al., 1990 y Bahena, 1999).
- 3) Es el más grande constituyente de los aluminosilicatos de grano fino con los que la mayoría de los metales traza están asociados (Loring, 1991, citado por Bahena, 1999).
- 4) Las concentraciones de aluminio, probablemente no están afectadas significativamente por fuentes antropogénicas de aluminio (Schropp et al., 1990 citado por Bahena, 1999).

Como el aluminio es un elemento conservativo las relaciones *metal/aluminio* (que minimizan los efectos de tamaño de grano en datos de concentración de metales pesados) se utilizan para estudiar la movilidad de los metales pesados en ambientes fluviales (Bruland et al., 1974 citado por Schropp, 1990 y Bahena, 1999).

Por lo antes mencionado es posible determinar la movilidad relativa de diferentes metales estudiando la relación *metal/aluminio*.



### 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 Textura

Se sabe que la distribución granulométrica de los sedimentos superficiales de la plataforma continental frente a la desembocadura del Río Pánuco presenta diferentes patrones en la distribución de los tamaños de partícula y no se observa el comportamiento generalizado en que se da una gradación de tamaños finos de la costa hacia mar adentro, esto es debido a que existen diversos mecanismos de distribución del sedimento una vez que han sido aportados por los ríos como las corrientes de turbidez, las corrientes litorales y el relieve submarino (Cabrera Ramírez, 2003).

En base a lo antes mencionado el sitio de estudio se pudo dividir en tres zonas para su estudio de acuerdo a las características texturales determinadas por Cabrera Ramírez, 2003 (Figura 5.1).

#### **Zona 1.**

Se encuentra ubicada frente a la desembocadura del Río Pánuco. Los sedimentos superficiales de esta zona tienen una concentración de gravas entre 2% y 30%, los fragmentos de gravas corresponden en su mayoría con restos de bivalvos y corales, también presenta una concentración de arenas dentro de un rango de 20% y 30%, la mayor concentración está distribuida hacia la línea de costa. La concentración de limos se encuentra en un rango de entre 40% y 60%, y por último la concentración de arcillas se encuentra en un rango de 10% y 20%.

#### **Zona 2.**

Se encuentra ubicada al Noreste de la desembocadura del Río Pánuco. Los sedimentos superficiales de esta zona se caracterizan por tener una concentración de gravas entre 10% y 40%, una concentración de limos de entre 20% y 50%, y se tiene una concentración de arcillas del 15% al 50% en los sedimentos superficiales.



Zona 3.

Se ubica al Este de la desembocadura del Río Pánuco. En esta zona se tiene una predominancia de arenas y limos en los sedimentos superficiales. La concentración de arenas esta en un intervalo del 40% al 70% y la concentración de limos esta entre el 10% y 40%.

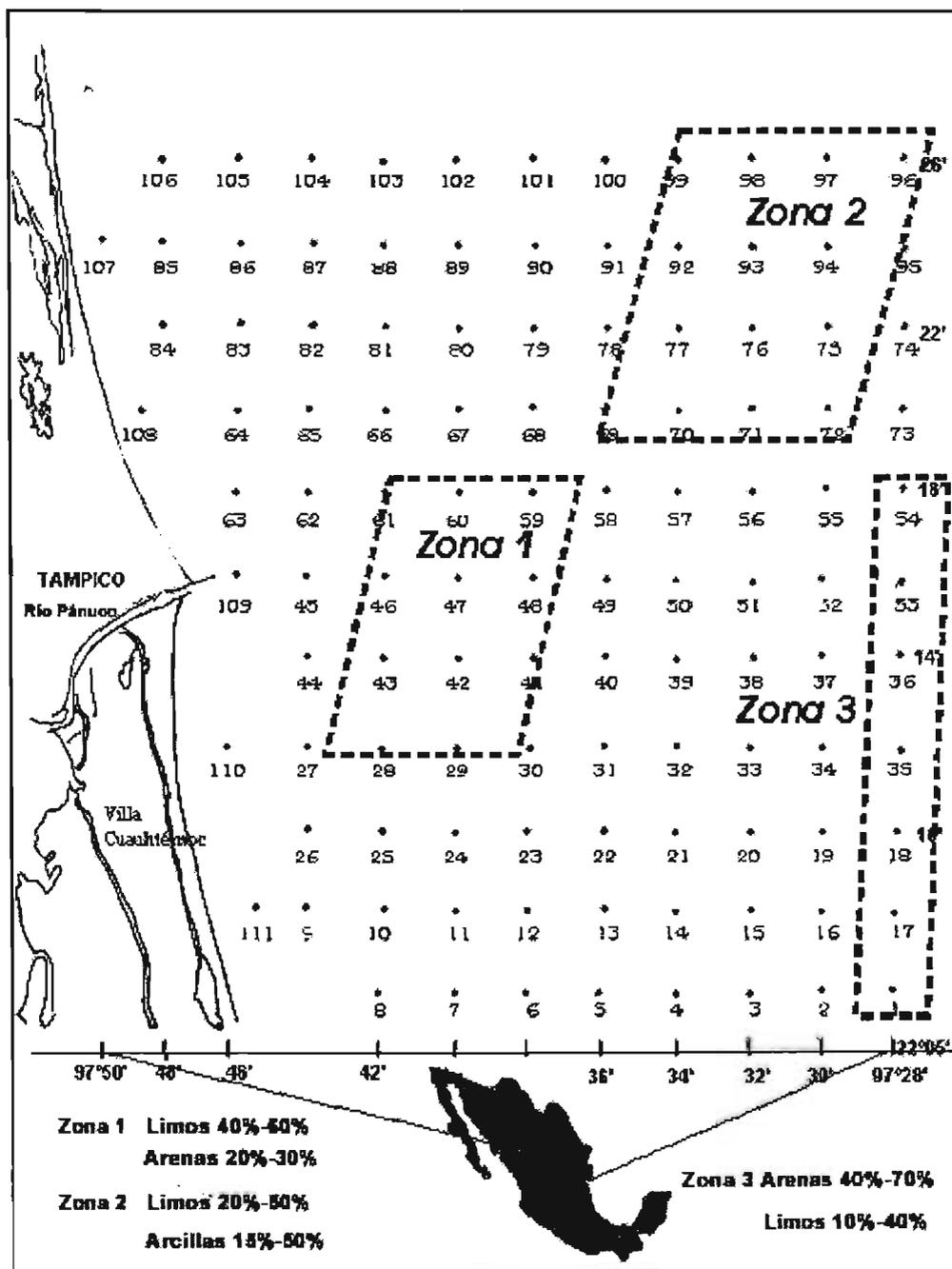


Figura (5.1). Ubicación de las zonas de estudio por el tamaño de partículas de los sedimentos superficiales



En esta investigación se muestrearon núcleos de sedimentos en las tres zonas antes mencionadas para conocer con mayor precisión el comportamiento y el efecto que tiene el Río Pánuco sobre la plataforma marina según el tamaño de las partículas de los sedimentos. En la Zona 1 y la Zona 2 se muestreo un núcleo de sedimento, núcleo 47 y núcleo 93, respectivamente y por ultimo en la Zona 3 se muestrearon dos núcleos de sedimento, núcleo 17 y 53.

En el área de estudio al unir los puntos donde se muestrearon los cuatro núcleos de sedimentos se forma un polígono (Fig. 5.2), el cual se estudio para conocer el comportamiento y características químicas y físicas de los sedimentos que se han depositado frente a la desembocadura del Río Pánuco, y que se discuten en este trabajo.

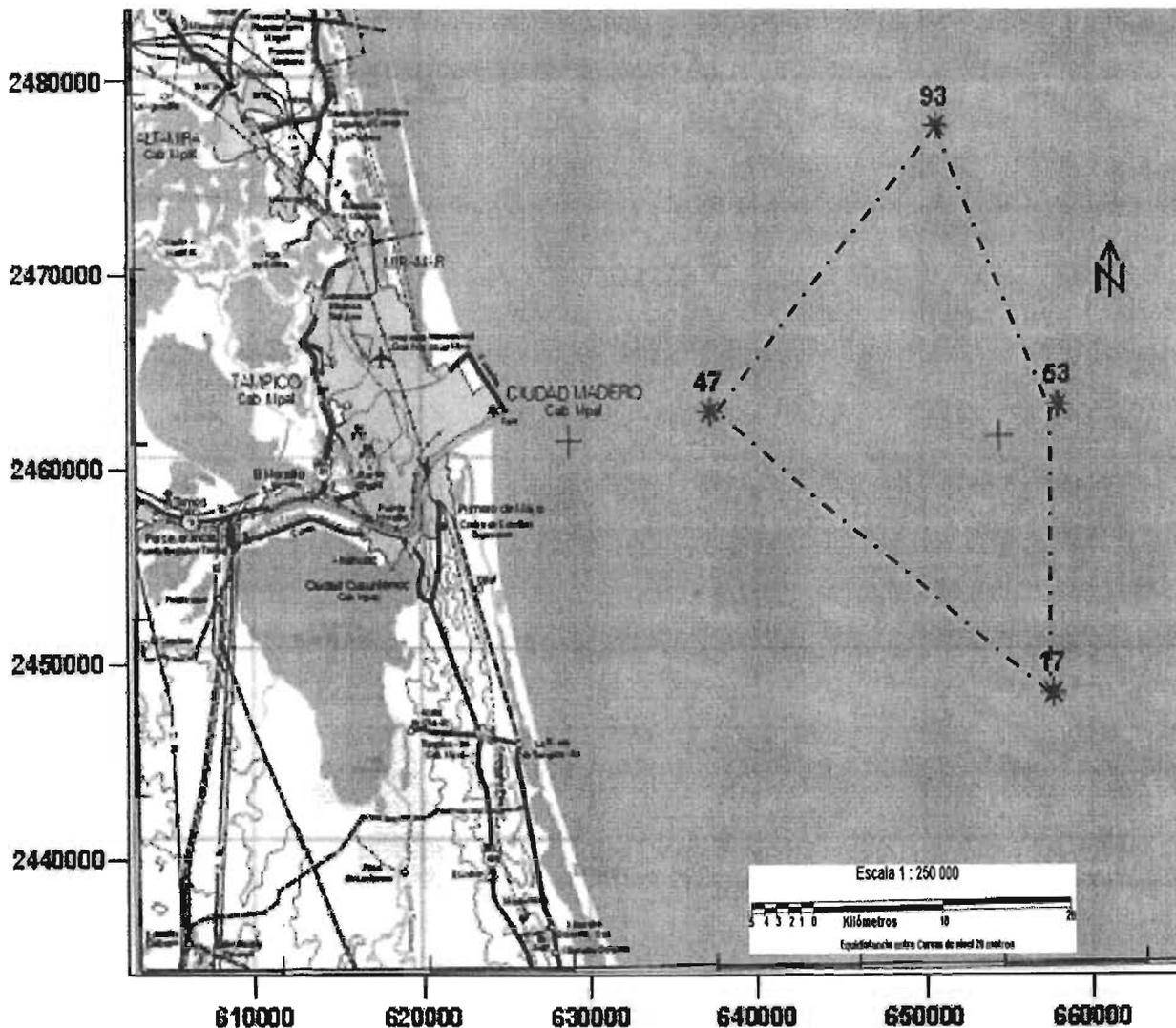


Figura (5.2). Zona de estudio delimitada por los cuatro sitios donde se muestrearon los núcleos de sedimento



En la Figura (5.3) se observa el relieve de la zona, donde fueron muestreados los cuatro núcleos de sedimento, donde se aprecia que la zona ubicada más cerca a la desembocadura del Río Pánuco presenta la menor profundidad con 38 m, justamente donde fue muestreado el núcleo 47 de sedimento. Conforme se avanza mar adentro se va incrementando la profundidad, teniendo la mayor profundidad en la zona donde se muestreó el núcleo 53 de sedimento presentando una profundidad de 70 m, mostrando que probablemente exista un cañón submarino más allá del sitio donde se muestreo el núcleo 53, esto sugiere que existe poca aportación de sedimentos del Río Pánuco en esta zona.

Por el contrario, se observa que en la zona donde se muestreo el núcleo 93 de sedimento se tiene una profundidad de 60 m, diez metros menos que donde se muestreo el núcleo de sedimento 53, esto sugiere un probable aporte de sedimentos del Río Pánuco. De manera semejante, encontramos que el núcleo 17 de sedimento se muestreo a una profundidad de 58 m a una profundidad muy semejante de la zona donde se muestreo el núcleo 93 de sedimento, con la diferencia de que en el la zona donde se muestreo el núcleo 17 presenta importantes concentraciones de gravas y arenas, algo de lo que en la zona donde se muestreo el núcleo 93 carece de manera importante, esto sugiere que probablemente los sedimentos presentes en la zona donde se muestreo el núcleo 17 no provengan del Río Pánuco.

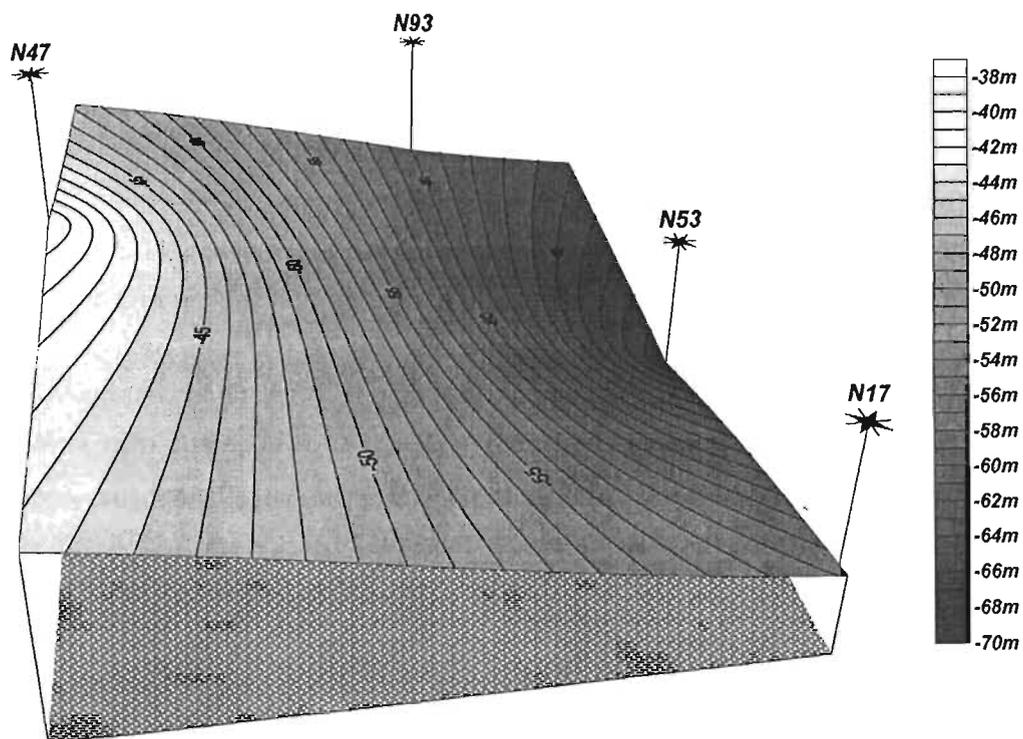


Figura (5.3). Relieve de la zona de muestreo de los cuatro núcleos de sedimento



### 5.1.1 Textura de los núcleos de sedimento.

Los núcleos de sedimento son fundamentales para estudios geológicos y geotécnicos, y recientemente para la investigación histórica de entradas de contaminantes a los sistemas acuáticos. El muestreo de los estratos superficiales suministra información sobre la distribución horizontal de parámetros o propiedades de interés del material recientemente depositado, tal como la distribución de tamaño de partícula o composición geoquímica del sedimento. Una columna de sedimento que incluye el estrato de sedimento superficial (10cm a 15cm) y el sedimento que se encuentra por debajo de este estrato se colecta para estudiar los cambios históricos en los parámetros de interés o para definir zonas contaminadas (Mudroch A., MacKnight S., 1994).

La distribución textural de los diferentes estratos de los núcleos es muy diversa, en los núcleos de sedimentos 47 y 93 la concentración de gravas es cero (Tabla 5.1 a y b).

El núcleo 47 que se ubico en la Zona 1, frente a la desembocadura del Río Pánuco, se determino una concentración de arenas que se encuentra en un rango de 24.8% a 36.9%, la menor concentración de arenas se determino a los 16cm de profundidad y las altas concentraciones de arenas se determinaron en los primeros tres centímetros.

La concentración de limos en este núcleo esta un rango del 45.3% y 50.3%, la mayor concentración de limos se encontró a los 16cm de profundidad y las más bajas concentraciones de limos se determinaron en los tres primeros centímetros del núcleo. La concentración de arcillas se determino que están en un rango del 17.7% al 24.8%, la mayor concentración de arcillas se determino a los 16cm del núcleo de sedimento y las menores concentraciones de arcillas se tienen en los primero centímetros (Tabla 5.1a). En núcleo 47 se determino que tiene una predominancia en la concentración de limos. La concentración de arenas tiene un comportamiento inverso a los limos y a las arcillas, donde tenemos que la mayor concentración de arenas (36.9%) se encuentra en los primero tres centímetros del núcleo mientras que a los 16cm de profundidad se determinaron las menores concentraciones de arenas (24.8%) (Fig. 5.11a). Esta distribución muy probablemente se debe a que en épocas recientes han existido aportes directos del Río Pánuco debido a lluvias intensas con lo que el río se vuelve más caudaloso aportando material más grueso mientras que en épocas anteriores han



existido climas más secos que permitieron una sedimentación de limos y arcillas que se depositaron de manera más lenta (Fig. 5.4).

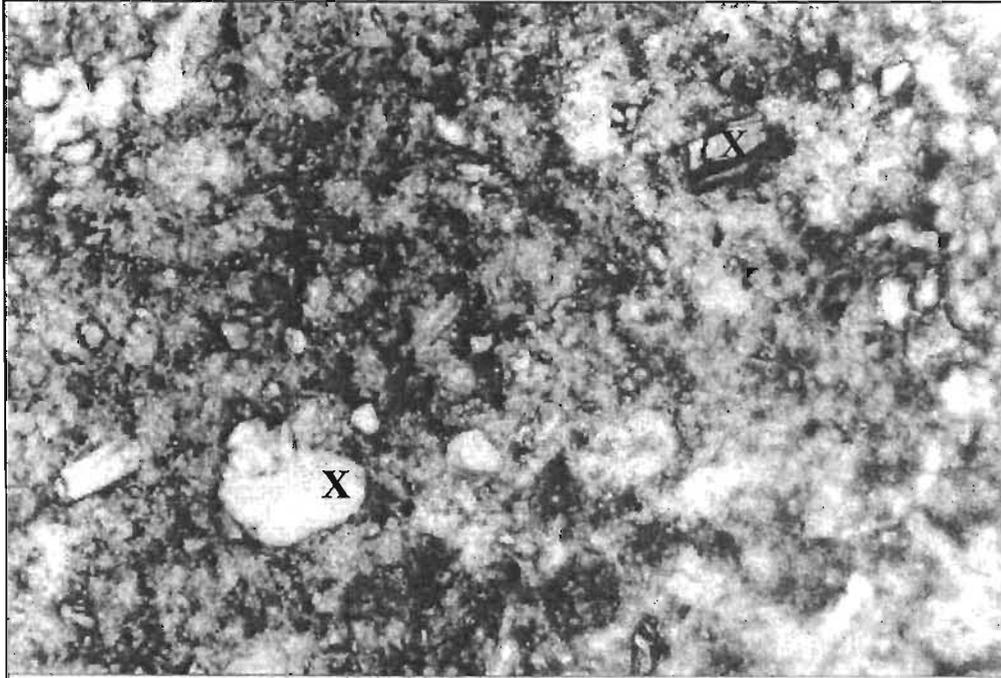


Figura (5.4). Fotografía del núcleo 47 de sedimento donde se aprecia las partículas de limos y arcillas donde se observan partículas mayores de arenas (marcado con X), siendo los limos las partículas de mayor concentración (Foto de 100 aumentos)

El núcleo 93 de sedimento se encuentra en la Zona 2, ubicado al Noreste de la desembocadura del Río Pánuco, en este núcleo de sedimento se determinó una concentración de arenas que se encuentra en un rango de 7.18% a 10.83%, la menor concentración de arenas se determinó a los 22cm de profundidad y las más altas concentraciones de arenas se determinaron a los 6cm (10.8%) de profundidad. Las arenas se encuentran en muy baja concentración en este núcleo.



La concentración de limos en este núcleo está en un rango del 60.6% y 68.3% (Fig. 5.11b), la mayor concentración de limos se encontró en los primeros centímetros del núcleo presentando partículas importantes de cuarzo (Fig. 5.5), las más bajas concentraciones de limos se determinaron a los 24cm de profundidad del núcleo.

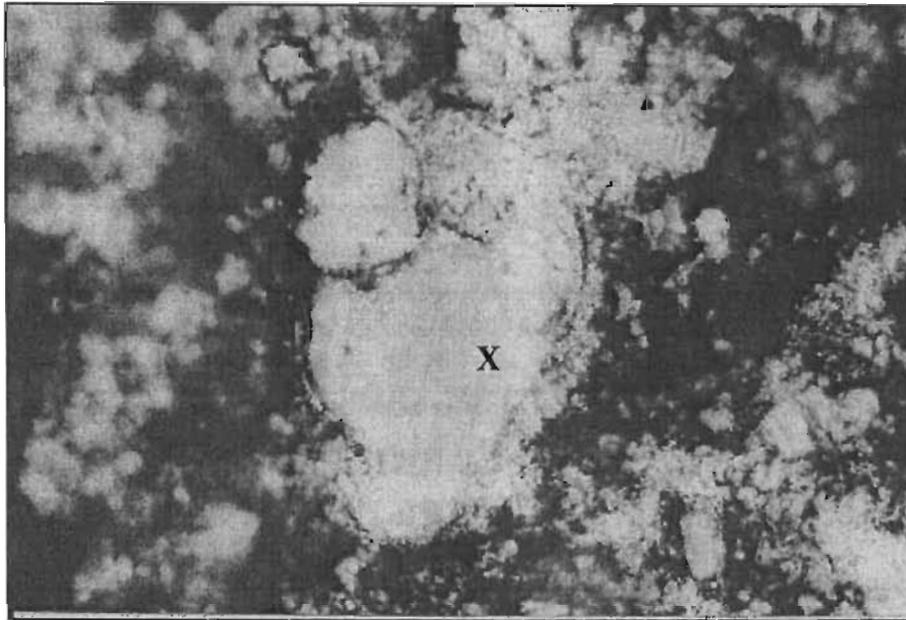


Figura (5.5). Fotografía de los primeros centímetros del núcleo 93 de sedimento donde se aprecia una partícula muy probablemente de cuarzo (marcado con X), rodeada de partículas de limos (Foto de 200 aumentos)

Las arcillas son los depósitos más importantes después de los limos, la concentración de arcillas se determinó que están en un rango del 22.3% al 31.3%, la mayor concentración de arcillas se determinó a los 22cm de profundidad del núcleo de sedimento y las menores concentraciones de arcillas se tiene en los primeros centímetros (Tabla 5.1b). Las arcillas tienen cantidades importantes de monmorillonitas, illitas y caolinitas, y partículas de calcita que parecen no pertenecer a la matriz original (Fig. 5.6).

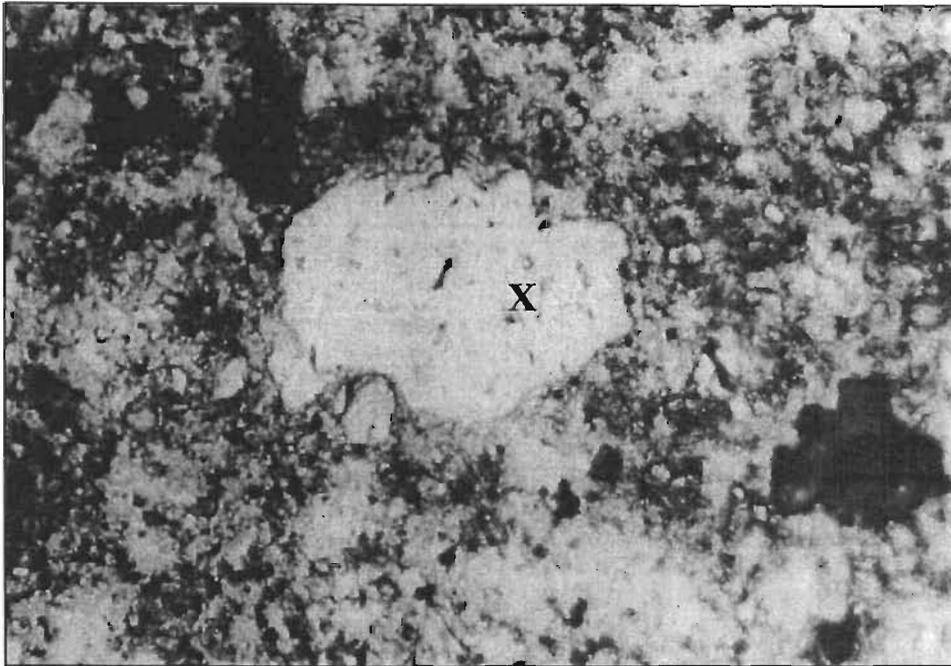


Figura (5.6). Fotografía del núcleo 93 de sedimento donde se presenta una probable partícula de calcita (marcado con una X) independiente de la matriz limos y arcillas (Foto de 100 aumentos).

Esta distribución probablemente se debe a que la zona donde se muestreo el núcleo 93 de sedimento esta pobremente influenciado por la fuerza de los caudales del Río Pánuco y por este motivo no se encuentren materiales de mayor tamaño como las arenas, mientras que las partículas más pequeñas como los limos y arcillas pueden ser transportadas por corrientes marinas, como las de Lazo, a zonas de menor energía donde pueden sedimentarse lentamente.

Los núcleos 17 y 53, tienen características texturales muy diferente a los núcleos 47 y 93, presentando los primero una concentración considerable de gravas.

El núcleo 17 se encuentra en la Zona 3, ubicado al Sureste de la desembocadura del Río Pánuco presentando una predominancia en la concentración de arenas y limos, teniendo su mayor aporte de arenas a los 18cm (44.9%) y de limos a los 6cm (44.1%) de profundidad del núcleo. Las arenas son los depósitos más importantes después de los limos. Las gravas son las que siguen en grado de importancia, presentando su máxima concentración a los 16cm (24.3%) de profundidad y por ultimo se determino una baja concentración de arcillas en este núcleo, teniendo su máxima concentración a los 8cm (20.3%) de profundidad del núcleo (Fig. 5.11c).



El núcleo 17 presenta una concentración de gravas que se encuentra en un rango de 3.9% a 24.3%, la menor concentración de arenas se determino en los primero centímetros del núcleo y las altas concentraciones de arenas se determinaron a los 16cm.

La concentración de arenas en este núcleo están un rango del 34% y 44.9%, la mayor concentración de arenas se determino a los 18cm y las más bajas concentraciones de arenas se determinaron a los 16cm de profundidad del núcleo. En la concentración de arenas se encontraron cantidades importantes de cuarzo, como se puede ver en la Figura 5.7.

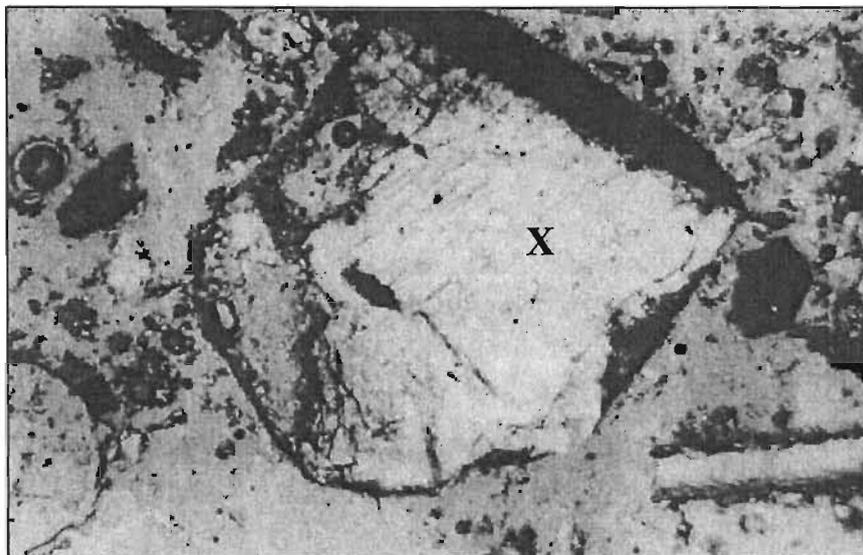


Figura (5.7). Fotografía del núcleo 17 de sedimento donde se presenta una partícula de cuarzo (marcado con una X) en la zona de mayor concentración de arenas (Foto de 50 aumentos).

La concentración de limos se determino que están en un rango del 19.8% al 44.15%, la mayor concentración de limos se determino a los 6cm de profundidad del núcleo de sedimento y las menores concentraciones de limos se encontraron a los 18cm de profundidad.

La fracción de limos esta constituida mayoritariamente de cuerpos de microorganismos muertos, como radiolarios y diatomeas que aportan oxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (Fig. 5.8), y coccolitoforidos y pequeñas conchas marinas que aportan cantidades importantes de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) (Fig. 5.9).



La concentración de arcillas esta en un rango del 8.4% y 20.3%, la mayor concentración de arcillas se determino a los 8cm de profundidad del núcleo de sedimento y las menores concentraciones de arcillas se obtuvieron a los 14cm de profundidad (Tabla 5.1c).

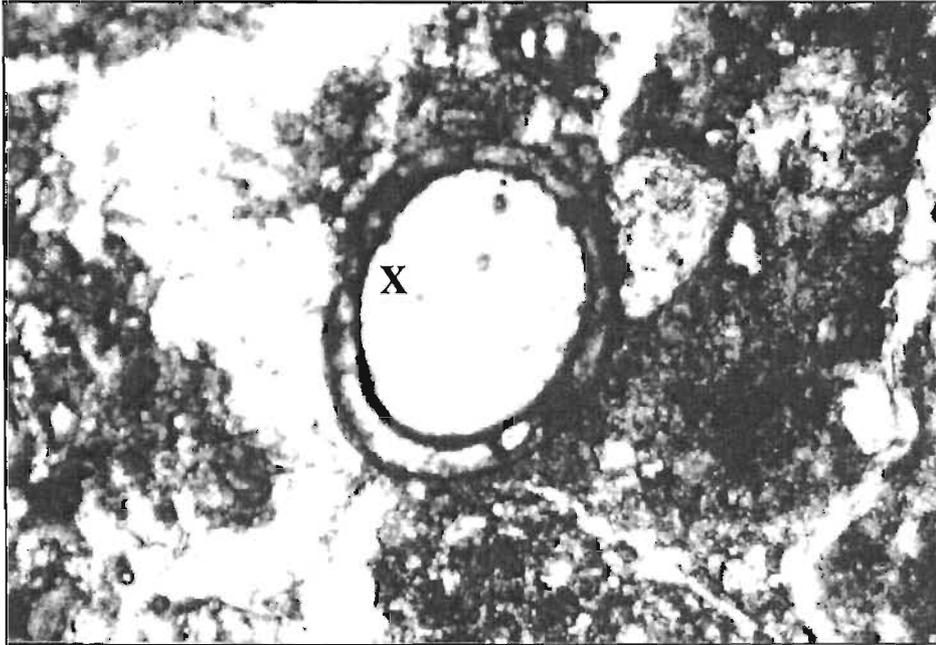


Figura (5.8). Fotografía del núcleo 17 de sedimento donde se presenta un microorganismos (diatomea) que aporta oxido de silicio (marcado con una X) (Foto de 100 aumentos).



Figura (5.9). Fotografía del núcleo 17 de sedimento donde se presenta una conchita marina que aporta calcita (marcado con una X) (Foto de 100 aumentos).



La distribución textural de este núcleo es debida probablemente a que no hay un aporte importante de material del Río Pánuco y los sedimentos ahí encontrados son de origen biogénico.

El núcleo 53 al igual que el núcleo 17 se encuentra en la Zona 3, ubicado al Sureste de la desembocadura del Río Pánuco, este presentó una predominancia en la concentración de gravas y arenas, teniendo su mayor aporte de gravas a los 14cm (44.4%) y de arenas a los 2cm (40.2%) de profundidad del núcleo de sedimento. Las gravas son los depósitos más importantes después de los arenas. Los limos son los que siguen en grado de importancia, presentando su máxima concentración a los 2cm (31.6%) y por último se determinó una baja concentración de arcillas en este núcleo, presentando su máxima concentración a los 8cm (14.9%) de profundidad (Fig. 5.11d).

La distribución textural de este núcleo es muy semejante a la del núcleo 17 de sedimento con la diferencia que el núcleo 53 presenta una cantidad mayor de gravas y que estos sedimentos presentan un origen biogénico ya que no presentan una influencia del Río Pánuco.

El núcleo 53 de sedimento presenta una alta concentración de gravas que se encuentra en un rango del 15.7% al 44.4%, determinándose la mayor concentración de gravas en los 14cm de profundidad del núcleo y las menores concentraciones en los primeros centímetros.

La concentración de arenas en este núcleo también es considerablemente alta encontrándose en un rango del 26.6% al 40.2%, la mayor concentración de arenas se determinó en los primeros centímetros del núcleo, como se muestra en la Figura (5.10), y las más bajas concentraciones de arenas se encontraron a los 14cm de profundidad del núcleo.

La concentración de limos se determinó que está en un rango del 22.3% al 31.6%, la mayor concentración de limos se determinó a los 2cm de profundidad del núcleo de sedimento y las menores concentraciones de limos se encontraron a los 14cm de profundidad.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA



La concentración de arcillas están en un rango del 6.5% y 14.9%, la mayor concentración de arcillas se determino a los 8cm del núcleo de sedimento y las menores concentraciones de arcillas se encontraron a los 14cm de profundidad (Tabla 5.1d).



Figura (5.10). Fotografía del núcleo 53 de sedimento donde se aprecia la alta concentración de arenas (marcado con una X) en una matriz de limos (Foto de 50 aumentos).



## RESULTADOS Y DISCUSIONES



Tabla (5.1). Distribución textural de los núcleos de sedimento

Núcleo 47 (a)					Núcleo 93 (b)				
Profundidad (cm)	%Gravas	%Arenas	%Limos	%Arcillas	Profundidad (cm)	%Gravas	%Arenas	%Limos	%Arcillas
0-1	0	36.92	45.31	17.75	0-1	0	9.31	68.35	22.32
2-3	0	32.59	48.83	18.56	2-3	0	10.10	64.66	25.23
4-5	0	30.59	48.62	20.77	4-5	0	9.84	66.13	24.02
6-7	0	32.49	47.42	20.07	6-7	0	10.83	66.15	23.01
8-9	0	29.28	48.73	21.97	8-9	0	10.63	64.02	25.33
10-11	0	30.59	47.82	21.57	10-11	0	8.35	62.17	29.47
12-13	0	31.78	46.93	21.27	12-13	0	7.72	62.20	30.07
14-15	0	29.76	47.74	22.49	14-15	0	8.25	61.78	29.96
16-17	0	24.83	50.35	24.84	16-17	0	8.93	62.51	28.55
18-19	0	33.61	45.72	20.66	18-19	0	7.43	61.80	30.76
20-21					20-21	0	7.81	62.12	30.06
22-23					22-23	0	7.18	61.44	31.37
24-25					24-25	0	8.70	60.63	30.66
					26-27	0	8.32	62.02	29.65
Parametros estadísticos básicos					Parametros estadísticos básicos				
<i>Media</i>		31.25	47.75	21.00	<i>Media</i>		8.82	63.29	27.89
<i>Desviación Estandar</i>		3.15	1.51	1.99	<i>Desviación Estandar</i>		1.17	2.24	3.18
<i>Coefficiente de variación (%)</i>		10.09	3.16	9.47	<i>Coefficiente de variación (%)</i>		13.31	3.54	11.38
Núcleo 17 (c)					Núcleo 53 (d)				
Profundidad (cm)	%Gravas	%Arenas	%Limos	%Arcillas	Profundidad (cm)	%Gravas	%Arenas	%Limos	%Arcillas
0-1	3.96	43.40	41.30	11.33	0-1	21.70	37.13	30.41	10.74
2-3	4.21	39.38	42.55	13.84	2-3	15.74	40.25	31.64	12.36
4-5	7.45	38.58	35.47	18.49	4-5	27.48	34.36	30.35	7.79
6-7	4.47	36.20	44.15	15.15	6-7	29.53	33.05	28.50	8.89
8-9	4.53	34.84	40.28	20.33	8-9	18.93	38.02	28.07	14.96
10-11	9.55	36.64	35.49	18.29	10-11	25.53	34.93	28.72	10.81
12-13	11.43	38.66	34.48	15.41	12-13	26.53	34.12	29.40	9.92
14-15	14.80	41.74	34.97	8.47	14-15	44.48	26.67	22.31	6.52
16-17	24.37	34.00	23.76	17.85					
18-19	17.96	44.94	19.80	17.28					
Parametros estadísticos básicos					Parametros estadísticos básicos				
<i>Media</i>	10.28	38.84	35.23	15.65	<i>Media</i>	26.24	34.82	28.68	10.25
<i>Desviación Estandar</i>	6.92	3.62	7.93	3.63	<i>Desviación Estandar</i>	8.70	4.06	2.83	2.65
<i>Coefficiente de variación (%)</i>	67.36	9.32	22.5	23.17	<i>Coefficiente de variación (%)</i>	33.15	11.65	9.86	25.85

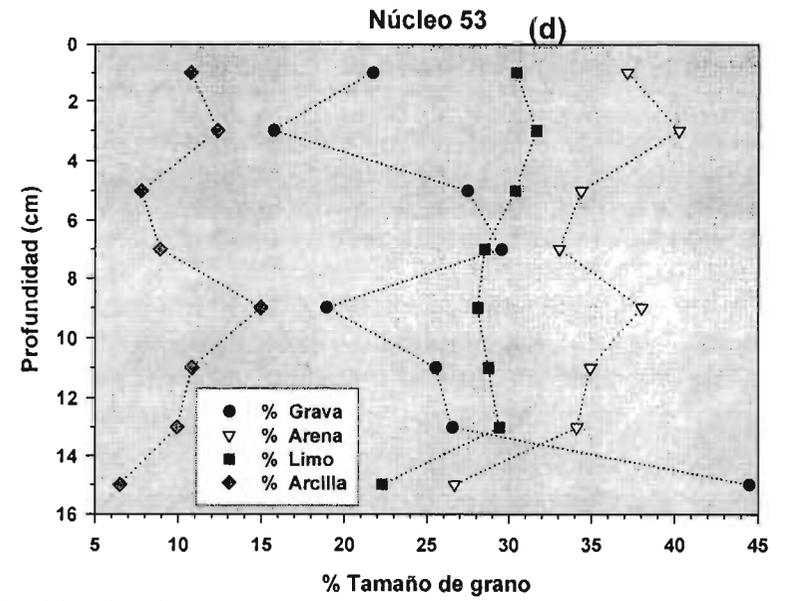
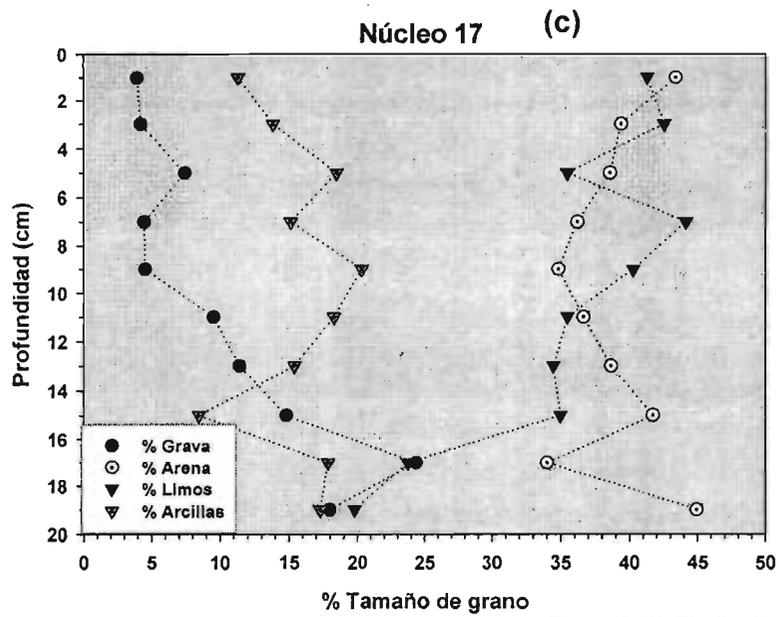
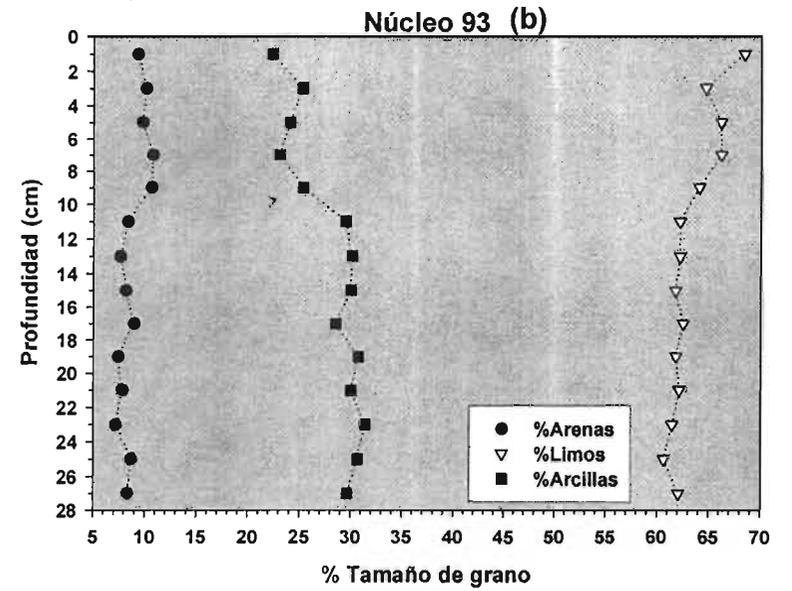
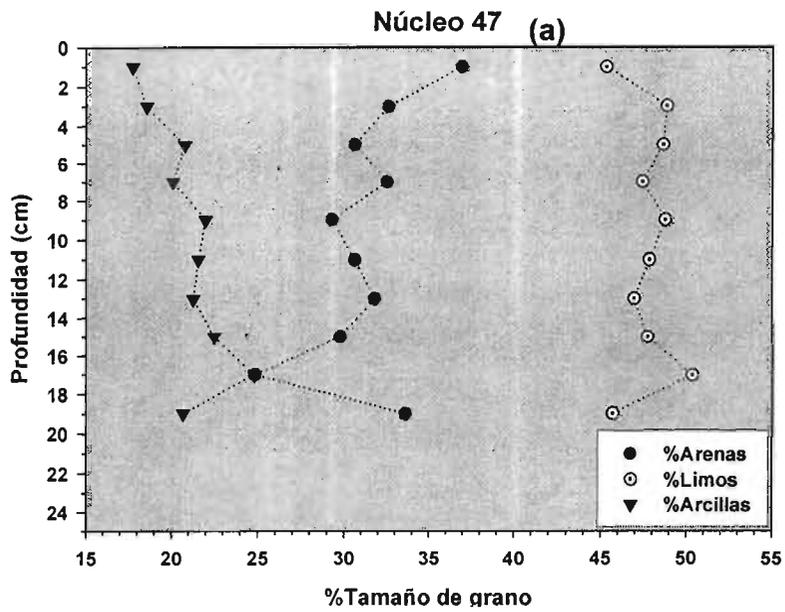


Figura (5.11). Distribución de gravas, arenas, limos y arcillas en los núcleos de sedimentos



En la tabla 5.1 se pueden observar que los coeficientes de variación de cada tamaño de grano son relativamente bajos en todo el perfil de los cuatro núcleos de sedimentos muestreados, esto sugiere que la textura a lo largo de los núcleos se ha mantenido casi sin variación o que la depositación de los sedimentos ha sido uniforme con el tiempo, excepto como se puede apreciar en los limos y las arcillas del núcleo 17, y las arcillas del núcleo 53 que sobrepasan el 15% de coeficiente de variación.

Al tener una relativa uniformidad textural en los cuatro núcleos de sedimento es posible usar las medias texturales para cada tamaño de grano, para trazar las isoclinas texturales y poder inferir de esta manera el comportamiento textural de la zona de estudio, como a continuación se muestra.

Por las características texturales de los núcleos de sedimentos se aprecia que hay una relación entre los sedimentos de la Zona 1 (núcleo 47) y los sedimentos de la Zona 2 (núcleo 93), se aprecia que la Zona 1 está siendo afectada directamente con sedimentos provenientes del Río Pánuco debido a la alta concentración de limos encontrada, teniendo una concentración promedio de limos en el núcleo 47 del 47.75% distribuyéndose hacia la Zona 2 donde la concentración de limos se incrementa en el núcleo 93 llegando a ser de 63.29% en promedio y que es la más alta en toda el área de estudio. Mientras que la concentración más baja de limos se presenta en el núcleo 53 con un promedio de 28.68% de limos (Fig. 5.12).

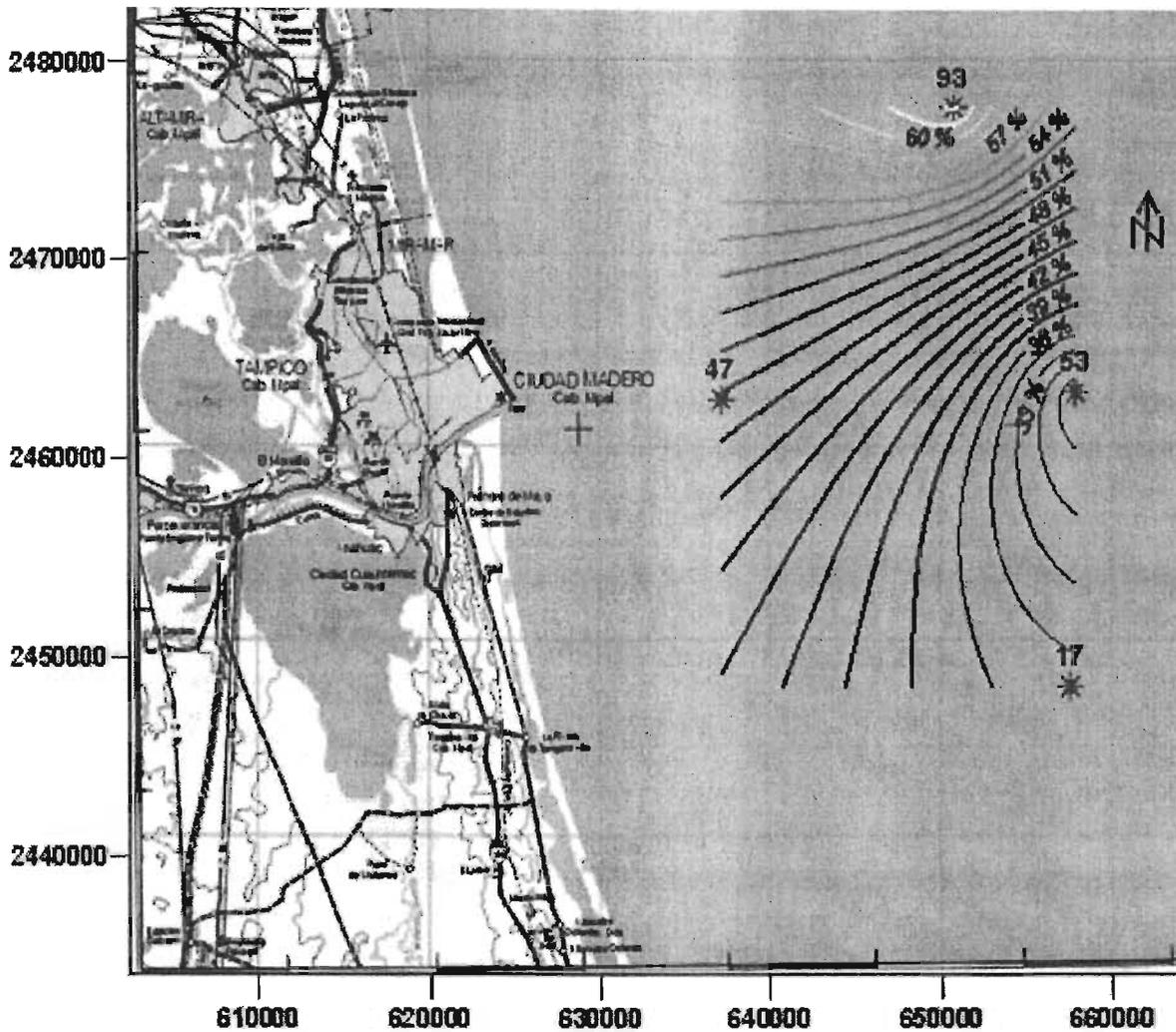


Figura (5.12). Distribución de los limos a la desembocadura del Río Pánuco

La concentración de arcillas se distribuye de manera semejante a la concentración de limos, indicando un aporte directo de arcillas del Río Pánuco presentando una concentración promedio de arcillas del 21% en el núcleo 47, esta concentración se incrementa hacia el norte del área de estudio donde el núcleo 93 presenta una concentración promedio de arcillas del 27.89%.

Encontramos que la zona menos influenciada por este aporte de arcillas es donde se muestreo el núcleo 53 el cual presenta una concentración promedio de arcillas del 10.25%, que es la menor concentración en toda el área de estudio. Esto sugiere que los núcleos de sedimento 47 y 93 son de origen terrígeno y que gran parte de su formación es causa de los aportes detríticos que hace el Río Pánuco al mar (Fig. 5.13).

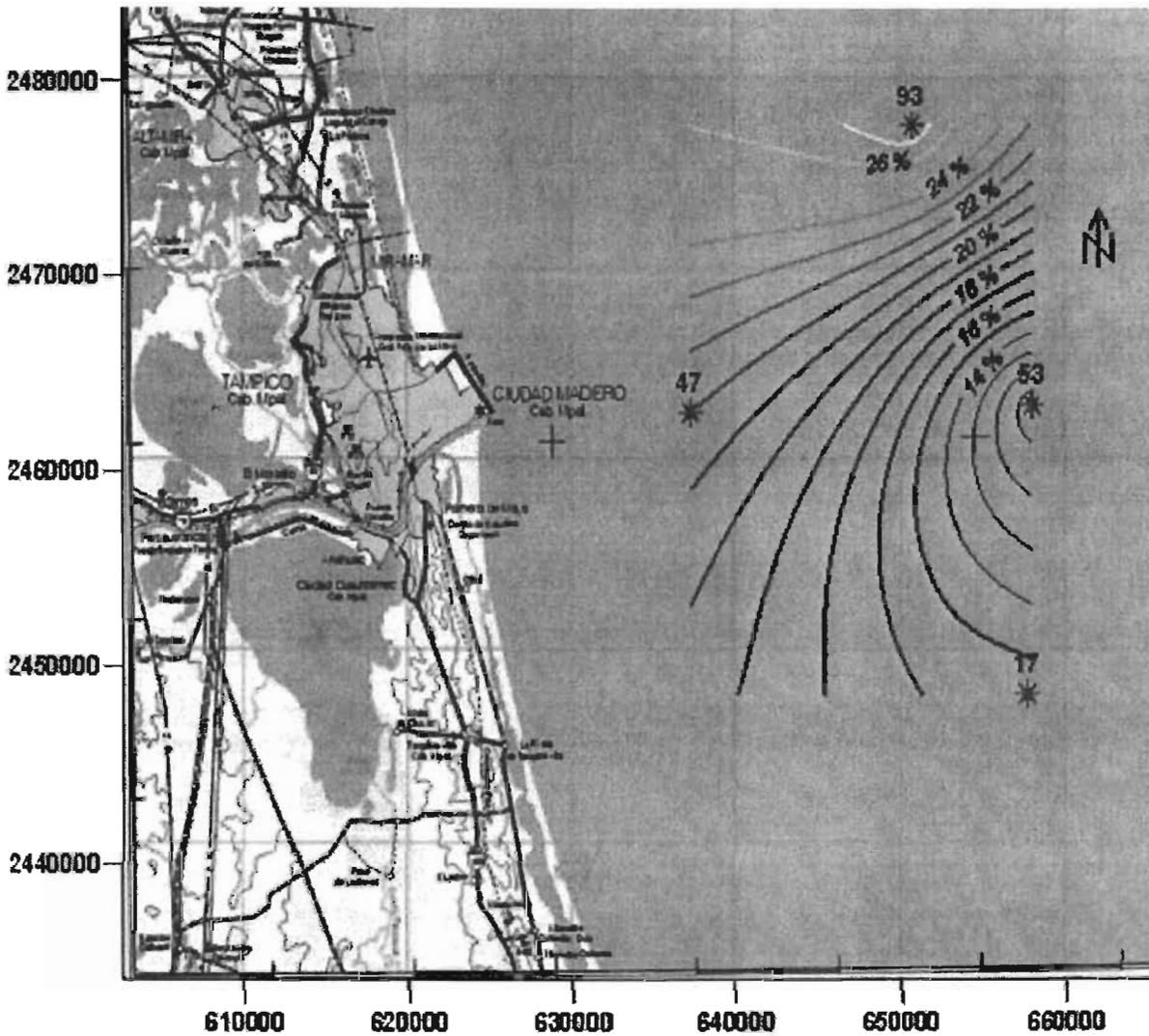


Figura (5.13). Distribución de las arcillas a la desembocadura del Río Pánuco

La mayor concentración de arenas presentes en el área de estudio se localiza en la Zona 3, en el núcleo 17 presentando una concentración promedio del 38.84%, seguido por el núcleo 53 que tiene una concentración de arenas del 34.82%. Mientras que las menores concentraciones de arenas se presentan en el núcleo 93 con un promedio del 8.82% (Fig. 5.14).

La concentración de gravas solo se presentan en los núcleos de sedimento 53 y 17, teniendo una concentración promedio del 26.24% y 10.28% respectivamente, mientras que en los núcleos de sedimento 47 y 93 no contienen gravas.



Esto indica que los núcleos de sedimento 17 y 53 tienen un comportamiento y formación muy similar sugiriendo que los sedimentos de estos núcleos son de origen biogénico, los cuales no tienen una influencia importante de las descargas de sedimentos del Río Pánuco, además como se discutirá más adelante las características químicas de estos núcleos son muy diferentes a los núcleos de la zona 1 y 2.

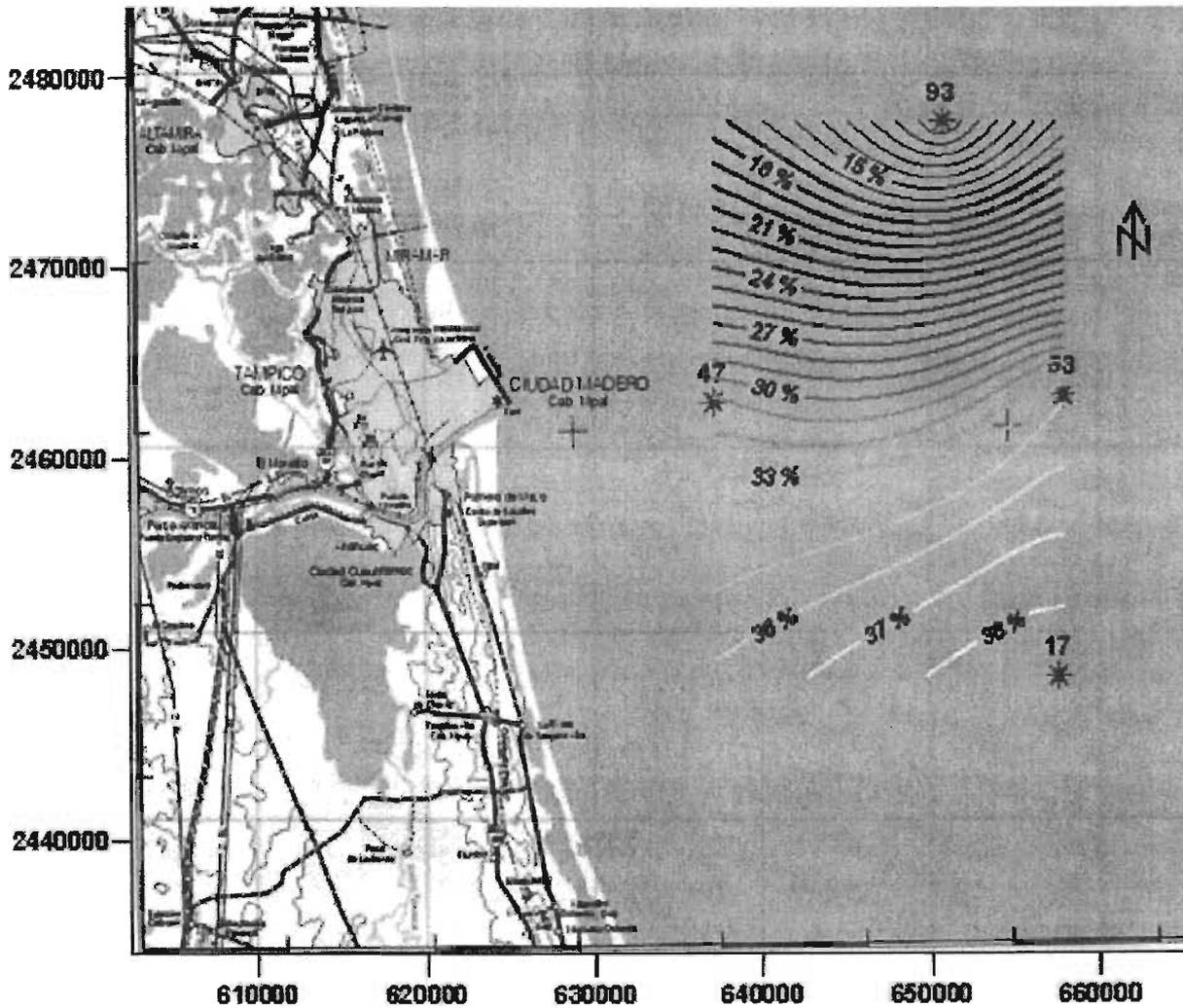


Figura (5.14). Distribución de las arenas a la desembocadura del Río Pánuco



### 5.2 Minerales presentes en los núcleos de sedimento

Para determinar cualitativamente los minerales que pueden constituir a cada uno de los núcleos de sedimento, se hizo uso de la difracción de R-x, analizando cada una de las fracciones de sedimento de los primeros centímetros superficiales de los núcleos de sedimento.

Se encontró que los sedimentos de los cuatro núcleos están constituidos principalmente por los minerales de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y calcita ( $\text{CO}_3$ ). Los sedimentos de los núcleos 93 y 47 presentaron arcillas de tipo Illita-Montmorillonita regular ( $\text{K-Al}_4(\text{SiAl})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) y Montmorillonita ( $\text{Na}_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ); aunque en los sedimentos del núcleo 47 apenas y se determinaron este tipo de arcillas. El núcleo 53 presentó también Illita-Montmorillonita regular, pero su señal de detección fue mucho más baja que la de los núcleos 47 y 93.

Los núcleos 47, 93 y 53 presentaron caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) determinándose la mayor señal en el núcleo 53. En los sedimentos del núcleo 53 también se detectaron aluminosilicatos ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 54\text{SiO}_2$ ). Los sedimentos del núcleo 17 presentaron una mineralogía característica de sedimentos biogénico, presentando calcita ( $\text{CO}_3$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ).

Estas características mineralógicas descritas se pueden apreciar en las Figuras 5.15, 5.16, 5.17 y 5.18.

Con la mineralogía determinada por DRX se observa que los núcleos de sedimentos se encuentran divididos en dos grupos como ya se ha podido determinar en los resultados anteriores.

Como se aprecia con este análisis los núcleos de sedimento 47 y 93 presentan una mineralogía semejante encontrando minerales de cuarzo que muy probablemente son de origen detrítico, también se determinaron diferentes tipos de arcillas especialmente en el núcleo 93, donde además se encontraron las mayores cantidades de metales traza estudiados (Zn, Cr, Pb, Ni y Cu).

Por otra parte se determinó que los núcleos de sedimento 17 y 53 presentan una mineralogía muy semejante, en estos dos núcleos de sedimento se determinaron mayoritariamente minerales de cuarzo seguramente de origen biogénico.



En los núcleos 47 y 53, también se encontró la existencia de calcita. En núcleo 17 se determinó la existencia de óxido de silicio, muy probablemente proveniente de diatomeas y radiolarios. En los núcleos 17 y 53 también se determinaron algunas arcillas como Illita-Montmorillonita y aluminosilicatos.

En base a esta información se puede decir que los sedimentos de los núcleos 47 y 93 son mayoritariamente de origen detrítico influenciados directamente por las descargas de sedimentos del Río Pánuco, mientras que los sedimentos de los núcleos 17 y 53 presentan mayoritariamente un origen biogénico y que están muy poco influenciados por el Río Pánuco, en especial los sedimentos que se encuentran en la zona 3, sedimentos del núcleo 17.

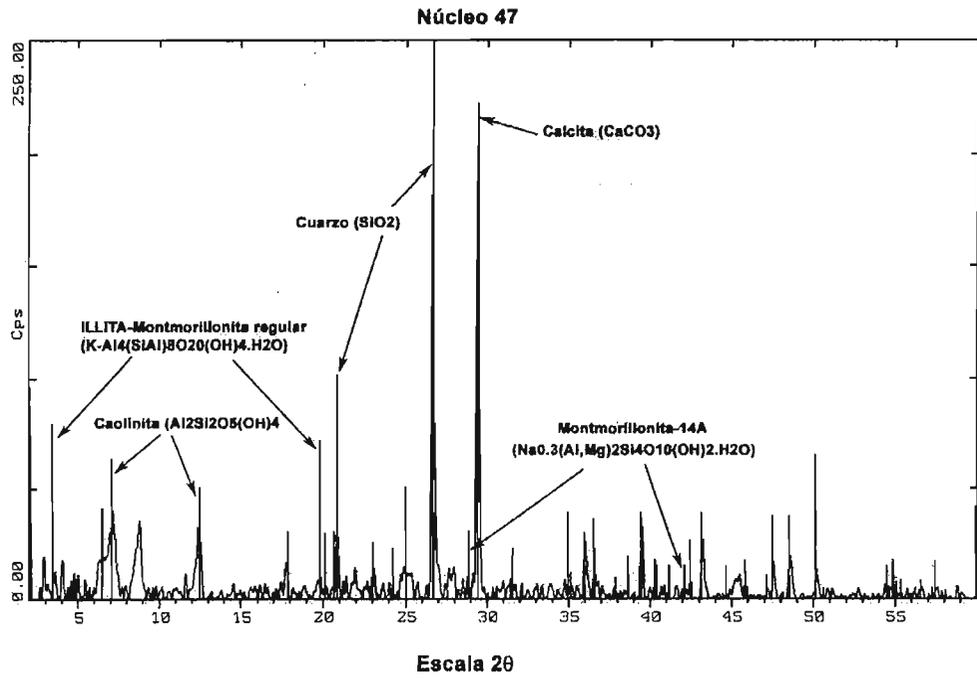


Figura (5.15). Mineralogía de los sedimentos del núcleo 47

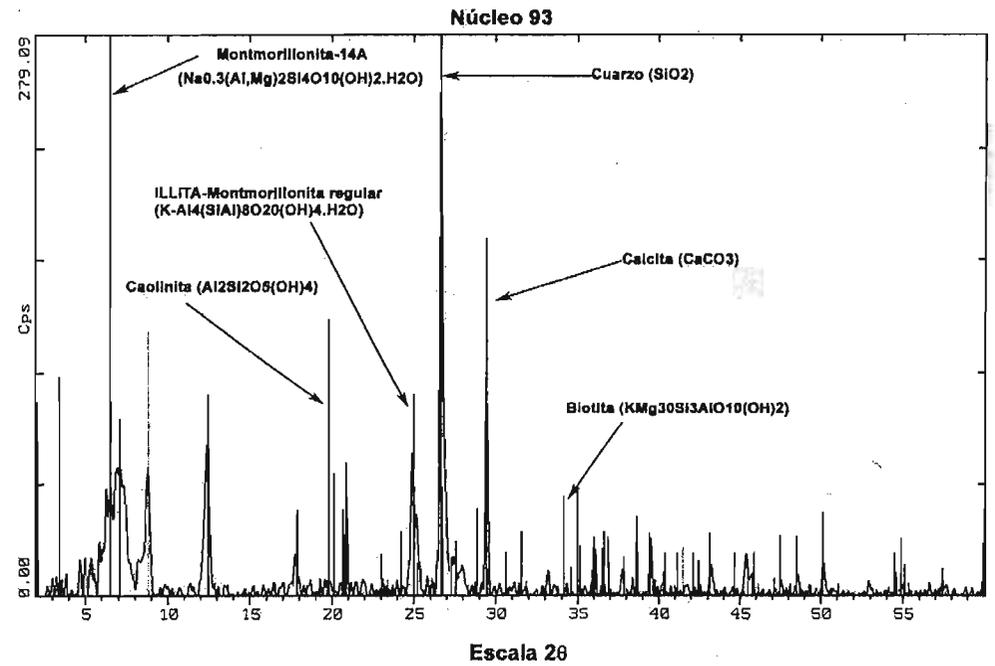


Figura (5.16). Mineralogía de los sedimentos del núcleo 93

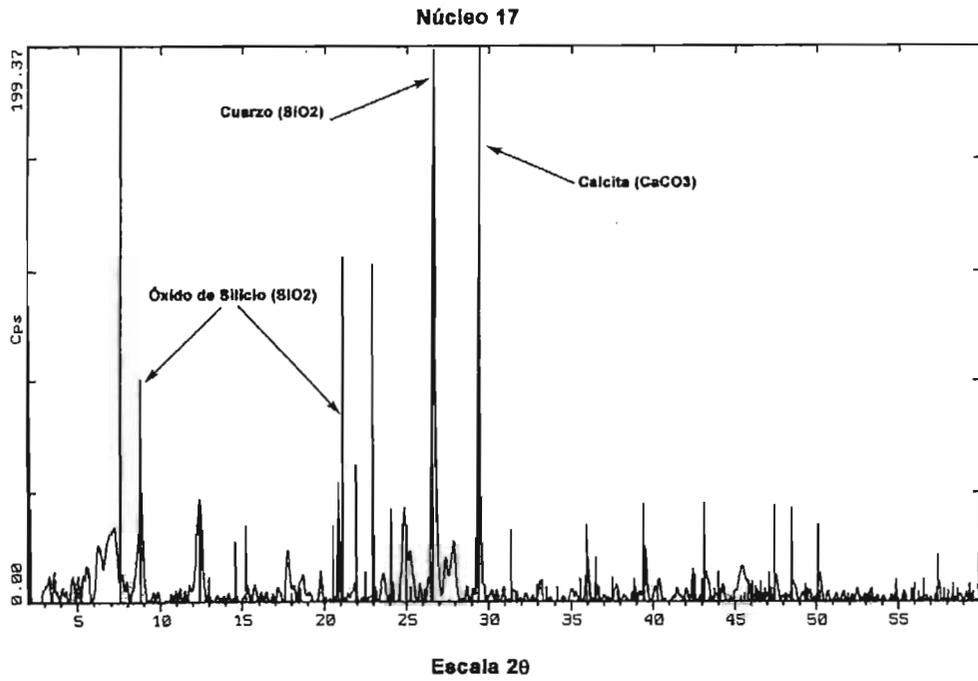


Figura (5.17). Mineralogía de los sedimentos del núcleo 17

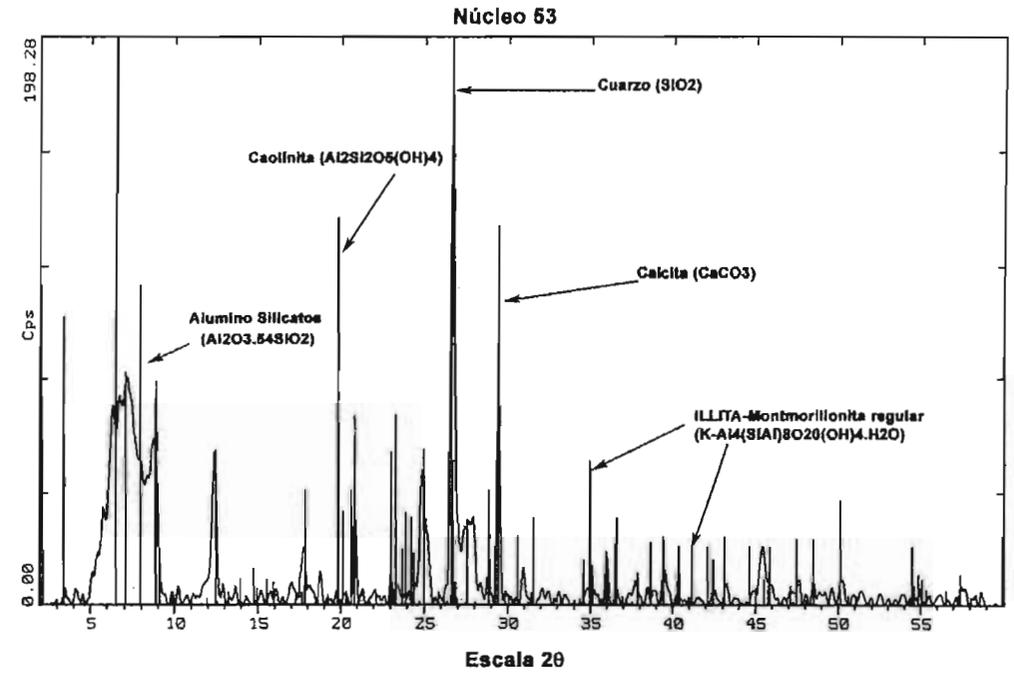


Figura (5.18). Mineralogía de los sedimentos del núcleo 53



### 5.3 Relación de sedimentación de los núcleos.

Con la relación de sedimentación o de acumulación que existe en el tiempo en el área de estudio, se pudo determinar la entrada de contaminantes en diferentes épocas a la zona costera adyacente a la desembocadura del Río Pánuco, utilizando para tal efecto las técnicas isotópicas. Los depósitos de sedimentos por lo tanto dan la clave para entender la historia de la zona de estudio, en especial para dar un valor a la reconstrucción de las condiciones ambientales de la zona. En este estudio sólo se determinó la relación de sedimentación de los núcleos 47, 93 y 17; por considerarlos los más representativos en la zona de estudio.

Bajo la condición de una acumulación uniforme de los sedimentos con un constante suministro de  $^{210}\text{Pb}$ , la distribución vertical del  $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$  debe aproximarse a una curva de decaimiento exponencial, con una declinación de la actividad con respecto a la profundidad (Lee S.V., Cundy A.B. 2001).

En este estudio se utilizó el modelo simple de datación del isótopo  $^{210}\text{Pb}$ . Cuando los sedimentos se han sedimentando de forma uniforme en un ambiente marino o lacustre, la grafica de la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  contra la profundidad de los sedimentos presenta una curva semejante al decaimiento radioactivo, como puede verse en los gráficos (Figuras. 5.19, 5.20, 5.21) obtenidos de los núcleos de sedimentos.

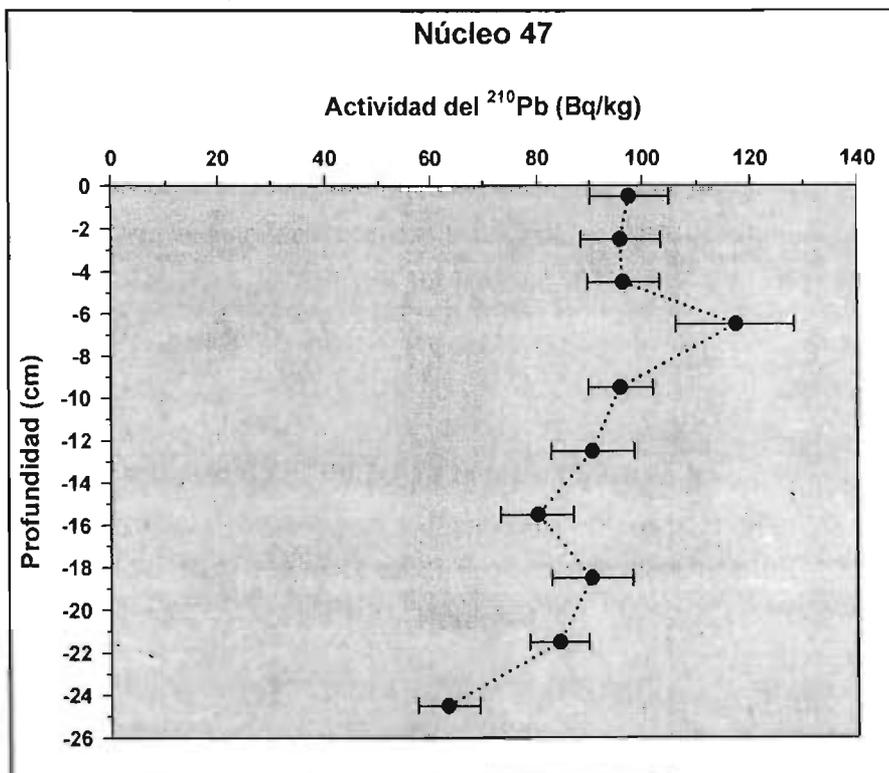


Figura (5.19). Gráfico de la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  vs. Profundidad del núcleo 47

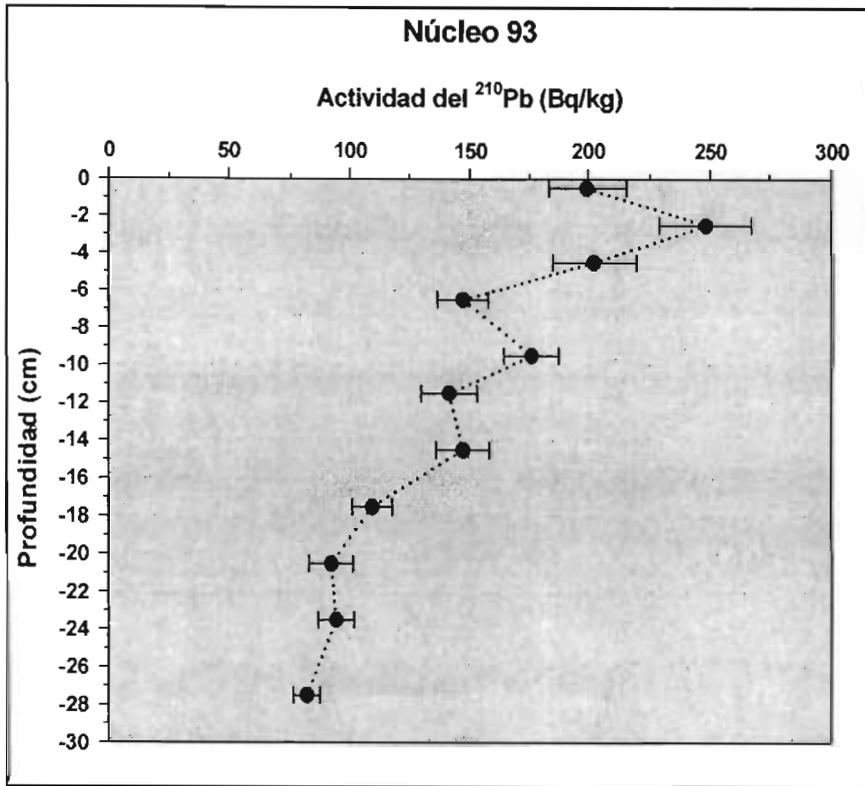


Figura (5.20). Grafico de la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  vs. Profundidad del núcleo 93

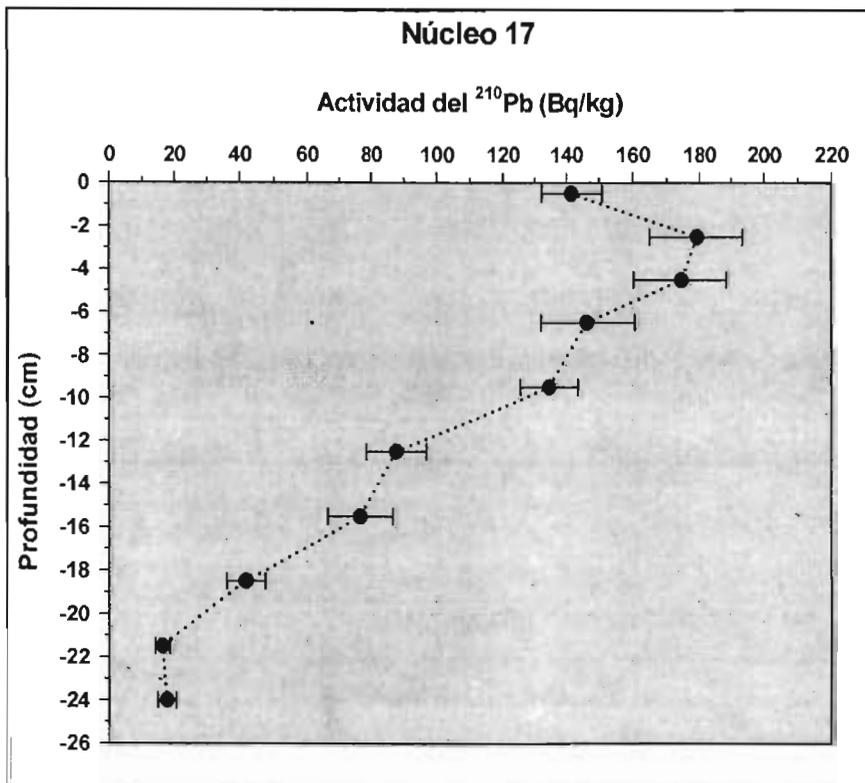


Figura (5.21). Grafico de la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  vs. Profundidad del núcleo 17



Para conocer la relación de sedimentación primeramente es necesario conocer la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  de exceso (unsupported  $^{210}\text{Pb}$ ) que se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$^{210}\text{Pb}(\text{exceso}) = ^{210}\text{Pb}(\text{soporte}) - 0.015$$

Al obtener la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  de exceso se procede a realizar los gráficos de  $^{210}\text{Pb}$  de exceso vs. profundidad, estos gráficos son muy próximos a una curva de tipo exponencial, para estudiar estos gráficos es necesario utilizar la ecuación de estado de decaimiento radioactivo.

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

Donde:

A = es la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  en la profundidad "z"

$A_0$  = es la actividad inicial del  $^{210}\text{Pb}$  (que se asume igual a la actividad de la superficie, si el flujo del  $^{210}\text{Pb}$  es constante en el sedimento)

$\lambda$  = Constante de decaimiento del  $^{210}\text{Pb}$

t = Tiempo

Conociendo que la relación de acreción (sedimentación) es igual a:

$$S = \frac{z}{t}$$

Se Resuelve la ecuación de estado de decaimiento radioactivo aplicando primeramente el logaritmo y después sustituyendo el tiempo (t) de la ecuación de las relación de acreción en la ecuación de estado, quedando la ecuación logarítmica siguiente.

$$\text{Ln}A_z = \text{Ln}A_0 - \left(\frac{\lambda}{S}\right)z$$



Al graficar el  $\text{LnA}$  ( $\text{Ln } ^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$ ) con respecto a la profundidad ( $z$ ) se obtiene aproximadamente una línea recta.

$$y = mx + c$$

Por lo tanto ordenando la ecuación logarítmica anterior nos queda una expresión equivalente a una ecuación de una línea recta.

$$\text{Ln}A_z = -\left(\frac{\lambda}{s}\right)z + \text{Ln}A_0$$

Donde tenemos que:

$\text{Ln}A_0$  = es la constante "c"

$\lambda/s$  = es la pendiente o el gradiente "m"

Por lo que aplicamos una regresión lineal para resolver esta ecuación y poder obtener el gradiente "m".

Sabiendo que la constante de decaimiento del  $^{210}\text{Pb}$  ( $\lambda$ ) es igual a 0.031, la relación de acreción (sedimentación) quedara como sigue.

$$S = \frac{0.031}{\text{gradiente}} = \frac{0.031}{-m}$$

Por lo que conociendo la relación de acreción de los sedimentos se puede conocer las edades individuales de los perfiles de los núcleos de sedimento aplicando la siguiente ecuación.

$$t = \frac{Z}{S} = \frac{Z}{\frac{0.031}{-m}} = \frac{-mZ}{0.031}$$

Donde.

$Z$  = es igual a la profundidad del perfil de sedimento que se quiere datar.



### 5.3.1 Resultados de la datación de los sedimentos

El núcleo 93 presenta una declinación de la actividad del radionuclido  $^{210}\text{Pb}$  relativamente consistente con respecto a la profundidad, presentando la menor actividad a los 28 cm de profundidad (Tabla. 5.2); la distribución vertical del  $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$  se aproxima a una curva de decaimiento exponencial (Fig. 5.22a) indicando que la secuencia de sedimentación es relativamente uniforme.

En base a la Relación Constante de Suministro (RCS) y al modelo simple de datación del  $^{210}\text{Pb}$ , se determinó que la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  en los estratos del núcleo sigue una relación de acumulación de 0.7 cm/año, obteniéndose que los primeros centímetros tienen una edad de 0.7 años, mientras que a los 28 cm de profundidad los sedimentos tienen una edad de 39.3 años (Fig. 5.22b, Tabla 5.2).

El núcleo 47 presenta una declinación de la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  más errática con respecto a la profundidad, en comparación con el núcleo 93, presentando la menor actividad a los 25 cm de profundidad (Fig. 5.23a, Tabla 5.2); la distribución del  $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$  en el perfil del núcleo se aproxima a una curva de decaimiento exponencial a pesar de que es más errática la declinación del  $^{210}\text{Pb}$ .

Este núcleo presenta actividades mucho más constantes en los estratos superficiales, esto puede indicar bioturbación o mezcla física de sedimentos.

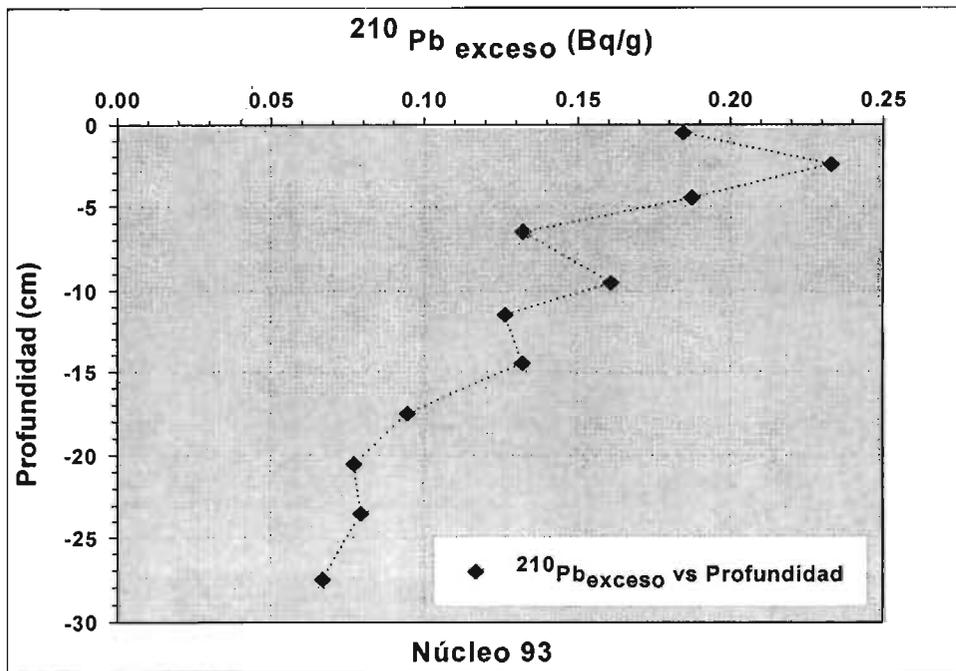
En base al RCS y al modelo simple, se determinó que la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  en los estratos del núcleo tiene una relación de acumulación de 1.58 cm/año, teniendo que los primeros centímetros de este núcleo tienen una edad de 0.32 años, mientras que a los 25 cm los sedimentos tienen una edad de 15.5 años (Fig. 5.23b, Tabla 5.2).

El núcleo 17 presenta una declinación de la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  casi consistente en todo el perfil del núcleo, excepto en los estratos más superficiales esto puede ser consecuencia de una alta actividad en una época de las corrientes marinas que mezcla sedimentos recientes con sedimentos más antiguos, esto probablemente debido a huracanes. En este núcleo se presenta la menor actividad del  $^{210}\text{Pb}$  en los sedimentos que se encuentran a los 21 cm de profundidad (Fig. 5.24a, Tabla. 5.3). La distribución vertical del  $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$  presenta una curva de decaimiento exponencial a partir del estrato de los 3 cm de profundidad.

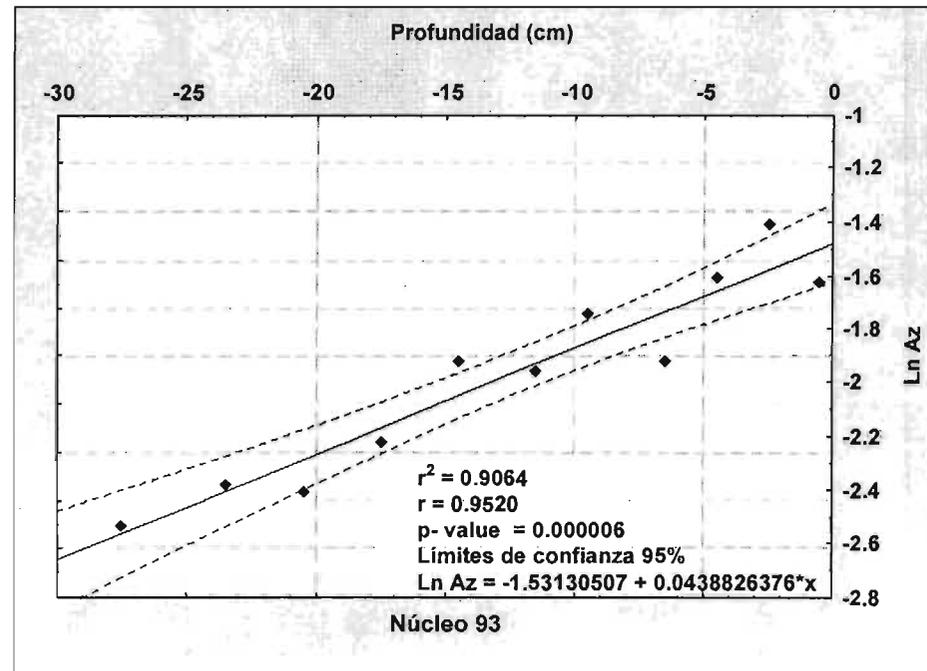


---

En base al RCS y al modelo simple, se determino que la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  en los estratos del núcleo tiene una relación de acumulación de 0.13 cm/año, teniendo que los primeros centímetros de este núcleo tienen una edad de 3.85 años, mientras que a los 25 cm los sedimentos tienen una edad de 184.62 años, dando que este núcleo es el que tiene la relación de acumulación más lenta y con los sedimentos más antiguos de la zona de estudio. (Fig. 5.24b, Tabla. 5.3).

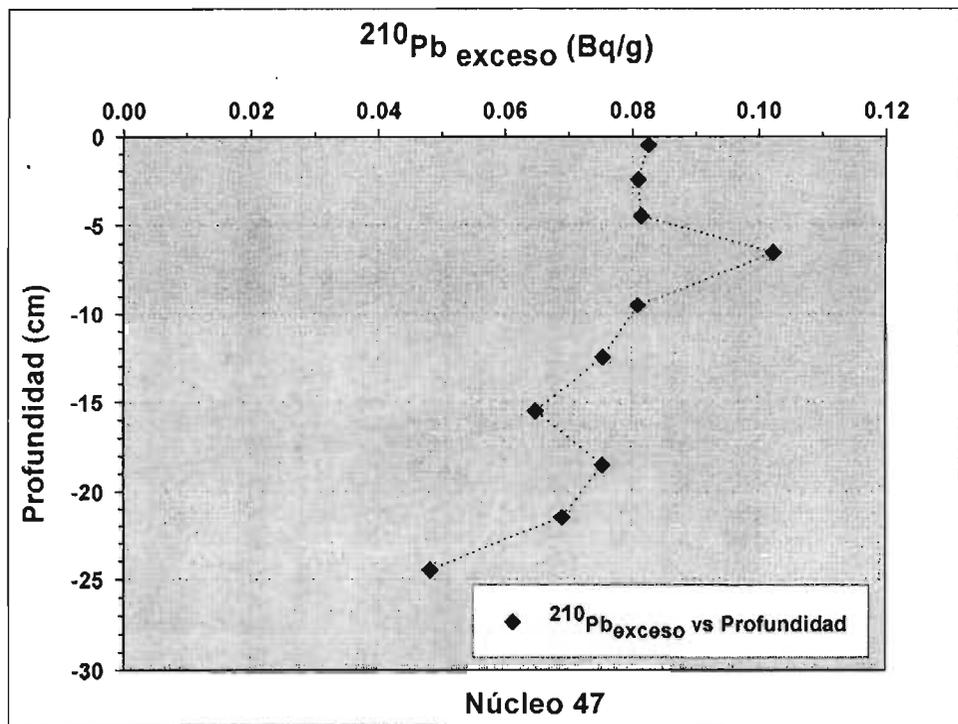


(a)

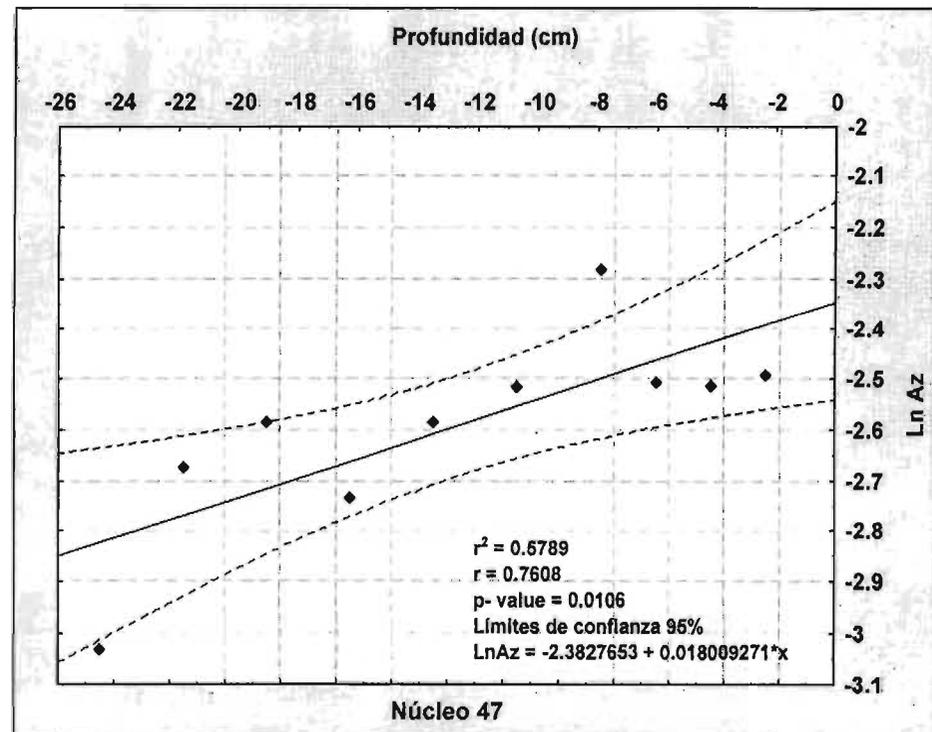


(b)

Figura (5.22). Relación de sedimentación del núcleo 93

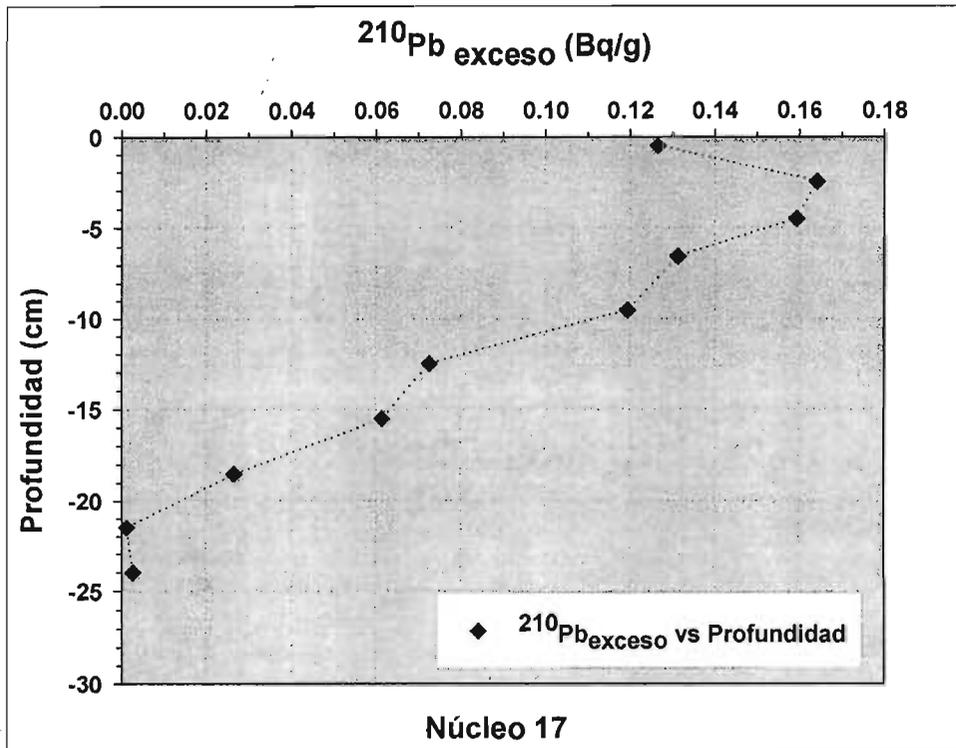


(a)

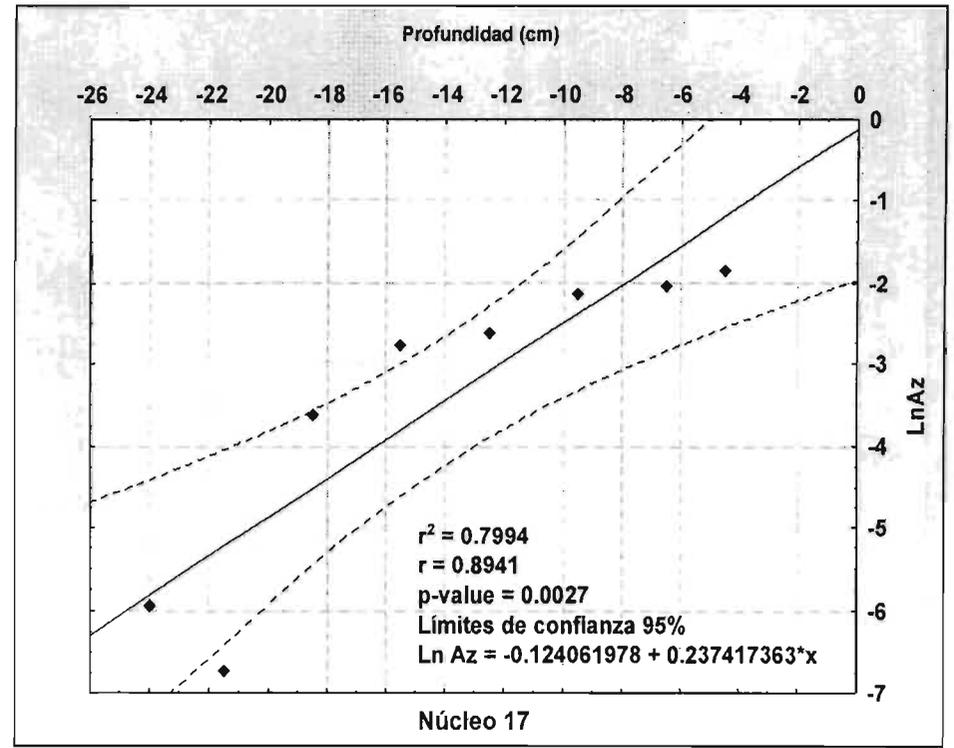


(b)

Figura (5.23). Relación de sedimentación del núcleo 47



(a)



(b)

Figura (5.24). Relación de sedimentación del núcleo 17.

Tabla (5.2). Relación de edades de cada perfil de los núcleos 47 y 93

Núcleo 47									Núcleo 93								
Profundidad	210Pb (Bq/Kg)	210Pb (Bq/g)	210Pb (exces)	Ln(210Pb) exceso	Edad (años)	Edad Máxima	Edad Mínima	%Error	Profundidad	210Pb (Bq/Kg)	210Pb (Bq/g)	210Pb (exces)	Ln(210Pb) exceso	Edad (años)	Edad Máxima	Edad Mínima	%Error
0-1	97.5	0.0975	0.0825	-2.49	0.32	0.55	0.09	0.23	0-1	199.5	0.20	0.18	-1.69	0.7	0.88	0.54	0.16
2-3	95.9	0.0959	0.0809	-2.51	1.58	2.75	0.43	1.17	2-3	248.2	0.25	0.23	-1.46	3.6	4.39	2.69	0.81
4-5	96.4	0.0964	0.0814	-2.51	2.85	4.95	0.77	2.10	4-5	202.4	0.20	0.19	-1.67	6.4	7.89	4.84	1.47
6-7	117.3	0.1173	0.1023	-2.28	4.11	7.14	1.11	3.03	6-7	147.2	0.15	0.13	-2.02	9.3	11.40	6.99	2.12
9-10	95.9	0.0959	0.0809	-2.51	6.01	10.44	1.63	4.43	9-10	175.9	0.18	0.16	-1.83	13.6	16.67	10.22	3.10
12-13	90.5	0.0905	0.0755	-2.58	7.91	13.74	2.14	5.83	11-12	141.5	0.14	0.13	-2.07	16.4	20.18	12.37	3.75
15-16	80	0.08	0.065	-2.73	9.80	17.03	2.66	7.23	14.15	147.2	0.15	0.13	-2.02	20.7	25.44	15.59	4.72
18-19	90.4	0.0904	0.0754	-2.58	11.70	20.33	3.17	8.63	17.18	109.7	0.11	0.09	-2.36	25.0	30.70	18.82	5.70
21-22	84.1	0.0841	0.0691	-2.67	13.60	23.63	3.69	10.03	20-21	92.1	0.09	0.08	-2.56	29.3	35.96	22.04	6.68
24-25	63.3	0.0633	0.0483	-3.03	15.50	26.92	4.20	11.43	23-24	94.3	0.09	0.08	-2.53	33.6	41.23	25.27	7.66
									27-28	81.8	0.08	0.07	-2.71	39.3	48.25	29.57	8.96
Relación de sedimentación (Modelo simple)									Relación de sedimentación (Modelo simple)								
(Lambda/ Gradiente)	cm/año				mm/año				(Lambda/ Gradiente)	cm/año				mm/año			
	1.5816				15.8163					0.70615				7.0615			
Rango 2σ	95% Límite superior				95% Límite inferior				Rango 2σ	95% Límite superior				95% Límite inferior			
	0.9102 cm/año				5.838 cm/año					0.5686 cm/año				0.9323 cm/año			
	9.1 mm/año				5.83 mm/año					5.7 mm/año				9.3 mm/año			

Tabla (5.3). Relación de edades de cada perfil del núcleo 17

Núcleo 17								
Profundidad	210Pb (Bq/Kg)	210Pb (Bq/g)	210Pb (exces)	Ln(210Pb) exceso	Edad (años)	Edad Máxima	Edad Mínima	%Error
0-1	141.5	0.14	0.13	-2.07	3.85	5.56	1.92	1.71
2-3	179.2	0.18	0.16	-1.81	19.23	27.78	9.62	8.55
4-5	174.4	0.17	0.16	-1.94	34.62	50.00	17.31	15.38
6-7	146.3	0.15	0.13	-2.03	50.00	72.22	25.00	22.22
9-10	134.5	0.13	0.12	-2.12	73.08	105.56	36.54	32.48
12-13	87.7	0.09	0.07	-2.62	96.15	138.89	48.08	42.74
15-16	76.5	0.08	0.06	-2.79	119.23	172.22	59.62	52.99
18-19	41.7	0.04	0.03	-3.62	142.31	205.56	71.15	63.25
21-22	16.2	0.02	0.00	-6.73	165.38	238.89	82.69	73.50
23-25	17.6	0.02	0.00	-5.95	184.62	266.67	92.31	82.05
Relación de sedimentación (Modelo simple)								
(Lambda/ Gradiente)	cm/año				mm/año			
	0.13080				1.30801			
Rango 2σ	95% Limite superior				95% Limite inferior			
	0.0871 cm/año				0.2583 cm/año			
	0.9 mm/año				2.6 mm/año			



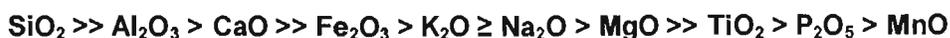
### 5.4 Distribución de los Elementos Mayores y Elementos Traza.

La distribución de la concentración de los elementos mayores y traza varía con respecto a la profundidad en los núcleos de sedimentos muestreados, pero en todos los estratos se presenta algunos elementos mayores y trazas con una distribución muy similar en toda la columna del núcleo del sedimento. En el caso de los núcleos de sedimento 47 y 93 las concentraciones similares son los elementos mayores  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y de los elementos traza son el Ba, Sr y Zr. Para los núcleos 17 y 53 las concentraciones similares de los elementos mayores son el  $\text{SiO}_2$ , CaO y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , para los elementos traza se tienen al Sr, Ba y Zr. Esto se determinó promediando (media típica) los valores de concentración de estos elementos mayores y traza, y mostrando las menores variaciones (desviación estándar) de las concentraciones con respecto a la profundidad de los núcleos de sedimento, esto se puede ver en las Tablas 5.4 y 5.5.

En base a los datos obtenidos de las tablas 5.4 y 5.5 se pudo determinar el orden decreciente de las concentraciones de los elementos mayores y traza de cada uno de los núcleos estudiados.

Orden decreciente de la concentración de los elementos mayores y traza a lo largo del núcleo 47.

Elementos Mayores



Elementos Traza



Orden decreciente de la concentración de los elementos mayores y traza a lo largo del núcleo 93.

Elementos Mayores.



Elementos Traza





## RESULTADOS Y DISCUSIONES



Orden decreciente de la concentración de los elementos mayores y traza a lo largo del núcleo 17.

Elementos Mayores.

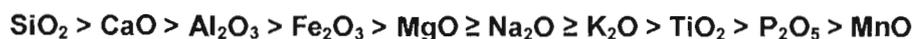


Elementos Traza.

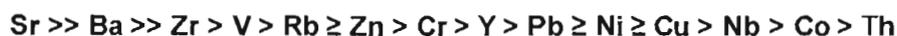


Orden decreciente de la concentración de los elementos mayores y traza a lo largo del núcleo 53.

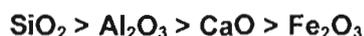
Elementos Mayores.



Elementos Traza.



En base a los órdenes decrecientes de las concentraciones promedio de los cuatro núcleos estudiados se aprecia que el núcleo 47 y 93 tienen una gran semejanza ya que presentan una similitud en la distribución de las concentraciones de los elementos mayores a lo largo de los núcleos siendo los principales elementos:



Mientras que para los elementos traza se tiene una distribución de concentraciones dominantes de los metales:



Observándose que para el núcleo 93 se tiene una predominancia en el V más que el Rb.

Las concentraciones evaluadas de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en los núcleos 47 y 93 sugiere el origen terrígeno de ambos núcleos.



## RESULTADOS Y DISCUSIONES

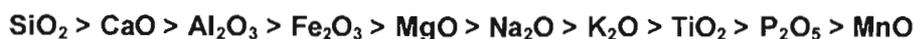


Para los metales considerados altamente tóxicos se tiene una distribución más o menos errática en ambos núcleos, teniendo los siguientes metales tóxicos como dominantes en ambos núcleos.



Teniendo que para el núcleo 93 se tiene una predominancia en el Cu más que el Co.

Los núcleos 17 y 53 se asemejan mucho entres sí, al presentar una similitud en la distribución de las concentraciones de los elementos mayores a lo largo de los núcleos siendo los principales elementos:



Esto indica que estos núcleos se encuentran conformados por los mismos elementos mayores y casi con la misma distribución en su concentración de estos elementos.

Mientras que para los elementos traza se tiene una distribución de concentraciones dominantes de los metales:



La alta concentración de carbonatos encontradas en los núcleos 17 y 53 indica un probable origen biogénico de los sedimentos de estos dos núcleos.

Para los metales tóxicos se tiene una distribución más contaste a lo largo de ambos núcleos, teniendo los siguientes metales tóxicos como dominantes en ambos núcleos.



Tabla (5.4). Valores promedio  $\pm$  desviación estándar de las concentraciones de los elementos mayores a lo largo de los núcleos 17, 53, 47 y 93.

Elementos Mayores	Núcleo 17	Núcleo 53	Núcleo 47	Núcleo 93
% Materia Orgánica	0.363 $\pm$ 0.140	0.441 $\pm$ 0.097	0.782 $\pm$ 0.065	0.602 $\pm$ 0.144
% CO <sub>3</sub>	37.863 $\pm$ 5.83	38.992 $\pm$ 5.84	14.379 $\pm$ 0.761	14.502 $\pm$ 1.106
% SiO <sub>2</sub>	45.265 $\pm$ 2.413	38.005 $\pm$ 2.39	60.571 $\pm$ 1.29	54.251 $\pm$ 0.521
% TiO <sub>2</sub>	0.339 $\pm$ 0.048	0.388 $\pm$ 0.0352	0.508 $\pm$ 0.012	0.587 $\pm$ 0.007
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.641 $\pm$ 0.795	7.486 $\pm$ 0.712	10.167 $\pm$ 0.473	12.45 $\pm$ 0.212
% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.686 $\pm$ 0.357	3.045 $\pm$ 0.208	3.389 $\pm$ 0.172	4.4 $\pm$ 0.099
% MnO	0.051 $\pm$ 0.008	0.06 $\pm$ 0.005	0.054 $\pm$ 0.008	0.071 $\pm$ 0.011
% MgO	1.823 $\pm$ 0.091	2.043 $\pm$ 0.052	1.697 $\pm$ 0.124	2.230 $\pm$ 0.057
% CaO	19.119 $\pm$ 2.59	22.333 $\pm$ 2.38	8.101 $\pm$ 0.237	7.486 $\pm$ 0.406
% Na <sub>2</sub> O	1.776 $\pm$ 0.222	1.675 $\pm$ 0.152	2.151 $\pm$ 0.052	2.721 $\pm$ 0.281
% K <sub>2</sub> O	1.655 $\pm$ 0.152	1.542 $\pm$ 0.135	2.243 $\pm$ 0.05	2.474 $\pm$ 0.051
% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.107 $\pm$ 0.011	0.116 $\pm$ 0.005	0.115 $\pm$ 0.003	0.133 $\pm$ 0.006
% PXC	19.97 $\pm$ 1.49	23.431 $\pm$ 1.40	10.686 $\pm$ 0.329	12.882 $\pm$ 0.172

Tabla (5.5). Valores promedio  $\pm$  desviación estándar de las concentraciones de los elementos traza a lo largo de los núcleos 17, 53, 47 y 93.

Elementos Traza (ppm)	Núcleo 17	Núcleo 53	Núcleo 47	Núcleo 93
Rb	61.8 $\pm$ 7.42	59.875 $\pm$ 4.35	83.923 $\pm$ 2.90	102.857 $\pm$ 1.95
Sr	878.8 $\pm$ 184.39	1039.625 $\pm$ 85.37	254.153 $\pm$ 3.41	234.571 $\pm$ 5.52
Ba	321.6 $\pm$ 47.26	276.375 $\pm$ 18.76	370.769 $\pm$ 20.24	346.785 $\pm$ 17.44
Y	18.4 $\pm$ 2.54	18.5 $\pm$ 1.51	27.153 $\pm$ 2.26	30.785 $\pm$ 2.39
Zr	115.8 $\pm$ 13.04	98.25 $\pm$ 6.58	233.769 $\pm$ 27.08	188.928 $\pm$ 8.36
Nb	8.1 $\pm$ 1.37	8.666 $\pm$ 0.577	12.230 $\pm$ 0.438	14.571 $\pm$ 0.646
V	70.6 $\pm$ 11.99	73.125 $\pm$ 4.58	80.076 $\pm$ 7.22	107 $\pm$ 4.16
Cr	26.2 $\pm$ 8.52	26.125 $\pm$ 4.91	43 $\pm$ 4.76	57.142 $\pm$ 3.05
Co	10 $\pm$ 2.94	7 $\pm$ 1.51	13.923 $\pm$ 6.07	12.5 $\pm$ 3.54
Ni	14.5 $\pm$ 2.59	14.875 $\pm$ 2.03	17.461 $\pm$ 2.06	22.928 $\pm$ 1.49
Cu	13.2 $\pm$ 1.22	14.25 $\pm$ 2.18	13.230 $\pm$ 1.53	15.857 $\pm$ 2.21
Zn	51.5 $\pm$ 7.79	54.125 $\pm$ 4.88	71.846 $\pm$ 4.35	87.428 $\pm$ 1.74
Th	6.1 $\pm$ 1.37	5.125 $\pm$ 1.80	8 $\pm$ 1.77	9.571 $\pm$ 2.44
Pb	15.1 $\pm$ 3.41	15.5 $\pm$ 2.20	21.846 $\pm$ 2.23	24.571 $\pm$ 2.34



En los datos anteriores se puede observar que las variaciones en la concentración de los elementos mayores y elementos traza son relativamente bajas. Al tener una relativa uniformidad de elementos mayores y traza a lo largo de los cuatro núcleos de sedimento es posible usar las medias de concentración de estos elementos, para trazar las isocóncas de concentración y poder inferir de esta manera el comportamiento de los elementos mayores y traza en la zona de estudio, como a continuación se explica.

En la zona de estudio las mayores concentraciones de  $\text{SiO}_2$  se encuentran cerca de la desembocadura del Río Pánuco, en el sitio de muestreo del núcleo 47, disminuyendo conforme se aleja de la zona costera, esto hace pensar que el  $\text{SiO}_2$  es un aporte directo del continente y transportado por el Río Pánuco hacia el mar (Fig. 5.25). Las altas concentraciones de  $\text{SiO}_2$  muy probablemente provienen de la meteorización de rocas graníticas y arcillas que se encuentran en el continente.

La distribución de la concentración de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se esperaba que fuera muy semejante a la concentración del  $\text{SiO}_2$ , pero como se observa en la Figura (5.26) las mayores concentraciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se encuentran al Noreste de la desembocadura del Río Pánuco, en el sitio de muestreo del núcleo 93, teniendo la misma distribución de los limos y arcillas como se vio en el análisis textural.

Esto sugiere que existen corrientes marinas, como la de Lazo, que favorecen el transporte de las partículas más finas del sedimento proveniente del continente, las cuales están constituidas principalmente por concentraciones importantes de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

El Ca en los sedimentos puede provenir de dos fuentes de origen, una como anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) arcilla de origen terrígeno en donde el Ca está asociado a los aluminosilicatos; la otra forma en que puede presentarse el Ca es como  $\text{CaCO}_3$  el cual en los sedimentos marinos generalmente tiene un origen biogénico.

En la distribución de la concentración del CaO, se tiene que la mayor concentración del CaO se encuentra muy alejada de la desembocadura del Río Pánuco, exactamente en el sitio de muestreo del núcleo 53. Esto sugiere que el CaO no puede ser un aporte del continente sino que tiene un origen biogénico y sus procesos de formación son independientes de los procesos que ocurren en el continente, se puede



observar que las menores concentraciones de CaO se encuentran cerca de la línea de costa (Fig. 5.27).

En la distribución de las concentraciones de carbonatos ( $\text{CO}_3$ ) se determino que las mayores concentraciones se tienen en al Sureste de la desembocadura del Río Pánuco, en el sitio donde fue muestreado el núcleo 53 y 17, donde también se determinaron las mayores concentraciones de arenas. Mientras que las menores concentraciones de  $\text{CO}_3$  se determinaron al Noroeste de la zona de estudio, hacia la línea de costa de la zona de estudio.

Esto sugiere que el  $\text{CO}_3$  no es un aporte de los sedimentos que hace el Río Pánuco al mar, además de que el patrón de distribución del  $\text{CO}_3$  es prácticamente el mismo del de CaO, esto indica que núcleos de sedimentos muestreados (17 y 53) en esta zona de estudio son de origen biogénico, ya que no presentan ningún aporte directo del continente (Fig. 5.28).

Las concentraciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  se distribuyen de una manera muy semejante a las concentraciones del  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , se tiene que las mayores concentraciones del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  se presentan al Noreste de la zona de estudio, en el sitio donde se muestreo el núcleo 93. Esto sugiere que las concentraciones del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  como del  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se encuentran asociados a las partículas mas finas de los sedimentos (limos y arcillas) presentan la misma distribución en el área de estudio (Fig. 5.29).

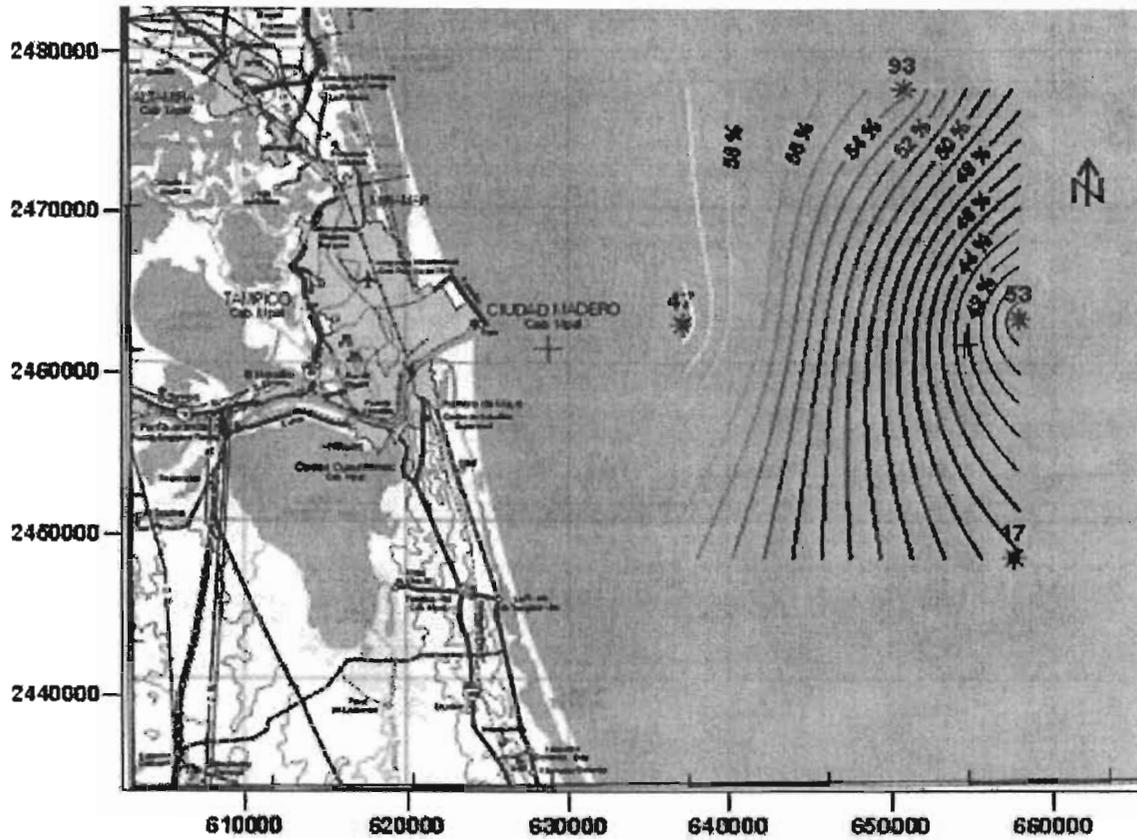


Figura (5.25). Distribución de la concentración del  $\text{SiO}_2$  en la zona de estudio.

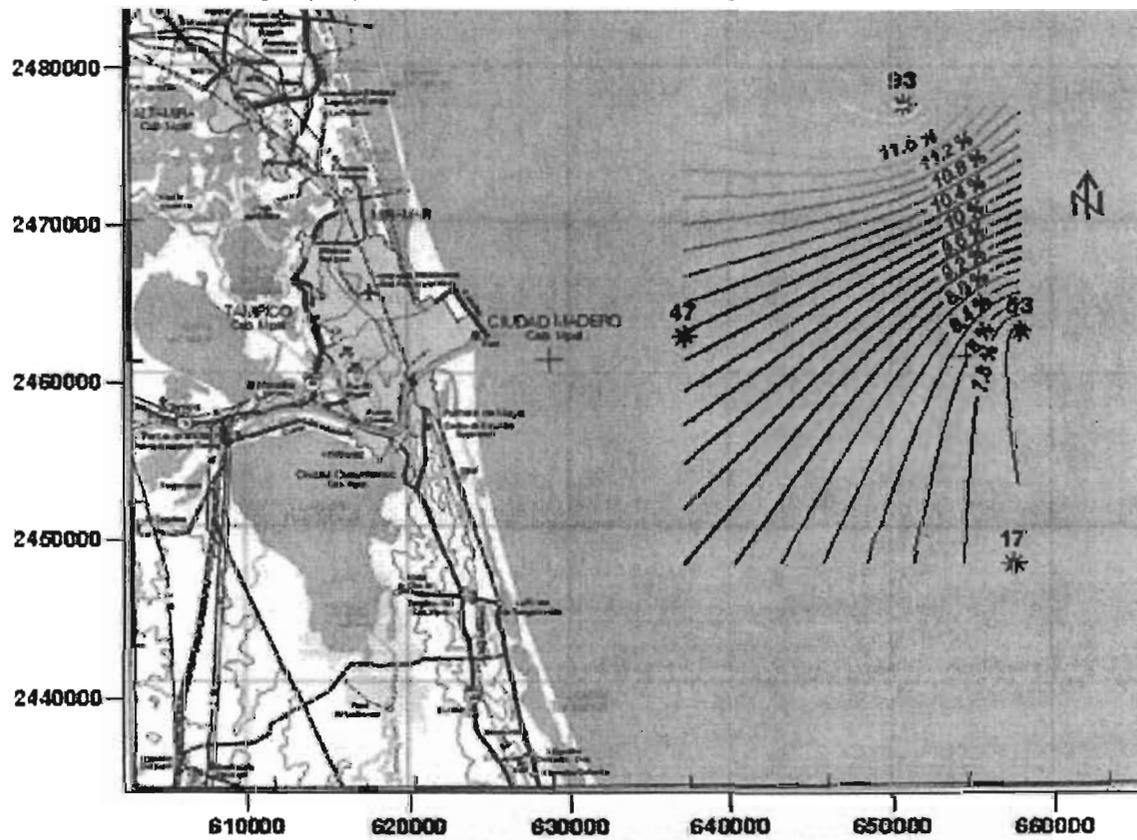


Figura (5.26). Distribución de la concentración del  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en la zona de estudio.

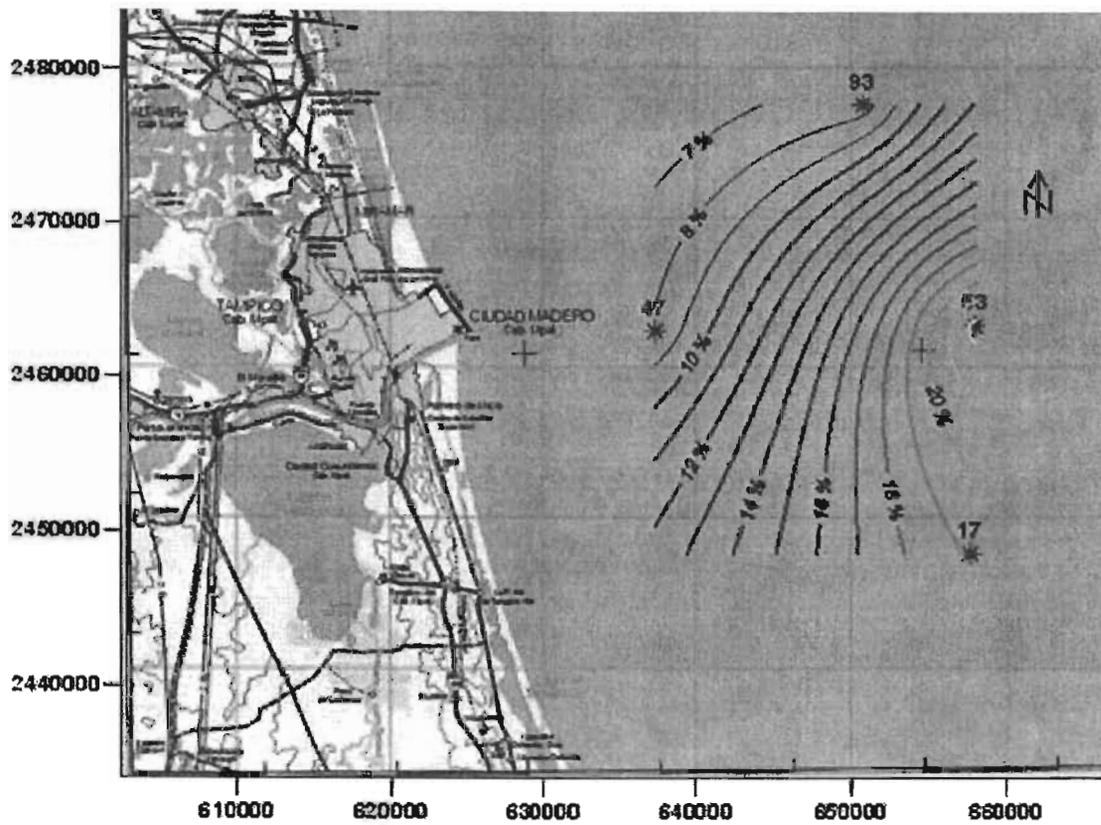


Figura (5.27). Distribución de la concentración del CaO en la zona de estudio.

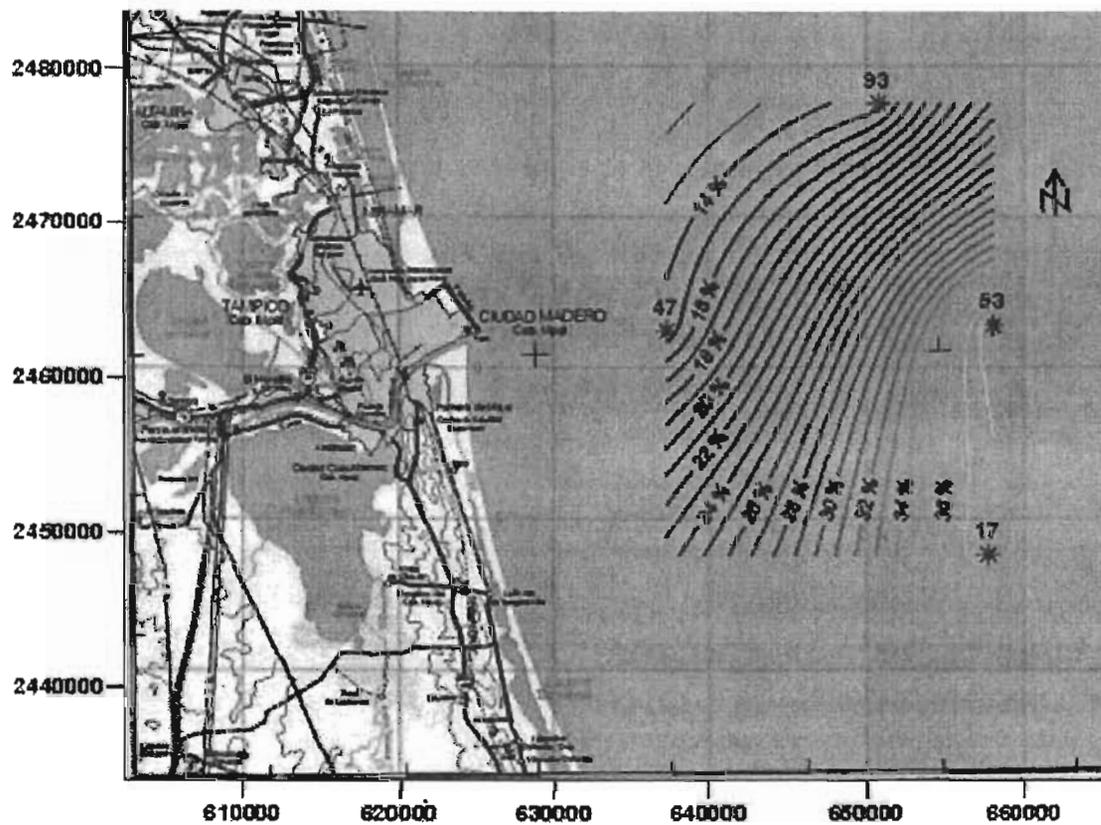


Figura (5.28). Distribución de la concentración de CO<sub>2</sub> en la zona de estudio.

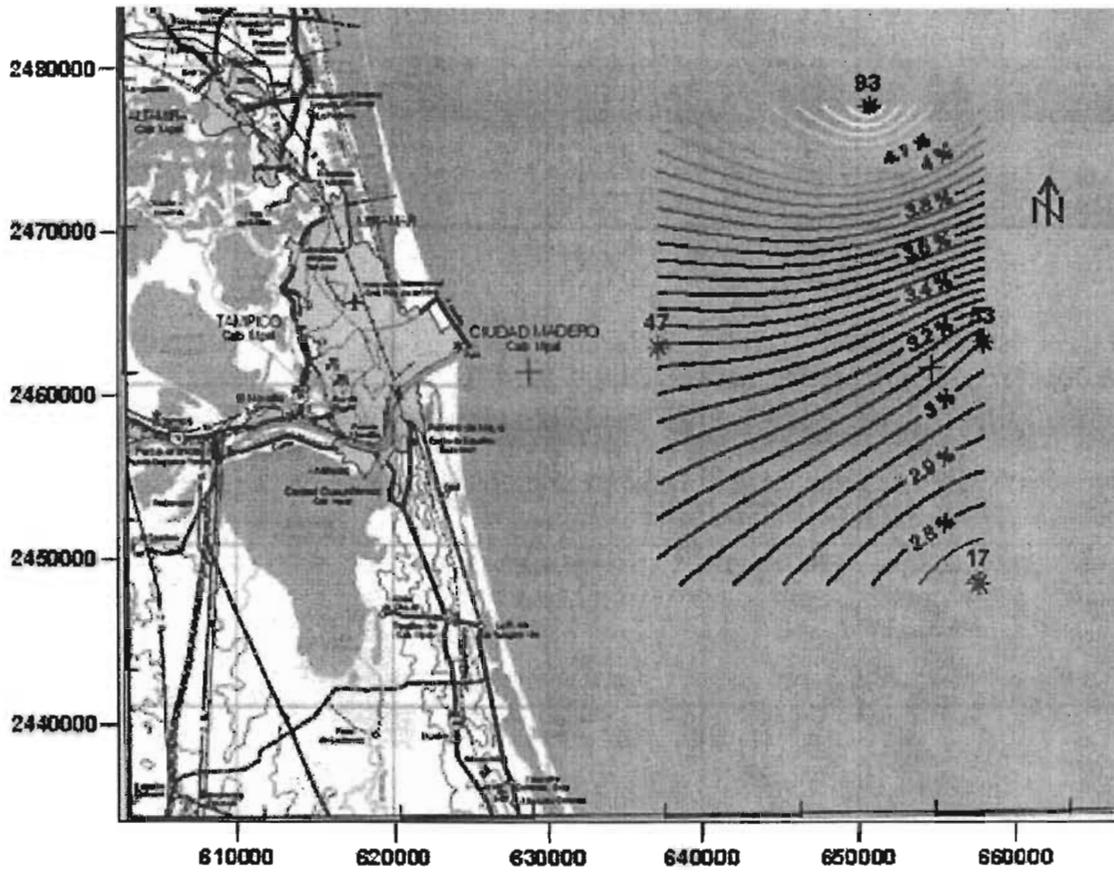


Figura (5.29). Distribución de la concentración del  $Fe_2O_3$  en la zona de estudio.

La concentración de la Materia orgánica se distribuye en la zona de estudio de tal forma que se tienen las mayores concentraciones en la desembocadura del Río Pánuco y la concentración de la materia orgánica va disminuyendo hacia el Sureste de la desembocadura del Río, esto indica que el aporte de materia orgánica en los sedimentos viene directamente del continente, esto sugiere que la materia orgánica esta asociada a los limos y arcillas de los sedimentos estudiado y probablemente pueden tener un origen antropogénico debido a las descargas municipales de las zonas urbanas y conforme los sedimentos viajan mar adentro debido a las corrientes marinas la materia orgánica va disminuyendo probablemente debido al consumo que los organismos marinos hacen de esta materia orgánica (Fig. 5.30).

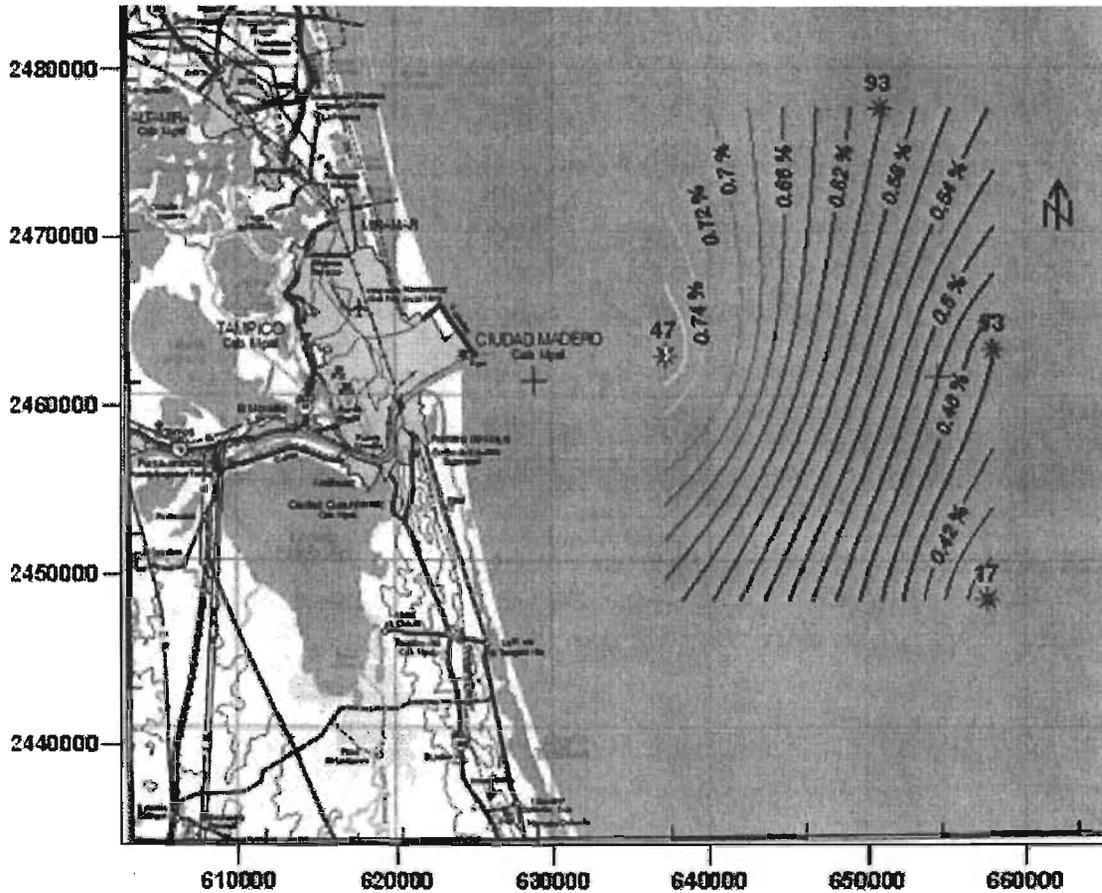


Figura (5.30). Distribución de la concentración de Materia Orgánica en la zona de estudio.

La concentración de los elementos traza Zn, Cr, Pb y Ni, presentan un patrón de distribución semejante en la zona de estudio, se observa que estos elementos presentan su mayor concentración al Noreste de la desembocadura del Río Pánuco, en el sitio donde se muestreo el núcleo 93, mientras que las concentraciones de estos elementos disminuyen hacia el Sureste de la desembocadura del Río Panuco, donde se encuentran los sedimentos de partículas arenosas.

Esto sugiere que estos elementos se asocian a las partículas más finas del sedimento (limos y arcillas) y el aporte del Río Pánuco que hace de estos elementos son transportados por corriente marinas ha sitios de menor energía dando así una mayor concentración de estos elementos (Figuras. 5.31, 5.32, 5.33 y 5.34).

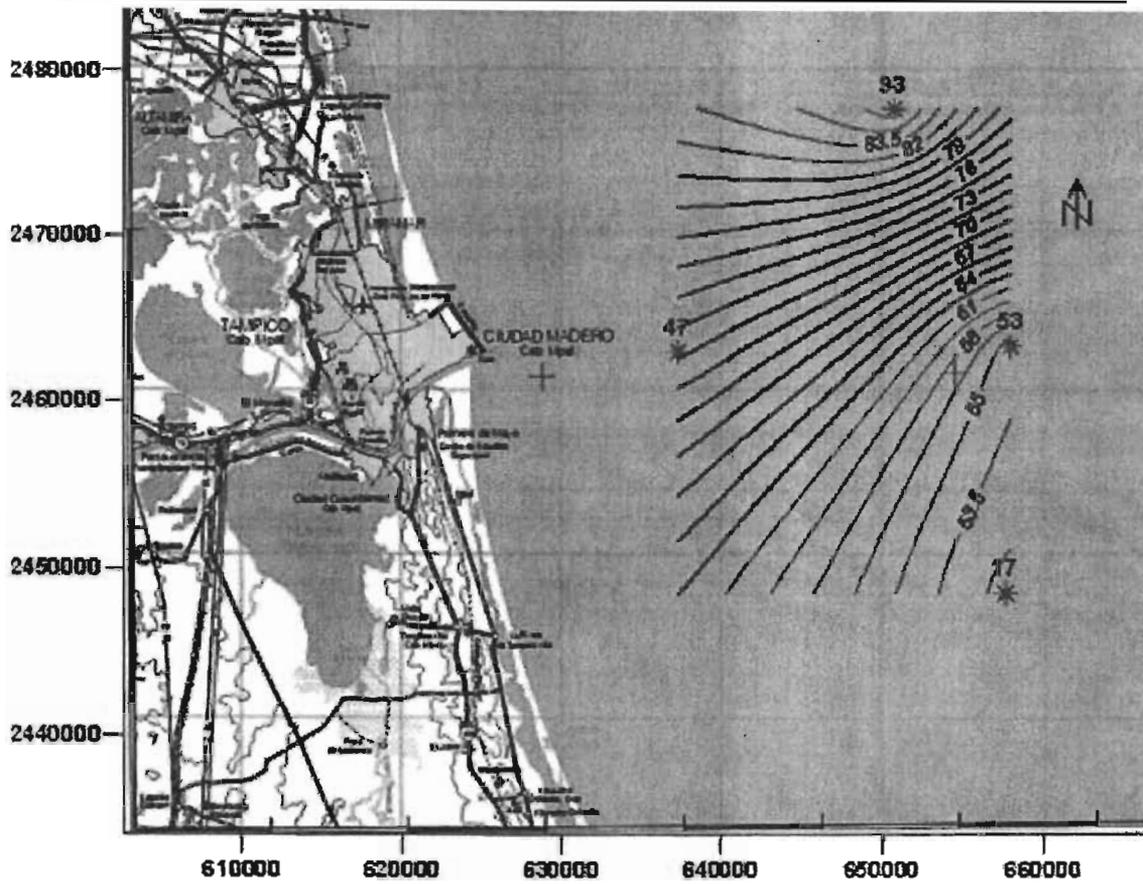


Figura (5.31). Distribución de la concentración total de Zn en la zona de estudio

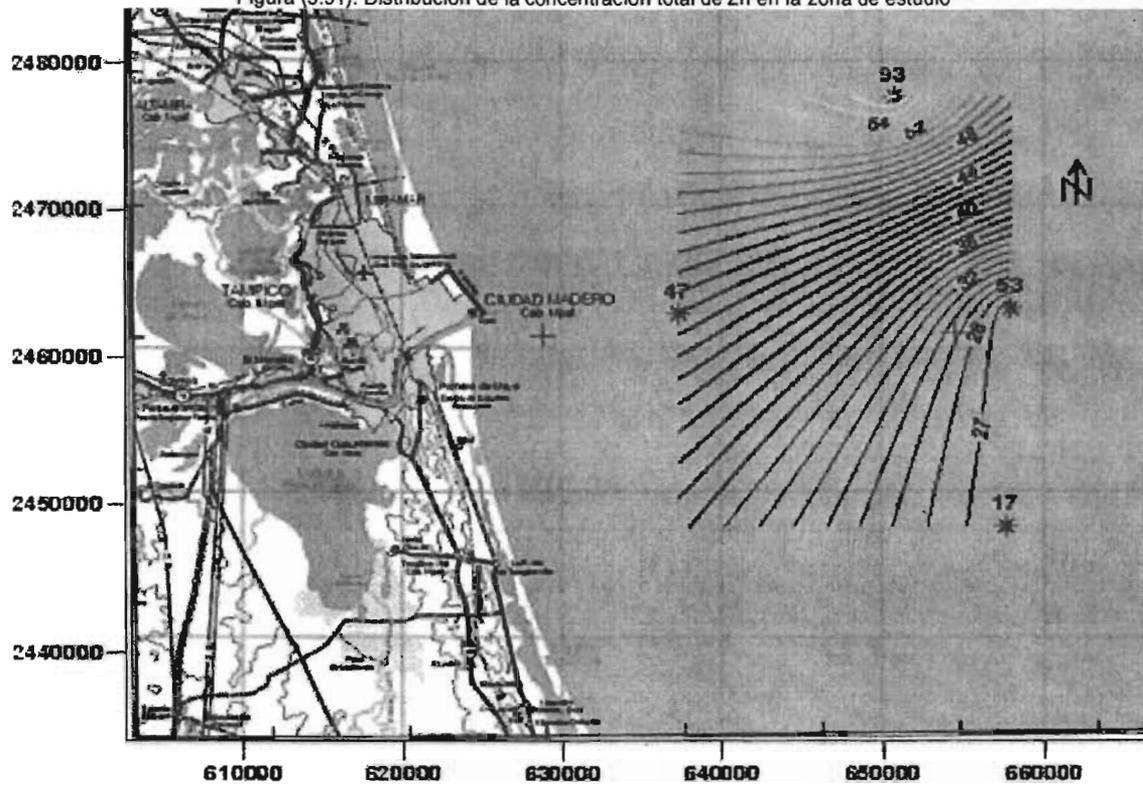


Figura (5.32). Distribución de la concentración total de Cr en la zona de estudio

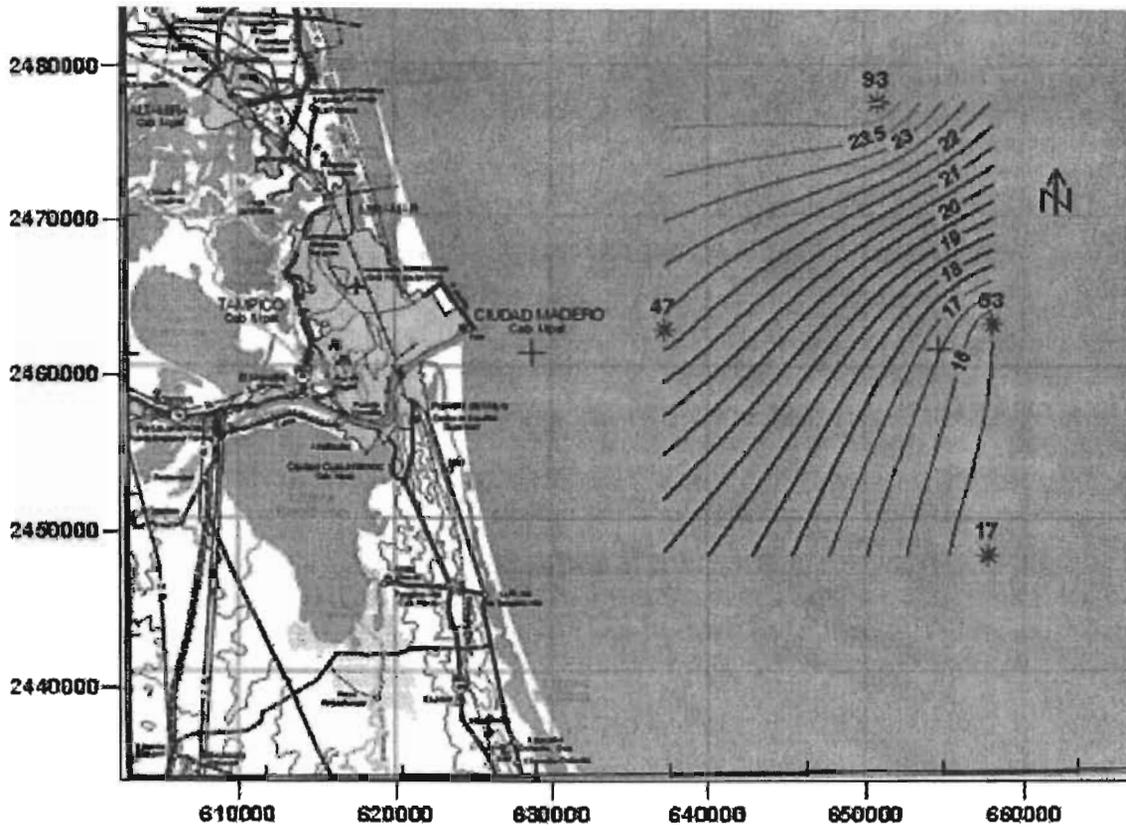


Figura (5.33). Distribución de la concentración total de Pb en la zona de estudio

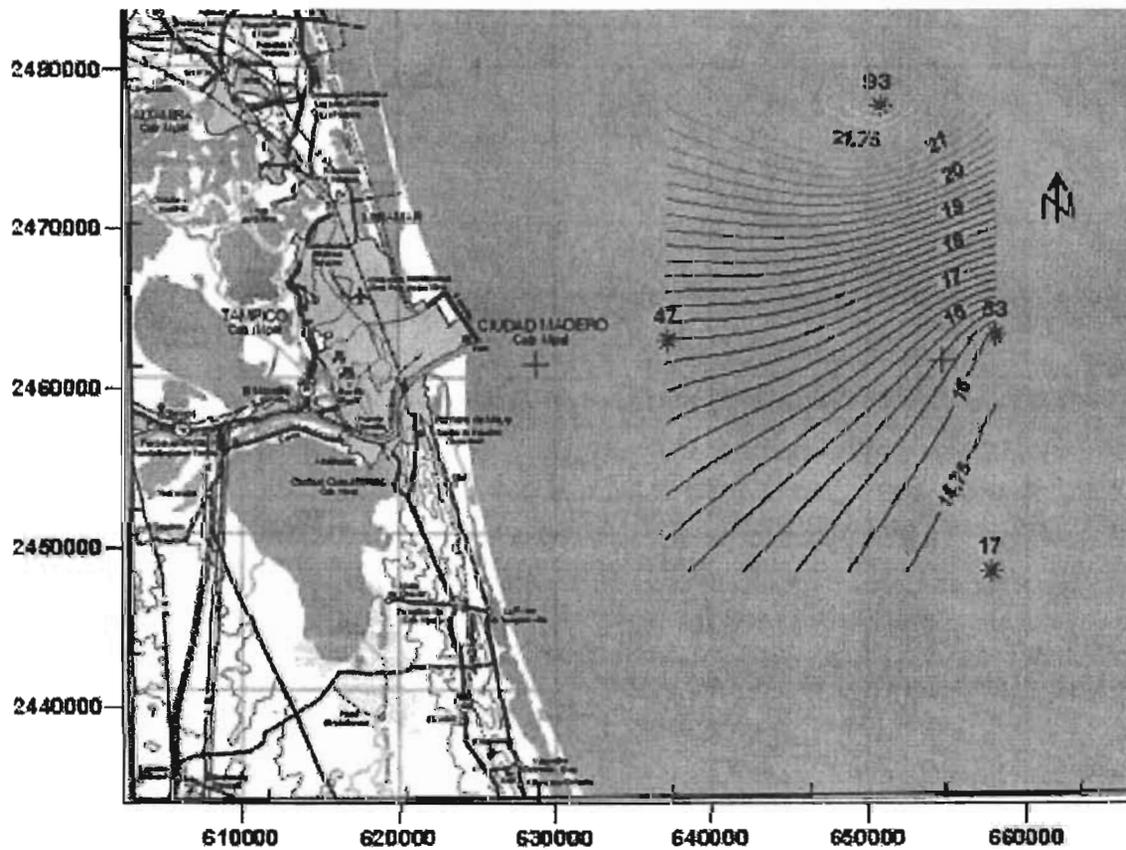


Figura (5.34). Distribución de la concentración total de Ni en la zona de estudio



La distribución del Co en la zona de estudio se caracteriza por presentar las mayores concentraciones de este metal justo a la desembocadura del Río Pánuco, en el sitio donde se muestreo el núcleo 47, y no presenta la misma distribución de los otros metales traza aquí discutidos.

Es importante el hacer notar que el patrón de distribución de la concentración del Co esta relacionada a la distribución de la materia orgánica.

Esto sugiere que el Co es aportado directamente por las descargas de sedimento que hace el Río Pánuco al mar y que se encuentra asociado a la materia orgánica muy probablemente formando quelatos y conforme el sedimento se dirige mar adentro y la materia orgánica es consumida el Co tiende a disolverse en el agua (Fig. 5.35).

La distribución de Cu presenta un patrón muy semejante a los primero metales traza que aquí se han discutido, encontrando la mayores concentraciones de Cu al Noreste de la desembocadura del Río Pánuco, con la diferencia que las menores concentraciones de Cu se determinaron al Suroeste de la zona de estudio muy cerca a la línea de costa (Fig. 5.36).

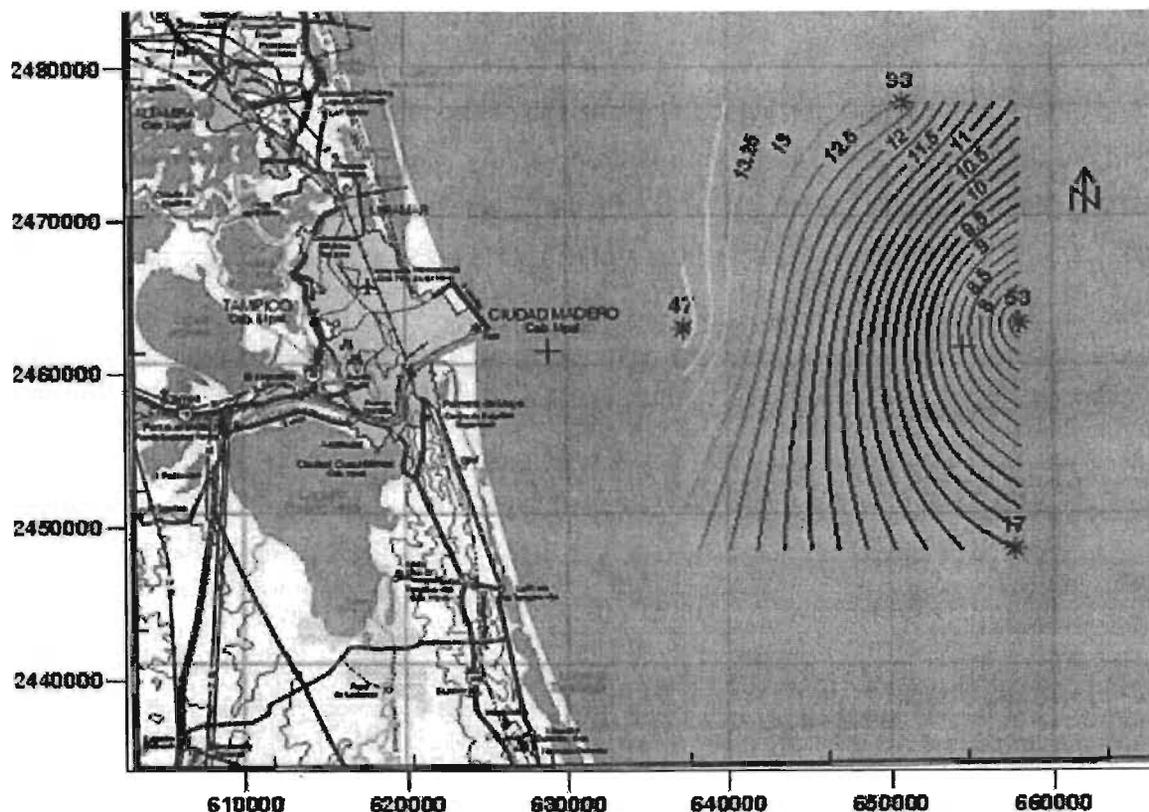


Figura (5.35). Distribución de la concentración total de Co en la zona de estudio

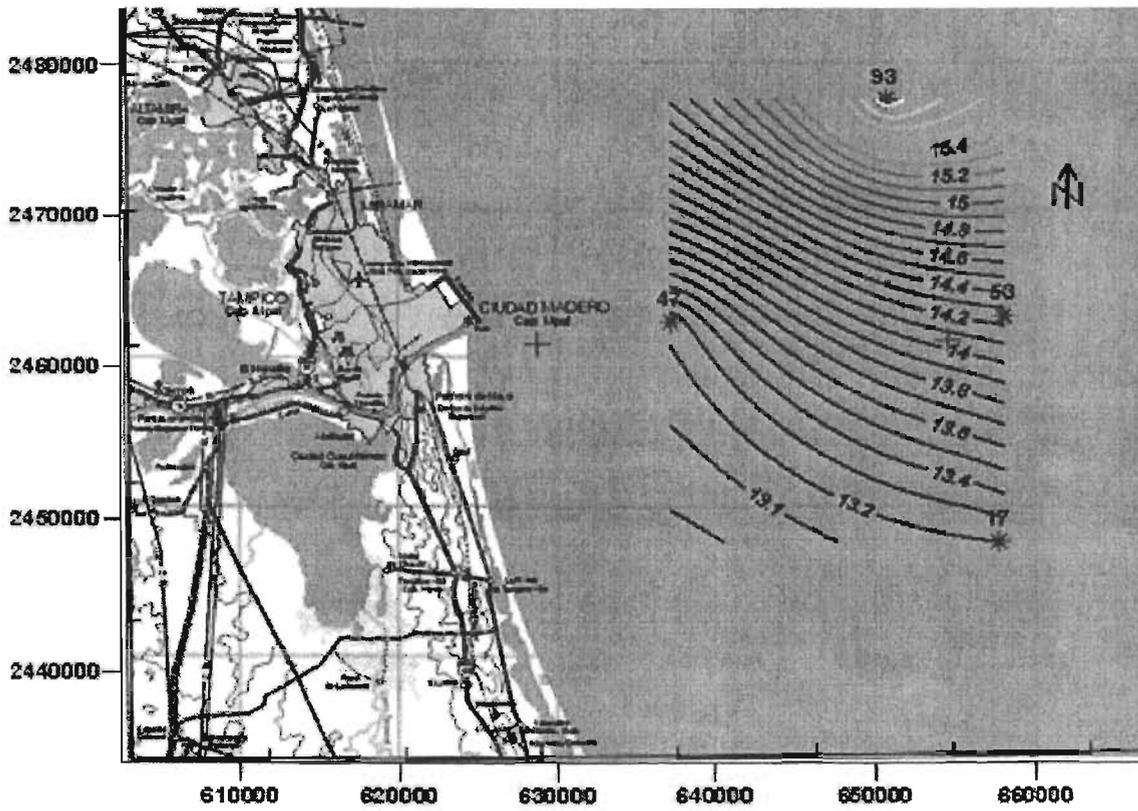


Figura (5.36). Distribución de la concentración total de Cu en la zona de estudio



## RESULTADOS Y DISCUSIONES



Con los valores de fondo de las concentraciones de elementos traza de sedimentos reportados por la Coastal Protection and Restoration Division, 1999. (Tabla. 5.6). Se determino que en los cuatro núcleos de sedimento las concentraciones de los elementos V, Cr, Ni, Ba y Zn, se encuentran por encima de los valores de fondo, aunque como se puede apreciar la concentración del Zn sólo esta ligeramente por encima de los valores de fondo.

Tabla (5.6). Valores promedio  $\pm$  desviación de los elementos traza de los núcleos de sedimento, comparados con los valores de fondo reportados por la Coastal Protection and Restoration Division, 1999. NOAA

Elementos Traza (ppm)	Núcleo 17	Núcleo 53	Núcleo 47	Núcleo 93	Valores de Fondo (Coastal Protection and Restoration Division, 1999. NOAA)
Rb	61.8 $\pm$ 7.42	59.875 $\pm$ 4.35	83.923 $\pm$ 2.90	102.857 $\pm$ 1.95	
Sr	878.8 $\pm$ 184.39	1039.625 $\pm$ 85.37	254.153 $\pm$ 3.41	234.571 $\pm$ 5.52	49.0
Ba	321.6 $\pm$ 47.26	276.375 $\pm$ 18.76	370.769 $\pm$ 20.24	346.785 $\pm$ 17.44	0.7
Zr	115.8 $\pm$ 13.04	98.25 $\pm$ 6.58	233.769 $\pm$ 27.08	188.928 $\pm$ 8.36	
V	70.6 $\pm$ 11.99	73.125 $\pm$ 4.58	80.076 $\pm$ 7.22	107 $\pm$ 4.16	50.0
Cr	26.2 $\pm$ 8.52	26.125 $\pm$ 4.91	43 $\pm$ 4.76	57.142 $\pm$ 3.05	7.0-13.0
Co	10 $\pm$ 2.94	7 $\pm$ 1.51	13.923 $\pm$ 6.07	12.5 $\pm$ 3.54	10.0
Ni	14.5 $\pm$ 2.59	14.875 $\pm$ 2.03	17.461 $\pm$ 2.06	22.928 $\pm$ 1.49	9.9
Cu	13.2 $\pm$ 1.22	14.25 $\pm$ 2.18	13.230 $\pm$ 1.53	15.857 $\pm$ 2.21	10.0-25.0
Zn	51.5 $\pm$ 7.79	54.125 $\pm$ 4.88	71.846 $\pm$ 4.35	87.428 $\pm$ 1.74	7.0-38.0
Pb	15.1 $\pm$ 3.41	15.5 $\pm$ 2.20	21.846 $\pm$ 2.23	24.571 $\pm$ 2.34	4.0-17.0

En la Figura (5.37) se puede observar que las concentraciones de los elementos traza Ba, Ni, V y Cr son elementos que están muy por encima de las concentraciones de fondo según la Coastal Protection and Restoration Division.

Se sabe que los elementos traza Ba, Ni y V se asocian a la actividad de las industrias del Petróleo y del gas natural. Como se menciono antes, en la zona de estudio se encuentra ubicado el complejo petrolero de Ciudad Madero, además frente a la zona costera se encuentran varias plataformas de extracción de petróleo, por lo cual es muy probable que las altas concentraciones de Ba, Ni y V en los sedimentos marinos, se deban a la influencia del complejo petrolero y a las plataformas de extracción. En el caso del Cr no se ha podido determinar la probable fuente de este elemento.

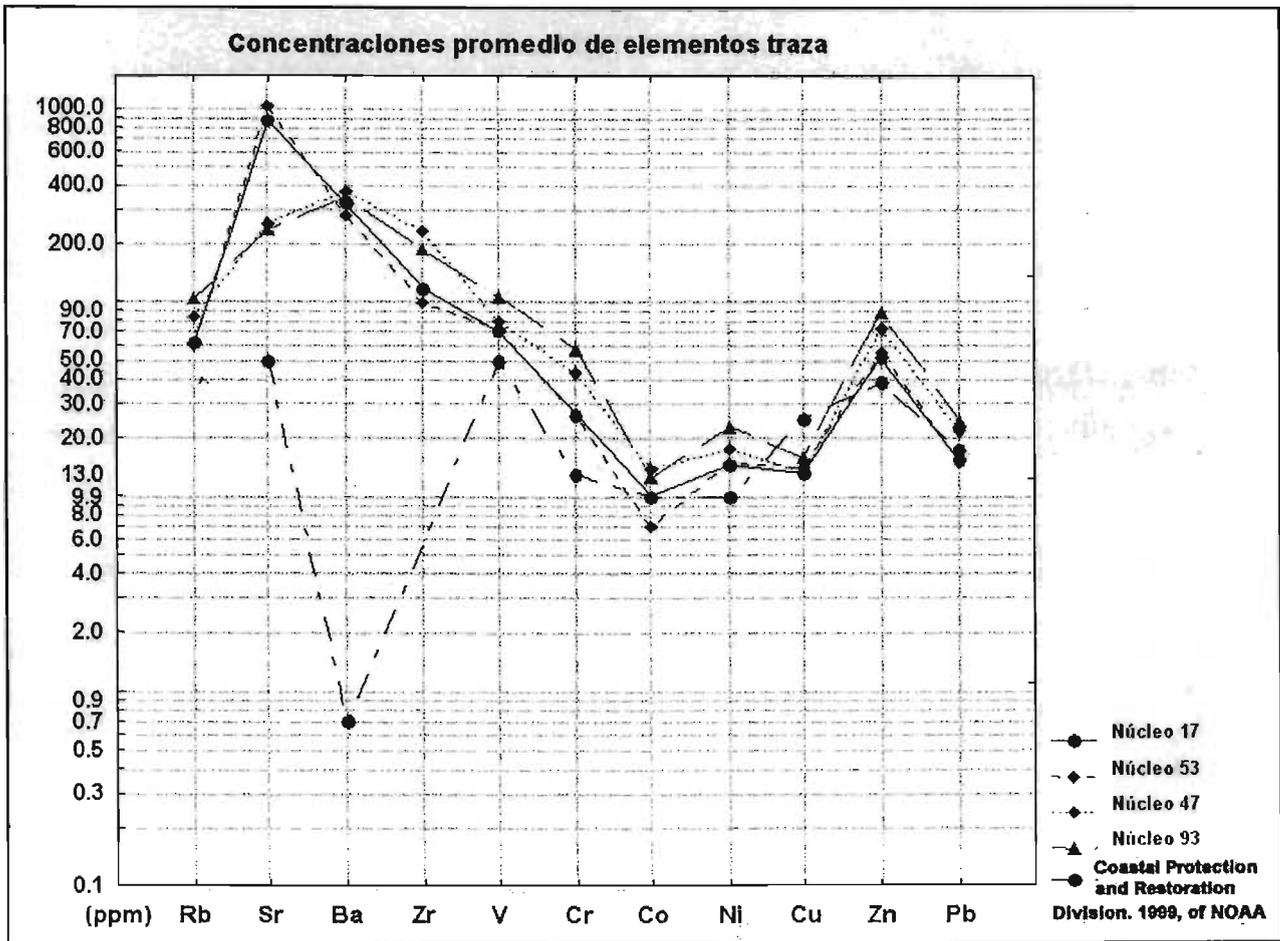


Figura (5.37). Comparación de las concentraciones de los elementos traza de fondo reportados por la Coastal and Restoration Division, con las concentraciones encontradas en los núcleos de los sedimentos estudiados.



### 5.5 Normalización de las concentraciones de los Metales Mayores y Metales Traza.

Se sabe que los sedimentos son importantes en el transporte de metales traza en un ciclo hidrológico y que pueden reflejar a su vez la calidad actual de los sistemas acuáticos. La contribución de los sedimentos a la contaminación química está vinculada al tamaño de las partículas de los sedimentos, suele considerar que la fracción químicamente activa de un sedimento son los limos y arcillas. En el caso del fósforo y los metales, el tamaño de las partículas es de importancia decisiva, debido a la gran superficie externa de las partículas muy pequeñas.

Por lo antes mencionado es fundamental encontrar la relación del tamaño de las partículas, principalmente limos y arcillas, y los elementos mayores y traza, para conocer la calidad del sistema acuático y determinar alguna probable contaminación.

En este estudio se analizó con una regresión lineal el grado de correlación del  $\%Al_2O_3$  con el tamaño de grano más fino (arcillas), obteniéndose una muy buena asociación ( $r = 0.85$ ) de ambas variables, encontrando a su vez un alto coeficiente de determinación ( $r^2 = 0.72$ ) indicando que el modelo lineal propuesto es el que ajusta al comportamiento de las variables estudiadas (Fig. 5.38).

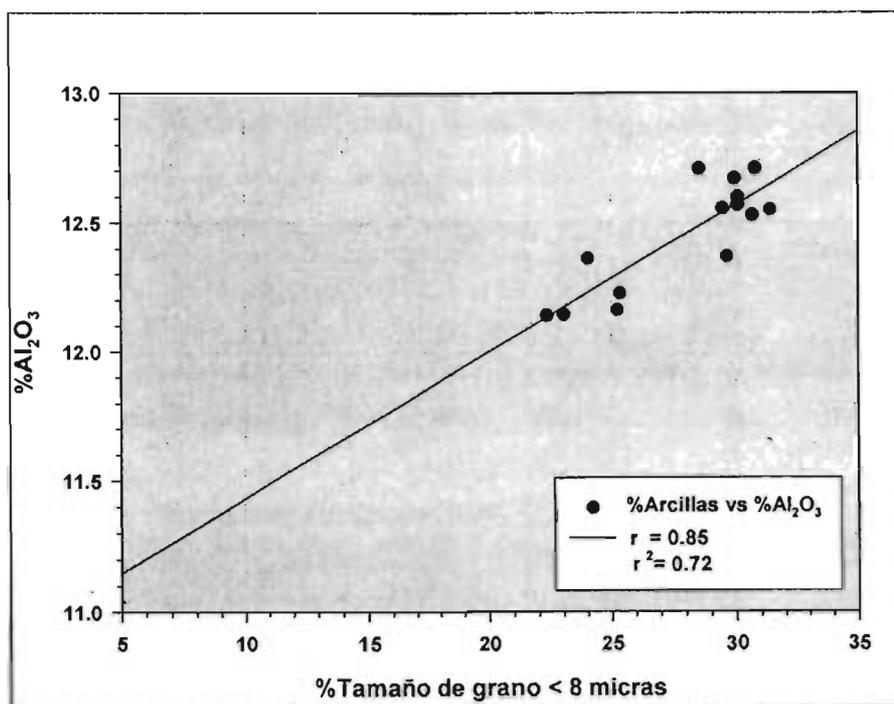


Figura (5.38). Correlación del tamaño de grano con la concentración del  $\% Al_2O_3$



Esto permitió elegir con seguridad al  $\text{Al}_2\text{O}_3$  como el metal para normalizar a los metales aquí estudiados, ya que al existir una muy buena correlación del  $\text{Al}_2\text{O}_3$  con el tamaño de grano menor a las 8 micras (arcillas), se puede considerar que el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  estará asociado a las fracciones más finas en todos los núcleos de sedimentos muestreados.

Normalizando la concentración de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de los núcleos (47, 93, 17 y 53) de sedimento con el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se encontró que los núcleos presentan una muy buena correlación ( $r = 0.952$ ), encontrando a su vez un alto coeficiente de determinación ( $r^2 = 0.9$ ) en la relación  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ , observando que los núcleos 17 y 53 son muy semejantes entre sí, el núcleo 53 presenta una mayor concentración de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Los núcleos 47 y 93 presentan una mayor relación  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$  sugiriendo que los sedimentos de estos núcleos tienen una concentración más alta de arcillas procedentes de las descargas continentales. El núcleo 93, ubicado al noreste de la desembocadura del Río Pánuco, se caracteriza por tener una relación casi constante de  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$  en todos los perfiles de este núcleo.

La relación de  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$  puede ser usada como primera aproximación como la medida de minerales autigénicos presentes en el sedimento (Calvert S.E,1976) (Fig. 5.39).

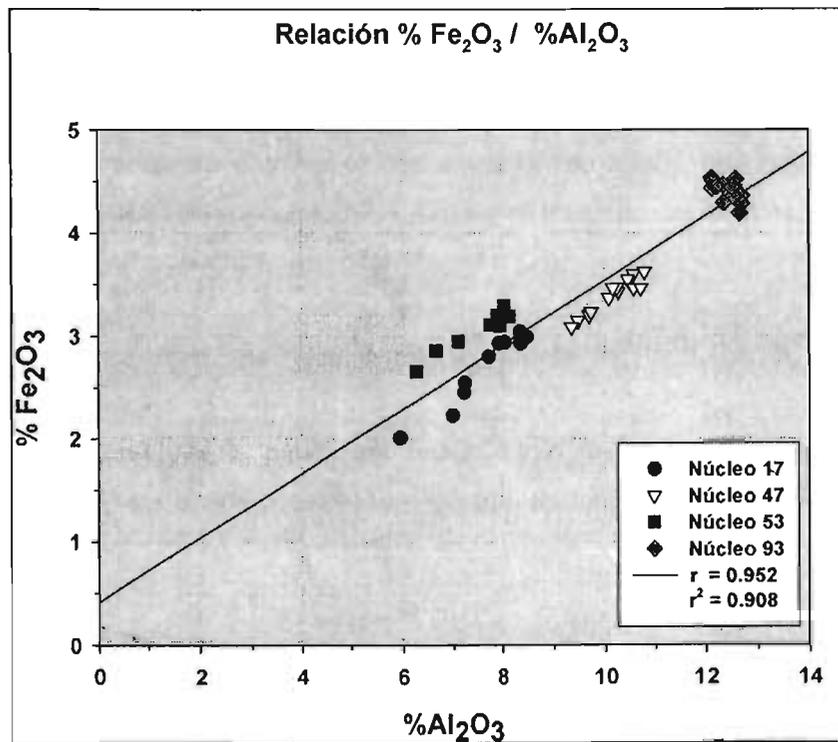


Figura (5.39). Normalización de la concentración del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en los núcleos de sedimentos analizados.



En el siguiente grafico se observa que la relación de  $K_2O/Al_2O_3$  en los cuatro núcleos de sedimento presenta una alta asociación ( $r = 0.97$ ) con un alto coeficiente de determinación ( $r^2 = 0.94$ ), esto debido muy probablemente a que el sedimento de estos núcleos tiene un alto contenido de feldespatos.

Se observa que los núcleos 17 y 53 son muy parecidos, mientras que el núcleo 47 y 93 presentan la mayor cantidad de feldespatos (Fig. 5.40).

Se puede ver que las mayores concentraciones de feldespato encontradas en los sedimentos están frente a la desembocadura del Río Pánuco que son un aporte continental y que existen corrientes marinas que favorecen el transporte de estos sedimentos a zonas de menor energía.

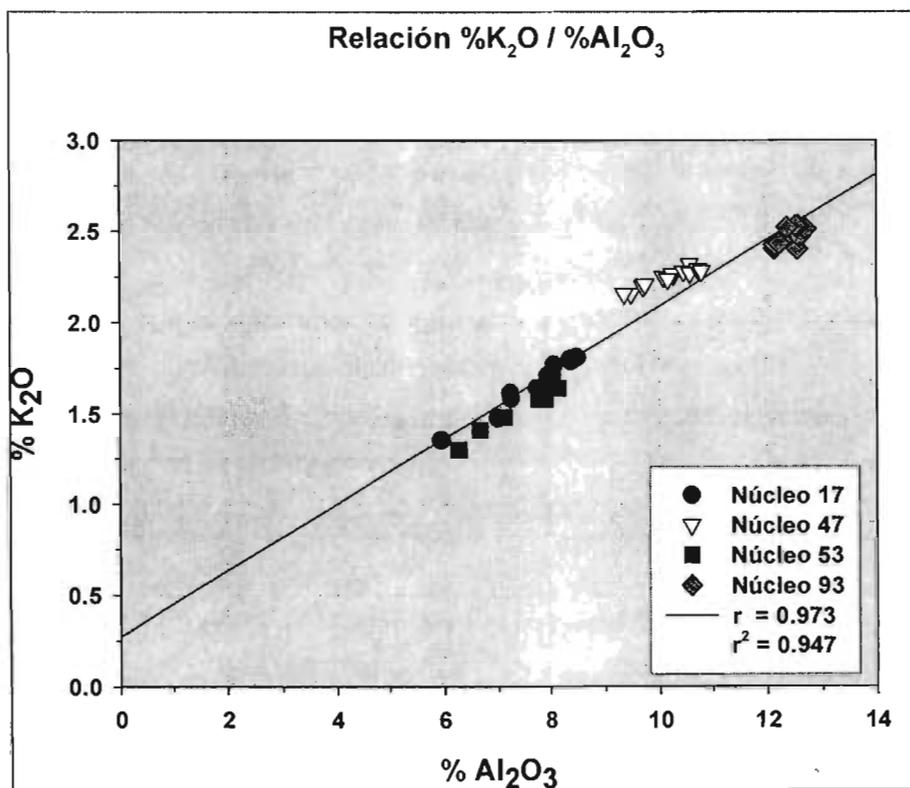


Figura (5.40). Normalización de la concentración del  $K_2O$  en los núcleos de sedimentos analizados.



En la relación de  $MgO/Al_2O_3$  en los núcleos de sedimento se presento una baja asociación entre las variables ( $r= 0.44$ ) y un bajo coeficiente de determinación ( $r^2= 0.19$ ) que sugiere que la relación de estas variables no se ajustan a un modelo lineal. Pero se observa que existe una alta concentración de MgO en los núcleos 93 que sugiere que hay una relativa abundancia de montmorillonita, y el alto contenido de  $CO_3$  en el núcleo 53 sugiere la presencia de magnesita ( $MgCO_3$ ).

Mientras que en los núcleos 47 y 17 las concentraciones de MgO son bajas en comparación con las de los núcleos 93 y 53.

Al relacionar solo los núcleos 47 y 93 se observa que existe una alta asociación de  $MgO/Al_2O_3$  ( $r = 0.999$ ) y un alto coeficiente de determinación ( $r^2 = 0.999$ ), esto sugiere que los núcleos 47 y 93 pueden contener una relativa abundancia de montmorillonita en estas arcillas (Fig. 5.41).

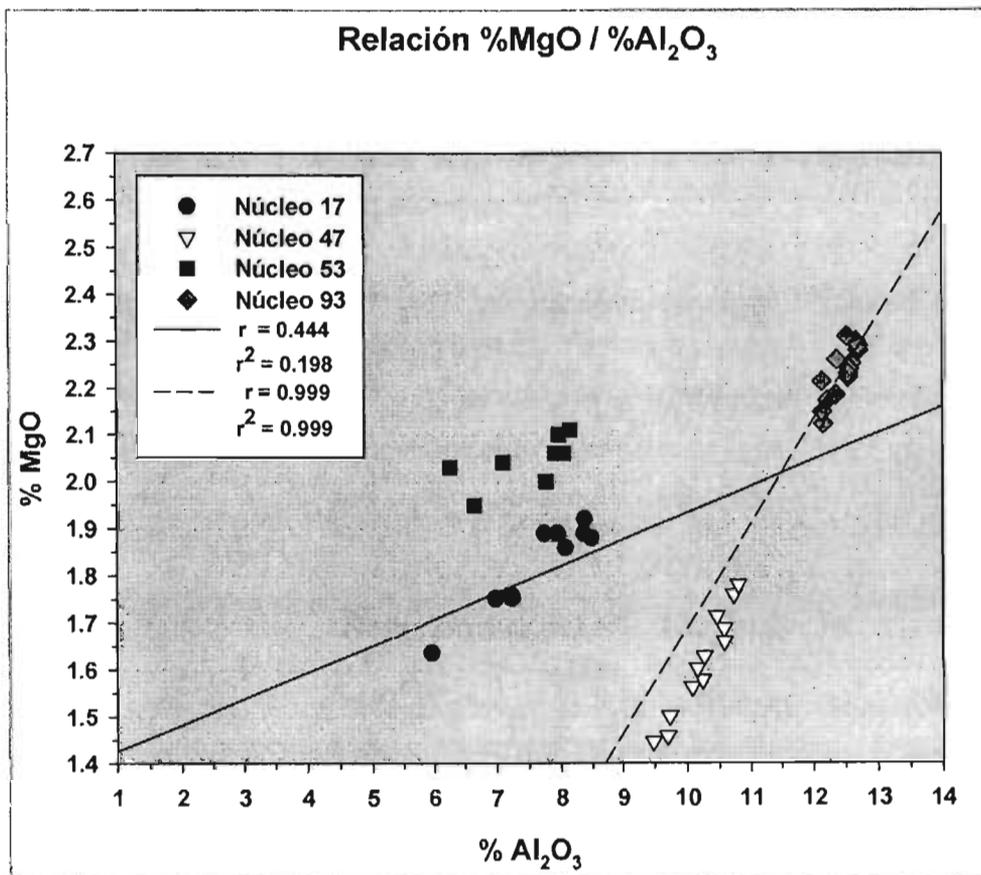


Figura (5.41). Normalización de la concentración del MgO en los núcleos de sedimentos analizados.



La relación de  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  en los cuatro núcleos presento una baja asociación ( $r= 0.69$ ), con un coeficiente de determinación bajo también ( $r^2= 0.48$ ) sugiriendo que la relación de estas variables no se ajustan a un comportamiento lineal, aunque se puede observar que las concentraciones de  $\text{SiO}_2$  en el núcleo 47 y 93 son muy altas indicando importantes concentraciones de cuarzo en estos núcleos de sedimento.

Esto indica que las concentraciones de cuarzo son muy probablemente un aporte del continente al mar. Aunque los otros núcleos tengan concentraciones menores de  $\text{SiO}_2$  también presentan una concentración importante de cuarzo (Fig. 5.42).

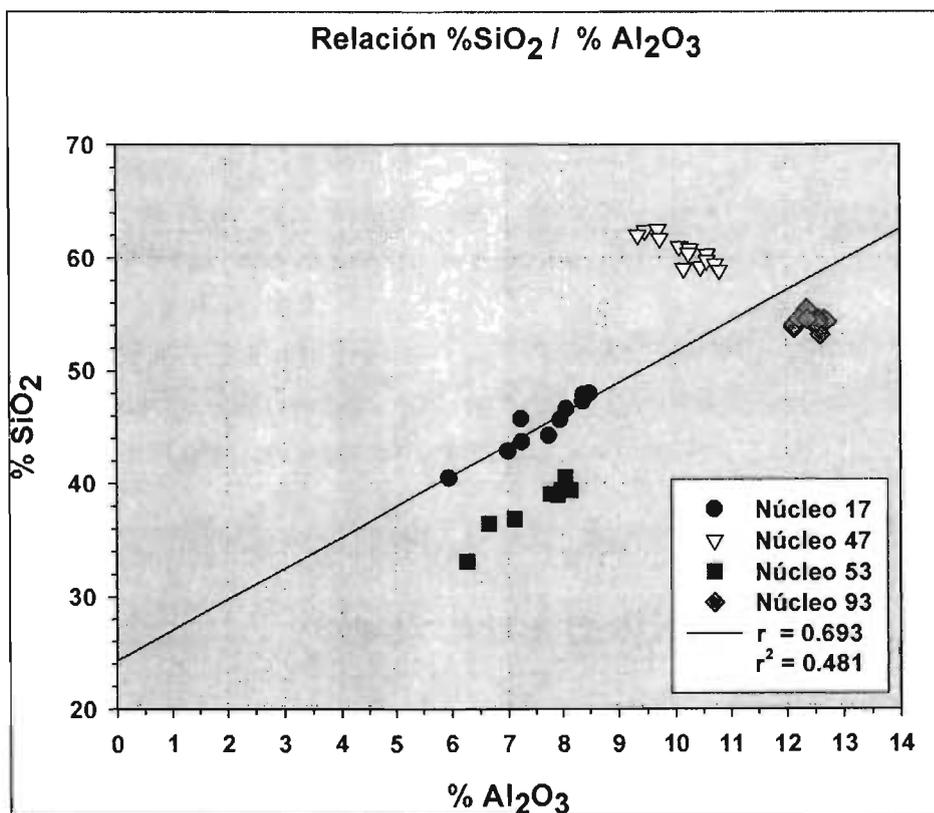


Figura (5.42). Normalización de la concentración del SiO<sub>2</sub> en los núcleos de sedimentos analizados.



En la Figura (5.43) se puede observar que la relación de  $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  presenta una alta asociación ( $r = 0.97$ ) y a su vez un alto coeficiente de determinación ( $r^2 = 0.94$ ) en los cuatro núcleos de sedimento esto es debido muy probablemente a que existe un aporte de Titanio por minerales detríticos del continente como la ilmenita, pero también es posible tener a la anatasa y al rutilo que algunas veces son los segundos minerales más abundantes.

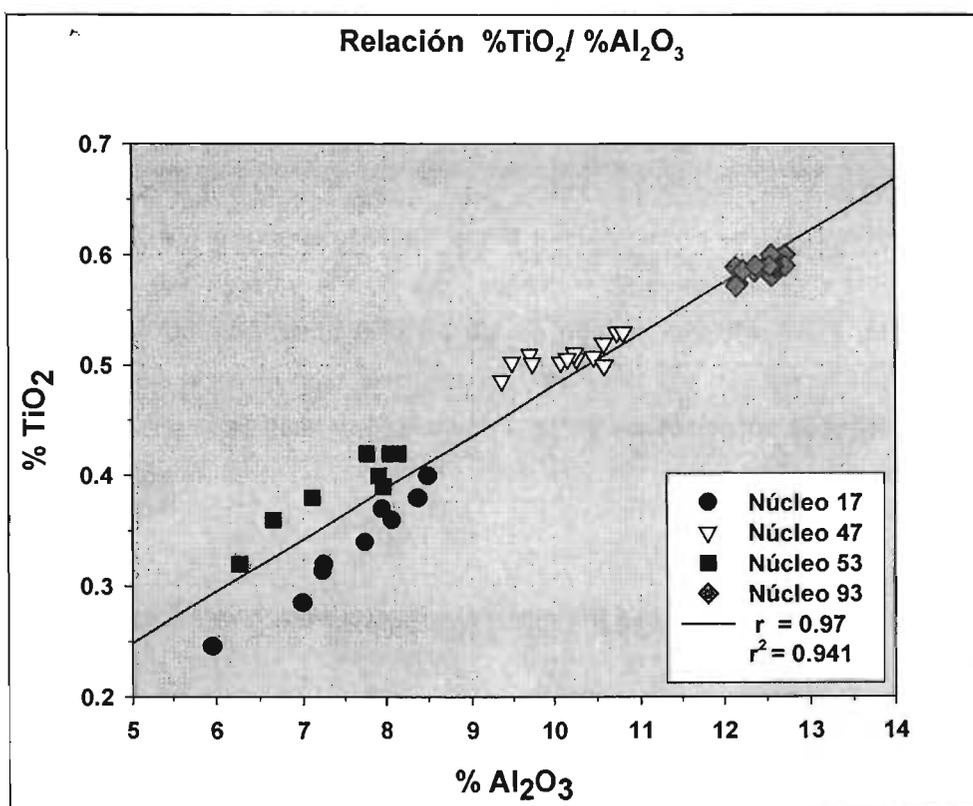


Figura (5.43). Normalización de la concentración del  $\text{TiO}_2$  en los núcleos de sedimentos muestreados.

En la relación de  $\text{CaO}/\text{CO}_3$  se encontró que en los cuatro núcleos de sedimento presentan una muy buena asociación de estos elementos ( $r = 0.98$ ) y un alto coeficiente de determinación ( $r^2 = 0.97$ ) sugiriendo que la relación de  $\text{CaO}/\text{CO}_3$  presenta un comportamiento lineal.



Los valores de Ca que se encuentran por arriba de la línea, podrían deberse al Ca presente en una forma no asociada al Al, la alta concentración de Mg del núcleo 53 sugiere la presencia de magnesita ( $MgCO_3$ ) y monticellita ( $CaMgSiO_4$ ), mientras que los valores por debajo de la línea sugieren que adicionalmente al  $CaCO_3$ , los carbonatos pueden estar asociados a otros cationes como el Mg, Sr y Ba en los sedimentos de este núcleo.

Se puede observar que los núcleos 53 y 17 presentan una gran concentración de CaO y  $CO_3$  esto indica que estos núcleos son de origen biogénico mientras que los núcleos 47 y 93 presentan concentraciones bajas y constantes de CaO y  $CO_3$  (Fig. 5.44). Esto sugiere que tenemos dos tipos diferentes de origen de los núcleos de sedimentos, tenemos a los núcleos 17 y 53 como núcleos de sedimento de origen biogénico y los núcleos 47 y 93 como núcleos de sedimento terrígeno o detrítico.

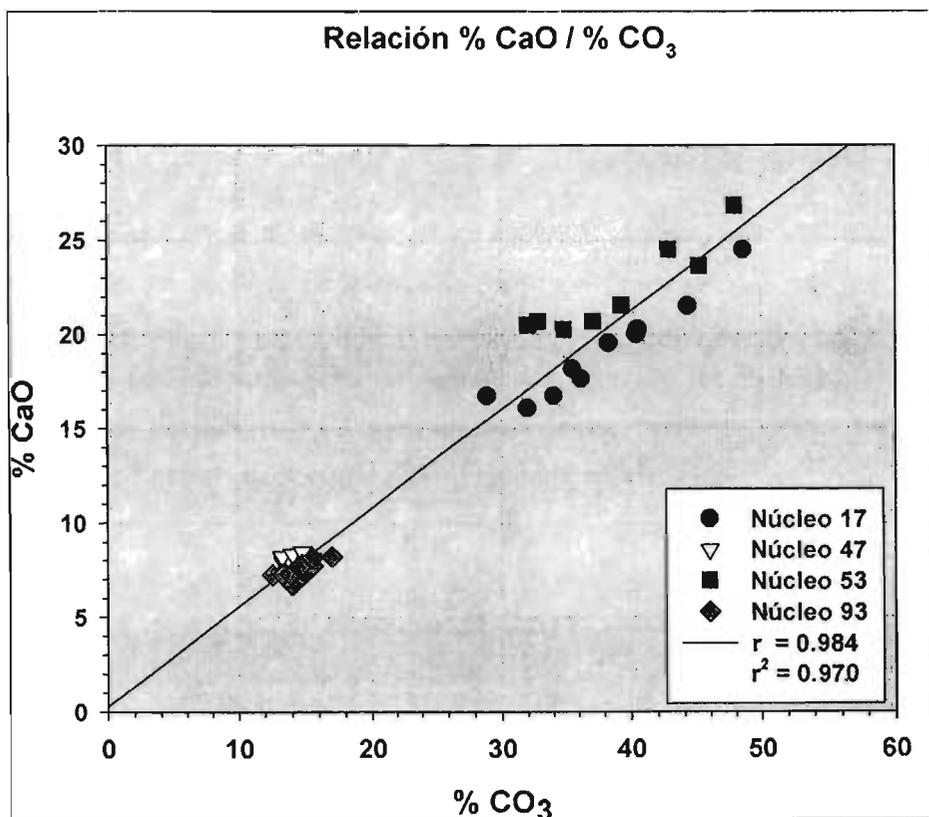
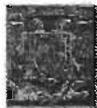


Figura (5.44). Relación CaO/CO<sub>3</sub> de los núcleos de sedimento.



## 5.6 Distribución vertical de la composición química en los núcleos de sedimento.

Con la distribución vertical de los elementos mayores y traza en los sedimentos de los núcleos de estudio, se puede conocer la contribución temporal de dichos elementos y el conocer las probables contaminaciones debidas a algunos metales pesados.

En la distribución vertical de los metales mayores y traza de los núcleos de sedimentos se utilizo la normalización metal /  $Al_2O_3$  (**Apéndice C**) para encontrar la asociación que los metales tienen con las fracciones arcillosas en los núcleos de sedimento, para este análisis solo se estudiaron los núcleos 47, 93 y 17, por contar con el estudio isotópico de  $^{210}Pb$  de cada perfil y por considerar que los núcleos 17 y 53 presentaban un comportamiento semejante debido a su ubicación.

### 5.6.1 Núcleo 47

La distribución vertical de las concentraciones de los metales mayores, materia orgánica y carbonatos en los 25cm del núcleo 47 son prácticamente constantes, observando que solo existió una disminución de la materia orgánica en el segundo semestre del año 1996 recuperándose a partir del año de 1997 y se ha mantenido constante hasta ahora (Fig. 5.45).

Núcleo 47

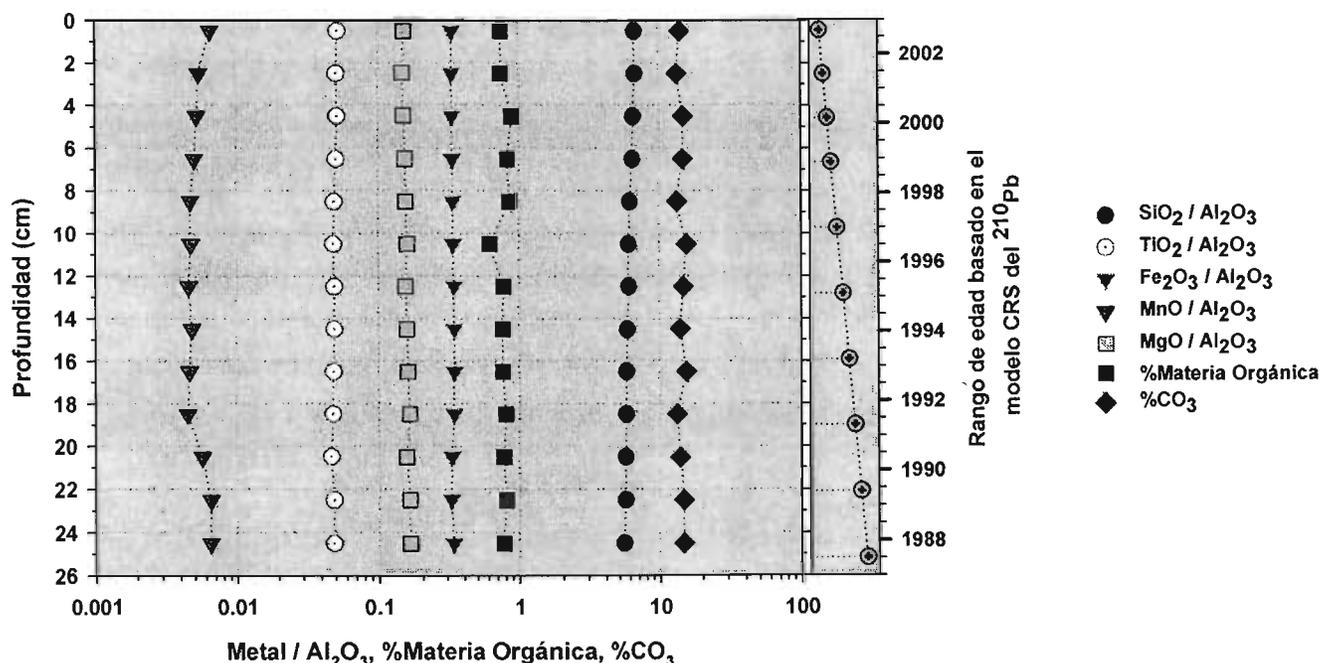


Figura (5.45). Distribución vertical de los metales mayores, materia orgánica y carbonatos, en el núcleo 47



En la distribución vertical de las concentraciones de los metales traza en los 25 cm del núcleo 47, se observa que ha existido un incremento en la relación  $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , con respecto al tiempo, se puede observar que han existido tres etapas de incremento la primera entre los años 1988 y 1993, manteniéndose constante hasta el segundo semestre de 1995 en donde existió nuevamente un incremento hasta 1999. En el primer semestre del 2000 hubo un decremento importante, pero después de este periodo hubo el mayor incremento de Co en todos los perfiles del núcleo llegando a su máxima concentración en el año 2003. Esto implica que la entrada de Co al sistema ha sido reciente.

La relación de  $\text{Pb}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , se mantuvo casi constante durante el periodo de los años del 1989 al 1994, después del cual hubo un incremento hasta el primer semestre del año 2001 donde existió un pequeño decremento de Pb, pero después de esta fecha se ha incrementado nuevamente la concentración de Pb al sistema.

En las relaciones de  $\text{Cu}/\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , han existido pequeñas variaciones en su concentración, se observa que en años recientes ha existido un decremento de Cu y Ni al sistema (Fig. 5.46).

### Núcleo 47

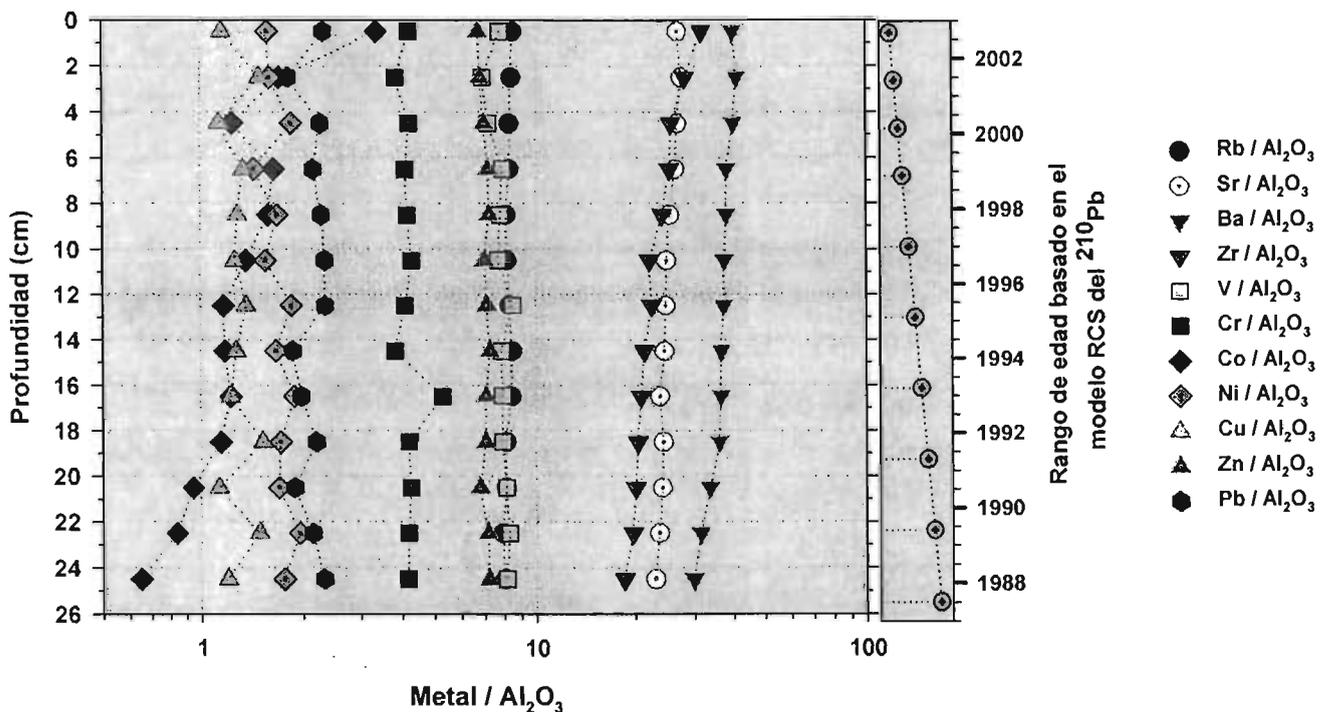


Figura (5.46). Distribución vertical de los metales traza en el núcleo 47



## 5.6.2 Núcleo 93

La distribución vertical de las concentraciones de los metales mayores, materia orgánica y carbonatos en los 27cm del núcleo 93 se destaca por presentar concentraciones prácticamente constantes en todo el perfil del núcleo, solo hay una disminución en la concentración de materia orgánica que se presentó a partir del año de 1982 (0.8%) llegando a su mínima concentración en el año de 1991 (0.2%), recuperándose la concentración de materia orgánica en el año de 1994 (0.8%) y de este año en adelante se ha mantenido prácticamente constante la concentración de la materia orgánica.

Se observa también que en años muy recientes ha existido un incremento paulatino de MnO al sistema y que se ha estado dando desde el año de 1997 hasta la fecha (Fig.5.47).

Núcleo 93

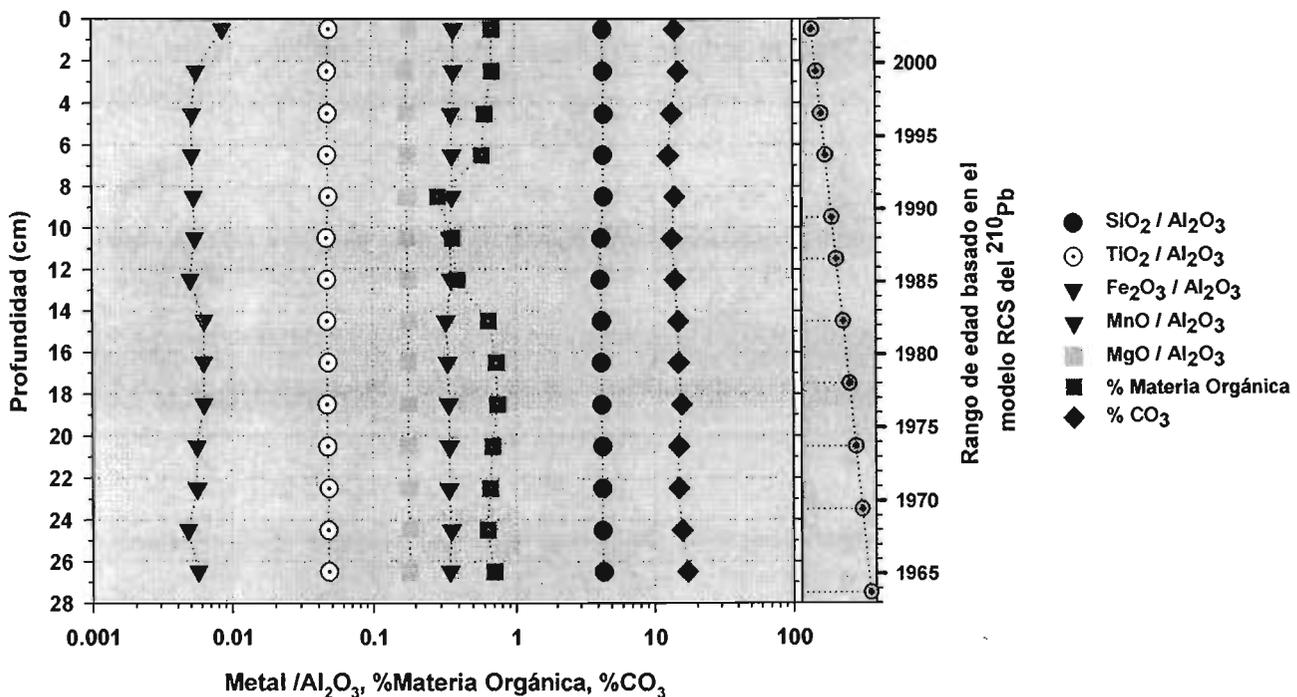


Figura (5.47). Distribución vertical de los metales mayores, materia orgánica y carbonatos, en el núcleo 93



En la distribución vertical de las concentraciones de los metales traza en los 27cm del núcleo 93 se observa que ha sido prácticamente constante con respecto al tiempo, sólo se tiene que ha existido un incremento en la relación de  $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , el mayor incremento se presentó en el periodo de los años de 1985 a 1991, donde a partir de 1991 hubo un pequeño decremento en la relación de  $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , pero la tendencia de la concentración al sistema de Co es la de aumentar.

La relación de  $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Pb}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , se ha mantenido prácticamente sin una alteración importante durante el tiempo, solo la concentración de Pb en el año de 1999 fue la menor en un periodo de casi 30 años, esto sugiere que la aportación de Ni y Pb ha sido constante en el tiempo.

La relación de  $\text{Cu}/\text{Al}_2\text{O}_3$  casi no ha tenido cambios importantes excepto en el año de 1979 que presentó la menor concentración de Cu en el sistema, pero a partir del año de 1983 la concentración de Cu al sistema ha ido aumentando (Fig. 5.48).

## Núcleo 93

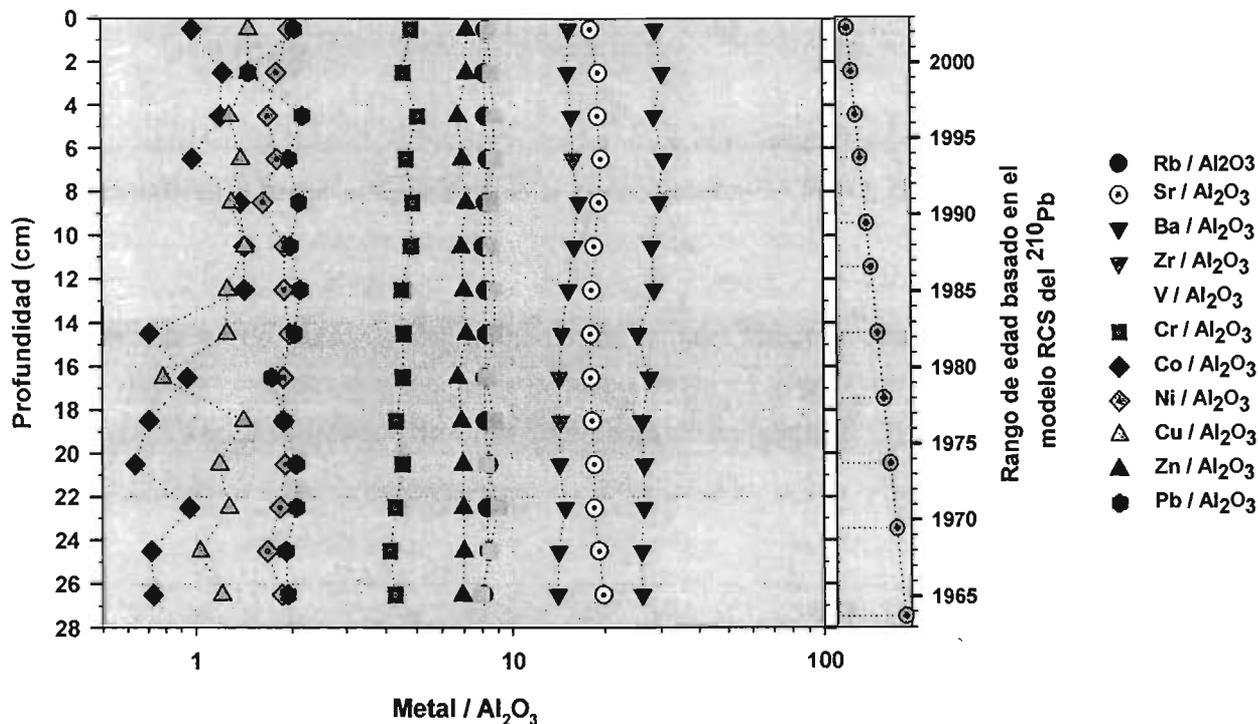


Figura (5.48). Distribución vertical de los metales traza en el núcleo 93



## 5.6.3 Núcleo 17

La distribución vertical de las concentraciones de los metales mayores, materia orgánica y carbonatos en los 17cm del núcleo 17 se destaca por ser el núcleo de mayor antigüedad y presentar concentraciones prácticamente constantes en todo el perfil del núcleo, solo hay un incremento importante en la concentración de materia orgánica que se presentó en el periodo de los años 1920 al 1970 (0.6%), después de 1970 hubo un decremento de la concentración (0.3%) el cual se ha mantenido casi constante hasta fechas recientes (Fig. 5.49).

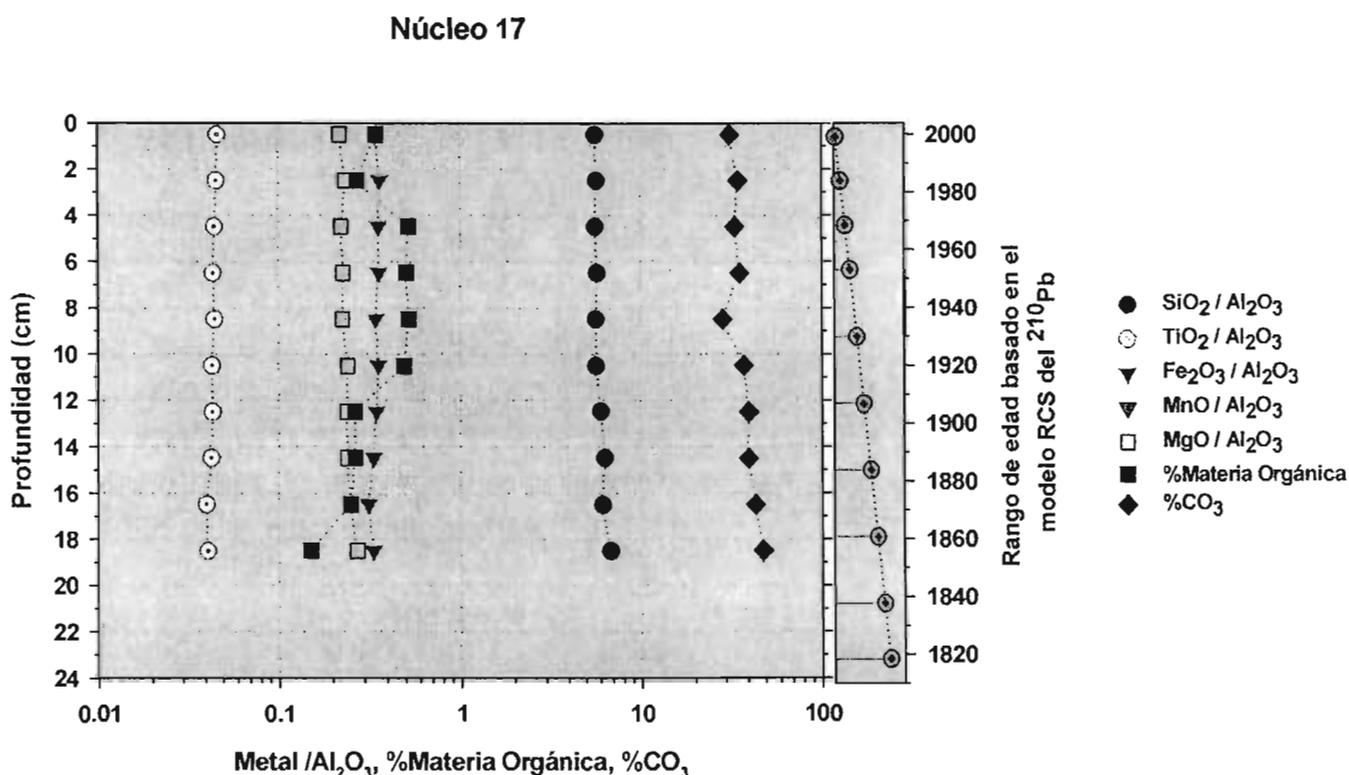


Figura (5.49). Distribución vertical de los metales mayores, materia orgánica y carbonatos, en el núcleo 17

En la distribución vertical de las concentraciones la mayoría de los metales traza del núcleo 17 se han mantenido prácticamente constantes con respecto al tiempo con excepción de la relación  $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$  que a partir del año 1920 hasta nuestros días ha existido un descenso importante de esta relación, esto indica que la concentración de Co que se ha introducido al sistema a disminuido considerablemente.



Se observa que la relación  $Cr/Al_2O_3$  ha tenido un incremento con respecto al tiempo, observándose que el mayor incremento se llevo acabo aproximadamente en el periodo de los años 1860 y 1880. Aproximadamente a partir del año 1890 hasta el año 1920 existió un incremento paulatino de la concentración de Cr al sistema muy probablemente debido a la actividad industrial, después de estos años se ha mantenido prácticamente constante la concentración de Cr que se ha agregado al sistema.

Es de hacer notar que la relación  $Sr/Al_2O_3$  ha ido disminuyendo con respecto al tiempo y que esto no se ha observado en ninguno de los otros núcleos estudiados, la concentración de Sr en el sistema ha bajado considerablemente encontrándose las mas bajas concentraciones de Sr en años recientes y que al parecer la tendencia de la concentración del Sr es el disminuir, aunque pudiera esperarse que el  $CO_3$  también presentara un comportamiento semejante al Sr esto no se observa (Fig. 5.50).

### Núcleo 17

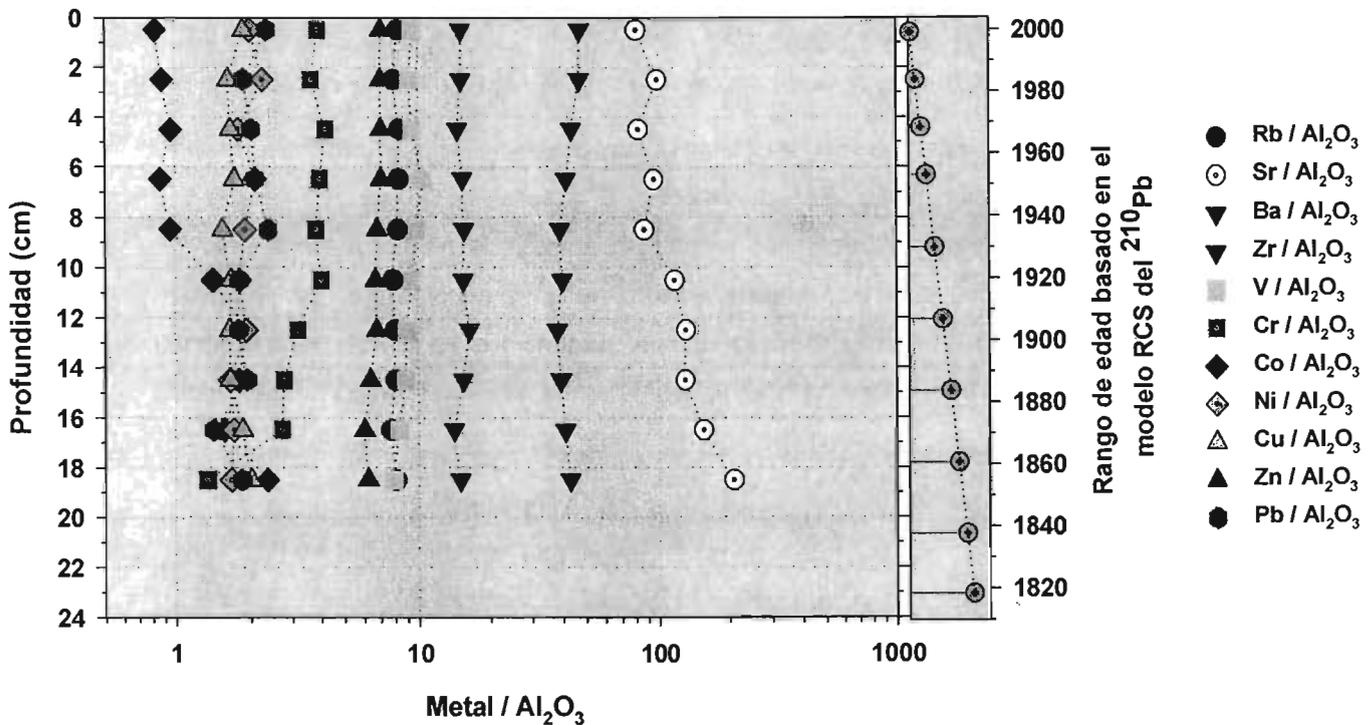


Figura (5.50). Distribución vertical de los metales traza en el núcleo 17



### 5.7 Análisis multivariado de los núcleos de sedimento.

Los métodos multivariados son extraordinariamente útiles para ayudar a los investigadores a hacer que tengan sentido conjuntos grandes, complicados y complejos de datos que consta de una gran cantidad de variables medidas en números grandes de unidades experimentales. La importancia y la utilidad de los métodos multivariados aumenta al incrementarse el número de variables que se están midiendo y el número de unidades experimentales que se están evaluando (Dallas E. J. 2000).

Para este estudio se tomaron cuatro poblaciones, que corresponden a cada uno de los cuatro núcleos de sedimento, esto se realizó con el objetivo de conocer cada una de las características de los núcleos.

Para esto se diseñó una matriz de tipo R, de tamaño  $S \times n$ , para cada núcleo, donde por ejemplo, los casos de estudio son las fracciones o estratos tomados de cada núcleo, representados por "S", y las variables como los elementos mayores ( $\%Al_2O_3$ ,  $\%SiO_2$ ,  $\%TiO_2$ ,  $\%Fe_2O_3$ ,  $\%MnO$ ,  $\%MgO$ ,  $\%CaO$ ,  $\%Na_2O$ ,  $\%K_2O$  y  $\%P_2O_5$ ), materia orgánica (%), carbonatos (%), elementos traza (en partes por millón) (Rb, Sr, Ba, Zr, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn y Pb) y la textura ( $\%gravas$ ,  $\%arenas$ ,  $\%limos$  y  $\%arcillas$ ), representados como "n" en la matriz, teniendo en forma matemática una matriz de tamaño  $S \times n$ , esto se hizo para los cuatro núcleos (**Apéndice D**).



### 5.7.1 Núcleo 47

Para el núcleo 47 de sedimento se diseñó una matriz por el método de tipo R, para determinar las interrelaciones entre variables. Se trabajó con una matriz S x n de tamaño 13 x 26, donde "S" son las fracciones o estratos del núcleo, y "n" son todas las variables elementos mayores, materia orgánica, carbonatos, metales traza y características texturales.

#### 5.7.1.1 Análisis de cluster

El análisis de cluster es una técnica analítica para desarrollar subgrupos significativos de individuos u objetos, esta técnica se utilizó en este trabajo para conocer los grupos significativos que conforman a las variables de cada núcleo de estudio y de esta manera determinar las características químicas que conforman a cada núcleo.

Se aplicó el análisis de cluster usando la regla de unión de vecinos lejanos y la distancia 1-Pearson r.

Se obtuvieron tres grupos con en análisis de cluster en el núcleo 47 de sedimento (Fig. 5.51).

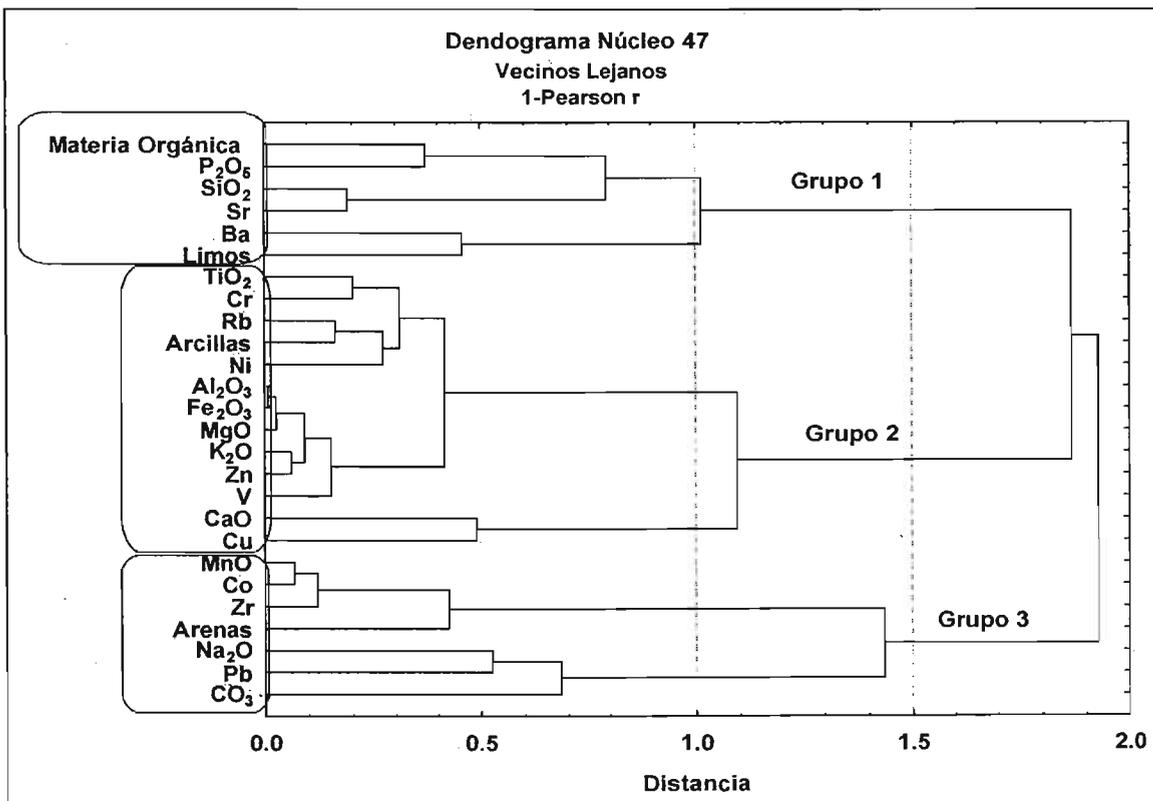


Figura (5.51). Dendrograma de variables del núcleo 47 de sedimento



El primer grupo (Grupo 1) esta constituido por la materia orgánica, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SiO<sub>2</sub>, Sr, Ba y Limos.

En este grupo se asocian muy bien el SiO<sub>2</sub> y el Sr, indicando la presencia de cuarzo que se asocia con materia orgánica, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ba y limos que esta asociación puede estar indicando una presencia importante de cuarzo en los limos asociados a la materia orgánica presentes en el núcleo.

En el segundo grupo (Grupo 2) se encuentran asociados por TiO<sub>2</sub>, Cr, Rb, Arcillas, Ni, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, Zn, CaO, V y Cu. En este grupo se tienen asociados elementos de origen detrítico, provenientes del continente, con las arcillas, las partículas más pequeñas del núcleo que muy probablemente son aportadas por el Río Pánuco y determinan su probable origen terrígeno.

En el tercer grupo (Grupo 3) tenemos asociado a los elementos MnO, Co, Zr, arenas, Na<sub>2</sub>O, Pb y CO<sub>3</sub>. Este grupo por la asociación de los elementos tiene características calcáreas que están presentes en la fracción de las arenas.

**5.7.1.2 Análisis Factorial.**

Se aplico la técnica de extracción por componentes principales para determinar el número de factores importantes que explican el comportamiento químico de cada uno de los núcleos de sedimento.

Aplicando el análisis factorial por componentes principales se determino el número de factores importantes que explican las características de este núcleo (Tabla. 5.7).

Tabla (5.7). Análisis de Factores por Componente Principales Núcleo 47

<b>Análisis de Factores por Componentes Principales Núcleo 47 de sedimento</b>				
<b>Factores</b>	<b>Valores Propios</b>	<b>% Varianza Total</b>	<b>Valores propios Acumulados</b>	<b>Acumulado %</b>
1	13.35	51.34	13.35	51.34
2	3.71	14.28	17.06	65.62
3	2.34	9.00	19.40	74.62
4	2.04	7.84	21.44	<b>82.46</b>

En la tabla anterior tenemos que se encontraron cuatro factores que explican el 82.46% de las características del núcleo.



El primer factor muestra que hay 13 variables que explican el 51.34% de las características del núcleo de sedimento. El segundo factor indica que hay 4 variables que explican el 14.27% de las características y así el factor tres y el factor cuatro tienen 9% y 8% respectivamente con 2 variables por cada factor.

### 5.7.1.3 Rotación Varimax.

La aplicación de la Rotación Varimax se utilizó en este trabajo para obtener una solución clara y poder dar una interpretación científica a cada uno de los factores, determinando las cargas estadísticas de cada variable.

Para determinar las cargas estadísticas de las variables o pesos de las variables más significativas, se aplicó la Rotación Varimax, para maximizar las varianzas y determinar las cargas de cada variable en los cuatro factores determinados (Tabla. 5.8).

Tabla (5.8). Rotación Varimax para las variables del Núcleo 47 de sedimento

Variables	Rotación Varimax Núcleo 47 de sedimento Extracción: Componentes principales (Cargas Significativas > 0.70)			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Materia Orgánica	-0.182	0.5041	0.2129	-0.5062
SiO <sub>2</sub>	<b>-0.968</b>	-0.039	0.081	0.116
TiO <sub>2</sub>	0.630	0.473	0.142	0.446
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>0.927</b>	0.255	0.163	0.149
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>0.951</b>	0.004	0.202	0.147
MnO	0.192	<b>0.736</b>	-0.347	0.309
MgO	<b>0.934</b>	0.254	0.048	0.172
CaO	0.625	0.642	0.176	-0.047
Na <sub>2</sub> O	0.069	0.442	-0.298	0.631
K <sub>2</sub> O	<b>0.891</b>	0.090	0.363	0.125
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.058	<b>0.919</b>	0.108	0.050
Rb	<b>0.869</b>	-0.044	0.305	0.220
Sr	<b>-0.791</b>	0.117	0.070	-0.254
Ba	-0.519	-0.693	0.312	-0.115
Zr	<b>-0.888</b>	-0.183	-0.252	0.121
V	<b>0.888</b>	0.201	-0.009	0.209
Cr	0.534	0.074	0.582	0.367
Co	-0.661	-0.333	-0.366	0.275
Ni	0.695	0.357	0.346	0.052
Cu	0.592	0.000	-0.218	-0.346
Zn	<b>0.918</b>	0.211	0.201	0.096
Pb	0.409	0.244	-0.157	0.561
CO <sub>3</sub>	0.148	0.108	0.438	<b>0.753</b>
Arenas	-0.358	0.077	<b>-0.900</b>	-0.021
Limos	-0.030	0.093	<b>0.888</b>	-0.067
Arcillas	0.590	-0.193	<b>0.754</b>	0.084
Varianzas	11.523	3.593	3.849	2.475
Suma Total	0.443	0.138	0.148	0.095



Aplicando la Rotación Varimax se determino que el primer factor es bipolar y contiene 10 variables significativas que explican el 44.3% de las características del núcleo. Este factor por sus características nos determina el **origen del sedimento**.

Las variables que presentan carga positiva son las que determinan las características del núcleo. Se tiene al  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Rb, Zn y V como variables con carga positiva y determinan que el origen del sedimento es terrígeno ya que estos elementos son considerados presentes en arcillas minerales provenientes de la meteorización de las rocas del continente como los aluminosilicatos ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y feldespatos ( $\text{K}_2\text{O}$ ), así como cantidades de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Con carga negativa se tiene al  $\text{SiO}_2$ , Zr y Sr, que indica un aporte de cuarzo al sistema.

El segundo factor presenta dos variables significativas que explican el 13.8% de las características de los sedimentos del núcleo. Las variables presentes en este factor son el MnO y  $\text{P}_2\text{O}_5$ , que probablemente indiquen un **aporte de apatita** al sistema.

El tercer factor es bipolar y presenta tres variables significativas que explican el 14.8% de las características de los sedimentos del núcleo 47. Se determinó que las variables con carga positiva en este factor son los Limos y Arcillas, esto indica que los limos son las partículas dominantes en el núcleo seguidas por las arcillas, mientras que las arenas presentan una carga negativa pero significativa indicando que esta variable tiene un comportamiento inverso con respecto a los Limos y Arcillas que dominan el sistema. Por lo tanto el factor 3 indica las **características texturales** del núcleo.

El cuarto factor sólo presenta una sola variable  $\text{CO}_3$  que no presenta ninguna asociación con otra variable, esto hace intrascendente el factor cuatro para alguna interpretación.



### 5.7.1.4 Análisis multidimensional

En este estudio se aplicó la técnica de análisis multidimensional para determinar la imagen percibida relativa del conjunto de variables estudiadas.

Con este análisis se obtuvo un mapa perceptual para las variables del núcleo de sedimento 47 en el cual se obtuvieron dos grandes grupos en los cuales se agrupan las variables más importantes y significativas del núcleo (Fig. 5.52).

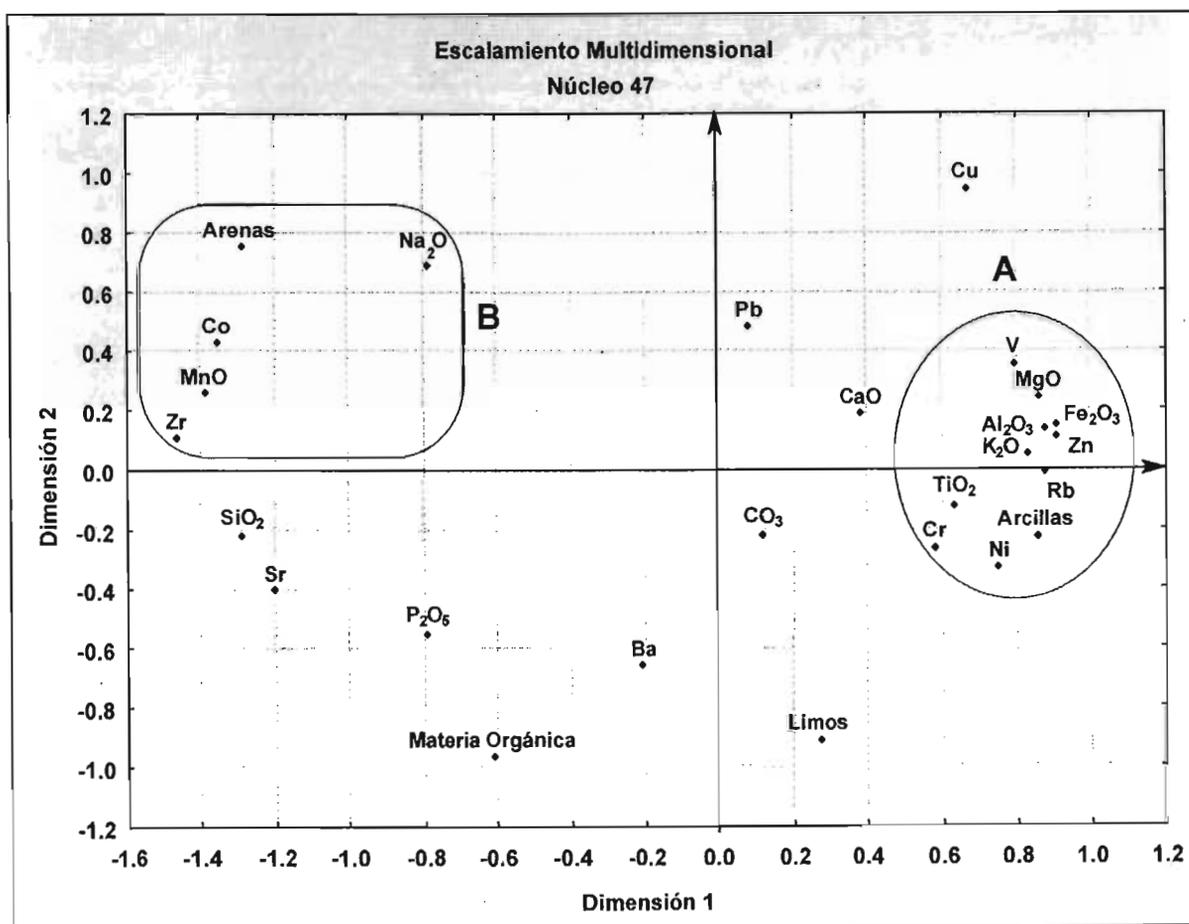


Figura (5.52). Mapa perceptual de las variables del núcleo 47 de sedimento

El grupo A obtenido en el mapa perceptual muestra que las variables V, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Zn, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Rb, TiO<sub>2</sub>, arcillas, Cr y Ni, nos indican el origen del sedimento de este núcleo.



Se puede observar que las mayores semejanzas se encuentran en las variables  $Fe_2O_3$ , Zn, Rb,  $Al_2O_3$  y  $K_2O$  que son elementos detríticos de origen continental, esto indica que el origen de los sedimentos del núcleo 47 es terrígeno.

En este mismo grupo se observa que las variables  $TiO_2$ , Cr, Ni y arcillas se encuentran bien asociadas, indicando que el Cr y Ni se encuentran mayormente asociados a las arcillas.

El grupo B tiene asociados a las variables arenas,  $Na_2O$ , Co, MnO y Zr, la asociación de estas variables indica que las partículas arenosas están constituidas de una gran variedad de elementos que se puede interpretar que las arenas están fuertemente influidas por las descargas de arenas que hace el Río Pánuco al mar y por la cercanía a la línea de costa donde fue muestreado este núcleo que es afectada por las corrientes marinas y del mismo Río que pueden estar causando una gran diversidad de elementos asociados en las arenas de este núcleo.

Con los resultados obtenidos tenemos que las características de los sedimentos del núcleo 47 son mayoritariamente de origen terrígeno con aportes importantes de cuarzo provenientes del continente, esto es debido a la influencia de las descargas del Río Pánuco. En este núcleo se determinó que los limos y arcillas son las partículas mayoritarias de las descargas del Río encontrando que a estas partículas están asociados elementos traza como el Ni, V, Cr y Zn, que como se mencionó anteriormente el Ni y V están asociados a la industria petrolera, mientras que el Cr y Zn aun no se ha podido determinar su fuente exacta.

Se encontró también que los sedimentos de este núcleo contienen una fracción arenosa que aunque es relativamente pobre se le asocian elementos como el Co, MnO y Zr, sugiriendo probables descargas del Río Pánuco al mar de arenas provenientes del continente.



### 5.7.2 Núcleo 93

Para el núcleo 93 de sedimento se diseñó una matriz  $S \times n$  de tamaño  $14 \times 26$ , donde "S" son las fracciones o estratos del núcleo, y "n" son todas las variables elementos mayores, materia orgánica, carbonatos, metales traza y características texturales.

#### 5.7.2.1 Análisis de cluster

Se aplicó el análisis de cluster usando la regla de unión de vecinos lejanos y la distancia 1-Pearson r.

Se obtuvieron tres grupos con en análisis de cluster en el núcleo 93 de sedimento (Fig. 5.53).

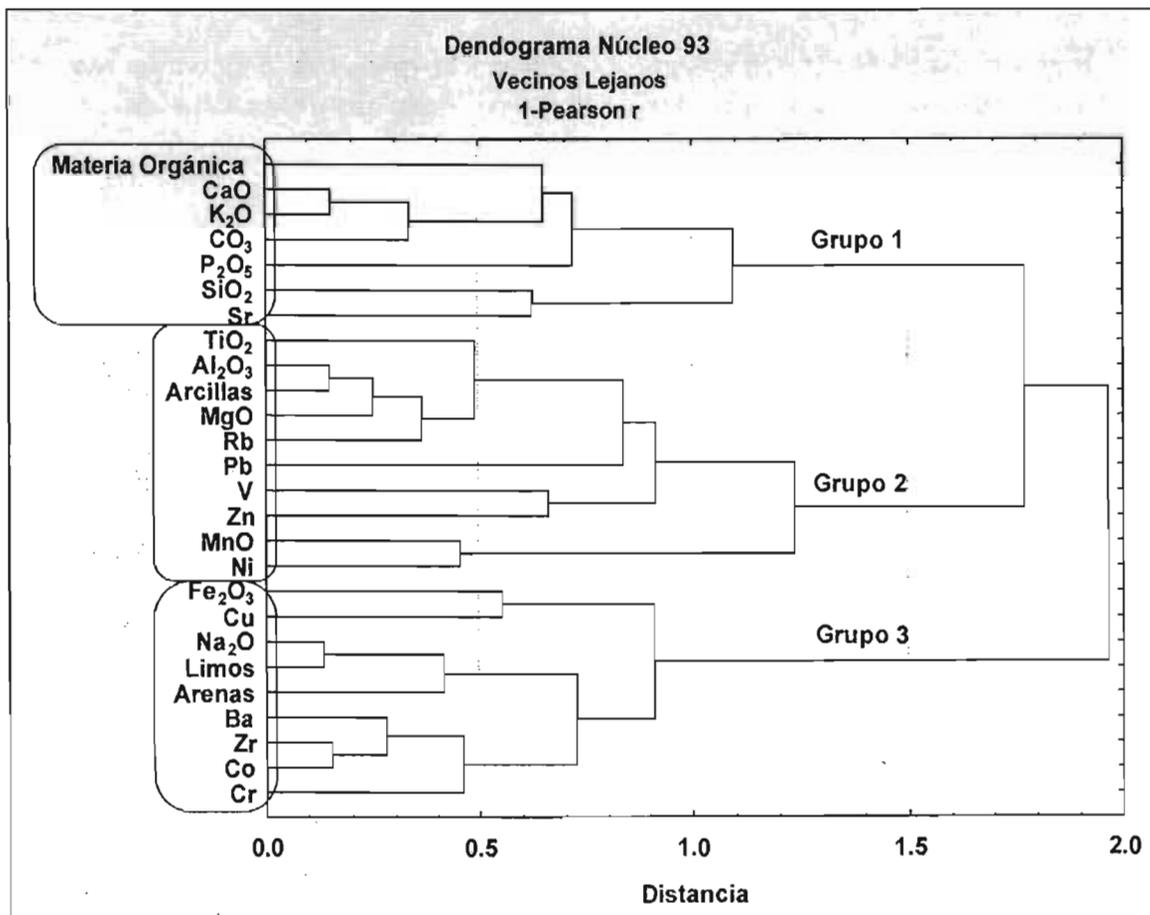


Figura (5.53). Dendrograma de variables del núcleo 93 de sedimento



El primer grupo (Grupo 1), del dendograma, esta conformado por Materia orgánica, CaO, K<sub>2</sub>O, CO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SiO<sub>2</sub> y Sr.

En esté grupo se asocian muy bien la Materia orgánica, CaO, K<sub>2</sub>O y CO<sub>3</sub>, esta asociación sugiere que hay una fracción de calcita (CaO) que esta adherida muy probablemente a arcillas de tipo feldespato (K<sub>2</sub>O) que se encuentran en una matriz orgánica. Se Tiene en este mismo grupo la asociación de SiO<sub>2</sub> y Sr, esto sugiere la presencia de cuarzo en el sistema. Por ultimo se encuentra el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> asociado a los elementos Materia orgánica, CaO, K<sub>2</sub>O y CO<sub>3</sub>, esto sugiere que puede existir un intercambio de la fase carbonatada o de calcita por apatita.

El segundo grupo (Grupo 2) asocia a los elementos TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Arcillas, MgO, Rb, Pb, V, Zn, MnO y Ni. En este grupo se tiene la asociación de elementos detríticos provenientes del continente como TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO y Rb que están asociados a las arcillas las partículas más pequeñas del núcleo, y que muy probablemente son aportadas por el Río Pánuco esto sugiere el origen terrígeno de los sedimentos del núcleo 93, en este grupo tenemos al Pb, V, Zn, MnO y Ni que son elementos de origen detríticos pero que en este análisis no se agruparon como se esperaba, esto sugiere que estos elementos pueden ser de origen antropogénico.

El tercer grupo (Grupo 3) tiene asociados los elementos Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu, Na<sub>2</sub>O, Limos, Arenas, Ba, Zr, Co y Cr. Esto sugiere que hay una distribución de los elementos traza (Ba, Zr, Co y Cr) en los Limos y Arenas que están asociadas al Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu y NaO.

5.7.2.2 Análisis Factorial.

Aplicando el análisis factorial por componentes principales se determino el número de factores importantes que explican las características de este núcleo (Tabla. 5.9).

Tabla (5.9). Análisis de Factores por Componente Principales Núcleo 93

Análisis de Factores por Componentes Principales Núcleo 93 de sedimento				
Factores	Valores Propios	% Varianza Total	Valores propios Acumulados	Acumulado %
1	11.08	42.62	11.08	42.62
2	4.09	15.74	15.17	58.36
3	3.14	12.08	18.31	70.44
4	2.02	7.78	20.34	78.22
5	1.31	5.03	21.65	83.25



## RESULTADOS Y DISCUSIONES



En la tabla anterior tenemos que cinco factores que explican el 83.25 % de las características del núcleo, esta relativa alta cantidad de factores encontrados indica que este núcleo tiene una gran variabilidad en las variables estudiadas.

El primer factor muestra que hay 11 variables que explican el 42.62% de las características del núcleo de sedimento.

En el segundo factor 4 variables explican el 15.74% de las características de los sedimentos del núcleo. El tercer factor tiene 3 variables que pueden explicar el 12.08%, el factor 4 y 5 presentan 2 y 1 variable respectivamente que explican el 7.78% y 5.03%.

### 5.7.2.3 Rotación Varimax.

Para determinar las cargas estadísticas de las variables o pesos de las variables más significativas, se aplicó la Rotación Varimax, para maximizar las varianzas y determinar las cargas de cada variable en los cinco factores determinados (Tabla. 5.10).

Tabla (5.10). Rotación Varimax para las variables del Núcleo 93 de sedimento

Variables	Rotación Varimax Núcleo 93 de sedimento Extracción: Componente Principales (Cargas Significativas > 0.70)				
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Materia Orgánica	0.637	0.032	0.367	0.451	-0.288
SiO <sub>2</sub>	0.067	-0.045	-0.253	<b>0.835</b>	0.105
TiO <sub>2</sub>	0.269	0.582	0.291	0.344	0.300
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.005	<b>0.909</b>	0.166	0.139	0.124
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.188	-0.593	-0.127	-0.608	0.183
MnO	0.239	-0.228	<b>0.902</b>	0.063	0.038
MgO	0.449	<b>0.727</b>	0.214	0.068	0.317
CaO	0.583	0.613	-0.462	0.240	-0.044
Na <sub>2</sub> O	-0.344	<b>-0.781</b>	0.327	-0.323	0.054
K <sub>2</sub> O	0.478	<b>0.729</b>	-0.075	0.410	0.126
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<b>0.820</b>	-0.041	-0.193	-0.222	0.381
Rb	0.029	<b>0.749</b>	0.179	0.134	0.303
Sr	0.232	0.020	<b>-0.917</b>	0.155	-0.101
Ba	-0.621	-0.624	-0.119	-0.218	-0.185
Zr	<b>-0.841</b>	-0.331	-0.136	-0.245	0.223
V	-0.469	0.478	0.174	-0.146	0.242
Cr	<b>-0.755</b>	-0.377	0.197	0.230	0.264
Co	<b>-0.745</b>	-0.262	-0.193	-0.395	0.033
Ni	0.016	0.476	<b>0.751</b>	-0.070	-0.169
Cu	-0.228	-0.347	0.183	-0.511	-0.052
Zn	0.039	0.495	0.415	-0.432	-0.054
Pb	-0.235	0.246	0.036	0.047	<b>0.840</b>
CO <sub>3</sub>	<b>0.775</b>	0.402	-0.050	0.096	-0.235
Arenas	-0.236	<b>-0.818</b>	-0.286	0.134	-0.114
Limos	-0.174	<b>-0.926</b>	0.281	0.060	0.090
Arcillas	0.210	<b>0.956</b>	-0.092	-0.092	-0.021
Varianza	5.468	8.373	3.503	2.670	1.631
Suma Total	0.210	0.322	0.135	0.103	0.063



Aplicando la Rotación Varimax se determino que el primer factor es bipolar y contiene 5 variables significativas que explican el 21% de las características del núcleo.

Las variables que presentan carga positiva son  $P_2O_5$  y  $CO_3$  esto sugiere que estos elementos están en una fuerte interacción probablemente exista una sustitución de carbonatos por apatita. Este Factor nos indica que existen **procesos de sustitución** en estos sedimentos como la sustitución de carbonatos por apatita, esto debido probablemente a que no hay alteraciones causadas por el caudal del Río Pánuco en esta zona y puede darse el fenómeno químico de sustitución.

Con carga negativa se tiene a las variables Zr, Cr y Co, esto sugiere que el Cr y Co tienen un origen antropogénico y que son introducidos al sistema y que el Zr se encuentra como Circonio siendo un aporte al sistema.

El segundo factor es bipolar y presenta ocho variables significativas que explican el 32.2% de las características de los sedimentos del núcleo. Este factor nos determina el **origen de los sedimentos**.

Las variables presentes con carga positiva en este factor son el  $Al_2O_3$ , MgO,  $K_2O$ , Rb, Arcillas. Estas variables con carga positiva que se asocian sugieren que el núcleo presenta un origen terrígeno presentando arcillas de tipo aluminosilicatos ( $Al_2O_3$ ), feldspatos ( $K_2O$ ) y biotitas (MgO:  $K_2O$ ) que se encuentran asociadas a las partículas mas finas del núcleo. Las variables con carga negativa de este factor son  $Na_2O$ , Arenas y Limos, estas variables sugieren que las arenas y limos tienen una constitución química diferente a las arcillas.

El tercer factor es bipolar y presenta tres variables significativas que explican el 13.5% de las características de los sedimentos del núcleo. Este factor nos indica las **características antropogénicas** de los sedimentos

Las variables que presentan cargas positivas son el MnO y Ni. Estas variables sugieren la presencia de minerales pesados asociados al MnO y al Ni y muy probablemente son de origen antropogénico, mientras que el Sr, que presenta carga negativa, sugiere que esta variable tiene un origen independiente muy probablemente natural.

El cuarto y quinto factores sólo presenta una sola variable cada uno  $SiO_2$  y Pb, respectivamente y no presenta ninguna asociación con otra variable, esto hace intrascendente a estos factores para alguna interpretación.



### 5.7.2.4 Análisis Multidimensional

Con este análisis se obtuvo un mapa perceptual para las variables del núcleo de sedimento 93 en el cual se obtuvieron tres grupos en los cuales se agruparon las variables más importantes y significativas del núcleo (Fig. 5.54).

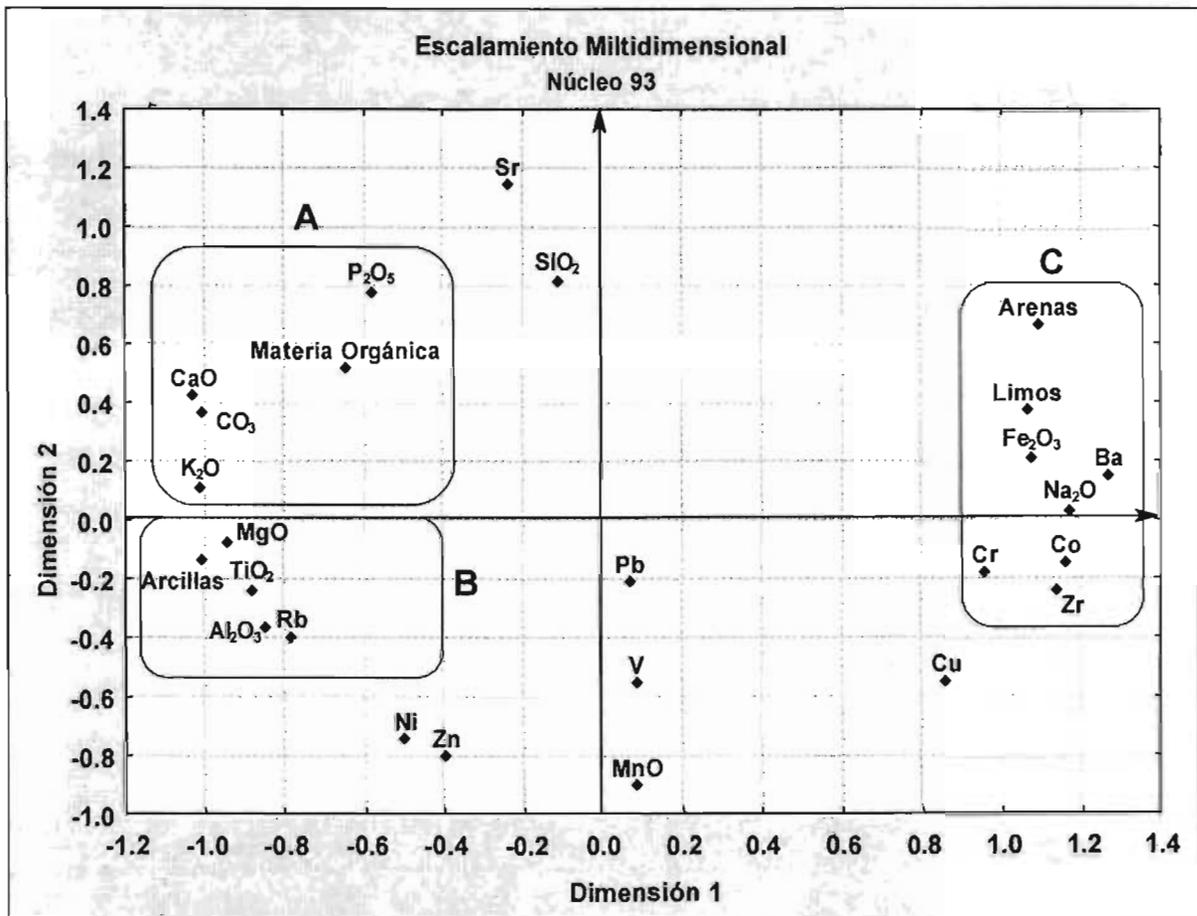


Figura (5.54). Mapa perceptual de las variables del núcleo 93 de sedimento

El grupo A obtenido en el mapa perceptual agrupa a las variables P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Materia orgánica, CaO, CO<sub>3</sub> y K<sub>2</sub>O, esto sugiere que existe una fracción carbonatada que puede encontrarse asociada a arcillas de tipo feldespato (K<sub>2</sub>O) y a la materia orgánica presente en el sedimento del núcleo, la asociación del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en este grupo sugiere que existe un aporte de apatita a la fracción carbonatada.



El grupo B que se observa en el mapa perceptual asocia a las variables MgO, arcillas, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Rb, esta asociación sugiere que estos elementos de origen detrítico se encuentran ligados a las partículas más finas que son las arcillas lo que indica que la fracción más fina de este núcleo tiene un origen Terrígeno.

El grupo C del mapa perceptual asocia a las variables Arenas, Limos, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ba, Na<sub>2</sub>O, Co y Zr; esta asociación sugiere que el resto de los elementos detríticos presentes en los sedimentos del núcleo 93 se encuentran asociados a la fracción de limos y que muy probablemente existe un factor de oxidación que afecta al Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, mientras que las arenas no tienen una asociación muy estrecha con el resto de las variables de este grupo, esto sugiere que las arenas no son de origen detrítico.

Con los resultados de las técnicas aplicadas tenemos que las características de los sedimentos del núcleo 93 son mayoritariamente de origen terrígeno. Se determino que la fase carbonatada de este núcleo presenta importantes procesos de sustitución de CO<sub>3</sub> por P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para dar como resultado la formación de apatita en los sedimentos de este núcleo, esto gracias a la lejanía que tienen los sedimentos de esta zona del Río Pánuco y que permite realizar los procesos de sustitución de una manera lenta y sin perturbaciones causadas por el caudal del Río Pánuco.

A la fracción terrígena de estos sedimentos encontramos que están constituidos fundamentalmente de partículas limo-arcillosas a las cuales están asociadas elementos traza como el Cr, Co, Ba, Ni y Zn, que son elementos fundamentalmente de origen antropogénico. Esto nos sugiere que la zona donde se encuentran estos sedimentos es una zona de acumulación de metales pesados asociados a las partículas más finas de los sedimentos.



## 5.7.3 Núcleo 17

Para el núcleo 17 de sedimento se diseñó una matriz  $S \times n$  de tamaño  $10 \times 26$ , donde "S" son las fracciones o estratos del núcleo, y "n" son todas las variables elementos mayores, materia orgánica, carbonatos, metales traza y características texturales.

### 5.7.3.1 Análisis de cluster

Se aplicó el análisis de cluster usando la regla de unión de vecinos lejanos y la distancia 1-Pearson r.

Se obtuvieron dos grupos con en análisis de cluster en el núcleo 17 de sedimento (Fig. 5.55).

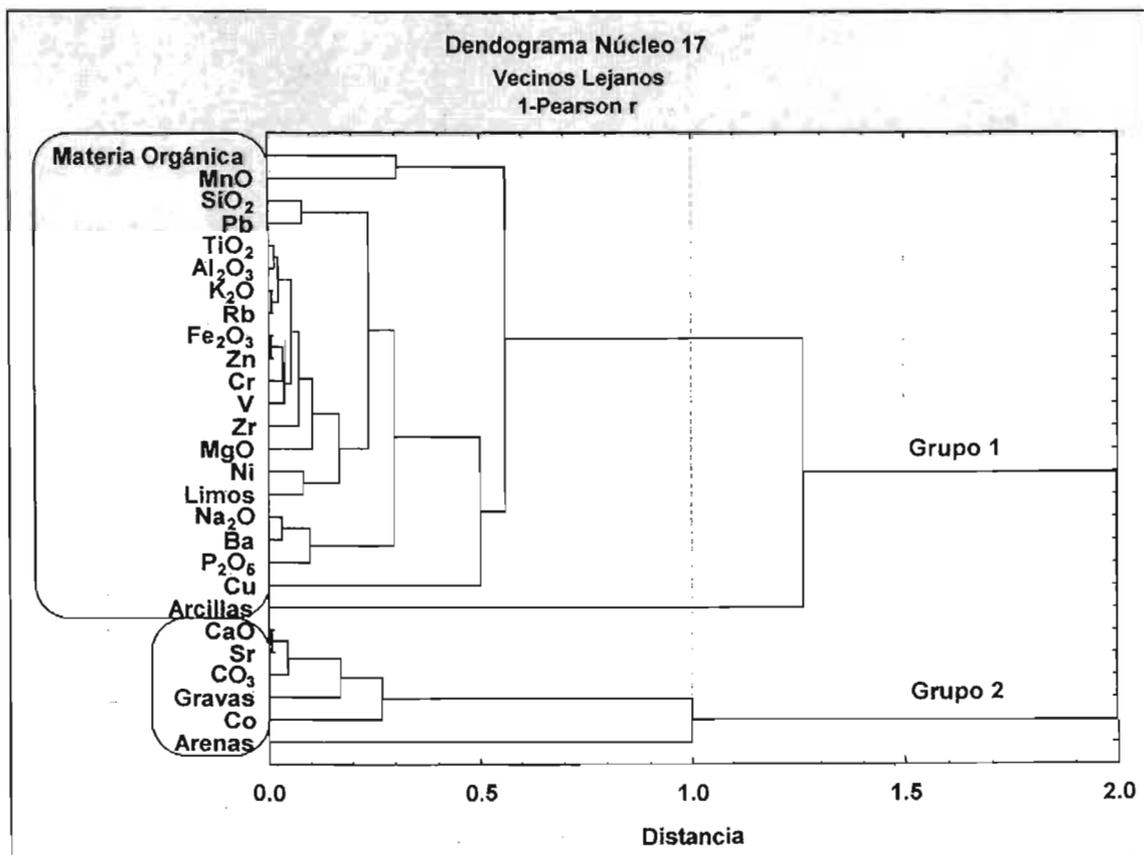


Figura (5.55). Dendrograma de variables del núcleo 17 de sedimento



El primer grupo (Grupo 1), del dendograma, esta conformado por la Materia orgánica, MnO, SiO<sub>2</sub>, Pb, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Rb, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Zn, Cr, V, Zr, MgO, Ni, Limos, Na<sub>2</sub>O, Ba, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cu y Arcillas.

Esta asociación de variables sugiere que este grupo indica que los elementos detríticos están asociados principalmente a la fracción arcillosa de los sedimentos del núcleo 17 y los metales traza se encuentran mayormente asociados a los limos, pero como se determino en el análisis de texturas las concentraciones de limos y arcillas en los sedimentos de este núcleo son muy bajas dominando las concentraciones de arenas y gravas. Esto sugiere que los sedimentos de este núcleo son muy poco influenciados por elementos detríticos provenientes del continente aportados por el Río Pánuco.

El segundo grupo (Grupo 2) asocia a los elementos CaO, Sr, CO<sub>3</sub>, Gravas, Co y Arenas. Esta asociación de elementos indica una característica carbonatada de los sedimentos del núcleo 17 asociada a las Gravas y Arenas de este núcleo.

### 5.7.3.2 Análisis Factorial.

Aplicando el análisis factorial por componentes principales se determino el número de factores importantes que explican las características de este núcleo (Tabla. 5.11).

Tabla (5.11). Análisis de Factores por Componente Principales Núcleo 17

<b>Análisis de Factores por Componentes Principales Núcleo 17 de sedimento</b>				
<b>Factores</b>	<b>Valores Propios</b>	<b>% Varianza Total</b>	<b>Valores propios Acumulados</b>	<b>Acumulado %</b>
1	21.36	79.09	21.36	79.09
2	2.22	8.22	23.57	87.31
3	1.01	3.75	24.59	91.06

En la tabla anterior tenemos que tres factores explican el 91.06% de las características del núcleo.

El primer factor muestra que hay 21 variables que explican el 79.09% de las características del núcleo de sedimento.

En el segundo factor 2 variables explican el 8.22% de las características de los sedimentos del núcleo. El tercer factor tiene 1 variable que explica el 3.75% de las características.



5.7.3.3 Rotación Varimax.

Para determinar las cargas estadísticas de las variables o pesos de las variables más significativas, se aplicó la Rotación Varimax, para maximizar las varianzas y determinar las cargas de cada variable en los tres factores determinados (Tabla. 5.12).

Tabla (5.12). Rotación Varimax para las variables del Núcleo 17 de sedimento

Variables	Rotación Varimax Núcleo 17 de sedimento Extracción: Componentes principales (Cargas significativas > 0.70)		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Materia Orgánica	<b>0.717</b>	0.554	0.202
SiO <sub>2</sub>	<b>0.858</b>	-0.023	0.419
TiO <sub>2</sub>	<b>0.822</b>	0.044	0.562
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>0.818</b>	0.170	0.534
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>0.826</b>	0.129	0.519
MnO	<b>0.733</b>	0.332	0.151
MgO	<b>0.784</b>	0.321	0.473
CaO	<b>-0.832</b>	-0.075	-0.527
Na <sub>2</sub> O	0.557	-0.102	<b>0.784</b>
K <sub>2</sub> O	<b>0.867</b>	0.055	0.478
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.614	0.110	<b>0.700</b>
Rb	<b>0.822</b>	0.129	0.528
Sr	<b>-0.843</b>	-0.039	-0.520
Ba	0.522	-0.084	<b>0.841</b>
Zr	<b>0.933</b>	0.075	0.306
V	<b>0.872</b>	0.211	0.411
Cr	<b>0.792</b>	0.271	0.507
Co	-0.531	-0.182	<b>-0.747</b>
Ni	<b>0.716</b>	0.033	0.568
Cu	0.317	-0.047	<b>0.835</b>
Zn	<b>0.814</b>	0.088	0.562
Pb	<b>0.833</b>	-0.036	0.401
CO <sub>3</sub>	<b>-0.874</b>	-0.139	-0.410
Gravas	<b>-0.830</b>	0.080	-0.378
Arenas	-0.249	<b>-0.834</b>	0.076
Limos	<b>0.899</b>	-0.103	0.297
Arcillas	-0.132	<b>0.904</b>	-0.005
Varianza	15.067	2.342	7.179
Suma Total	0.558	0.087	0.266

Aplicando la Rotación Varimax se determinó que el primer factor es bipolar y tiene 20 variables significativas que explican el 55.8% de las características del núcleo. Este factor indica el **origen de los sedimentos** del núcleo 17



Las variables que presentan carga positiva son la Materia orgánica,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Rb, Zr, V, Cr, Ni, Zn, Pb y Limos, esto indica que estos elementos tienen una fuerte asociación entre sí. Esta asociación sugiere que estos elementos pueden tener un origen continental o detrítico observándose que los elementos Zr, Limos, V,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{SiO}_2$  tienen cargas estadísticas superiores a 0.85 que sugiere que una asociación de arcillas de tipo feldespatos ( $\text{K}_2\text{O}$ ) y cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que se encuentran asociados a las partículas de limos de los sedimentos de este núcleo, mientras que el Zr que tienen la mayor carga estadística (0.933) sugiere que esta en forma de circonio en los sedimentos, en el caso del V (0.872) parece ser de origen antropogénico, así como también el Pb (0.833) aunque presenta una carga estadística menor al V.

Con carga negativa se tiene a las variables CaO, Sr,  $\text{CO}_3$  y Gravas, esto sugiere que existe una fracción carbonatada muy importante (CaO, Sr,  $\text{CO}_3$ ) que se encuentra asociada a las partículas de Grava, esto indica que las gravas del sedimento son carbonatadas y muy probablemente son gravas carbonatadas biogénicas debido a que la fracción continental no presenta cargas estadísticas tan importantes como las gravas.

El segundo factor es bipolar y presenta dos variables significativas que explican el 8.7% de las características de los sedimentos del núcleo. Este factor determina la **característica textural** de los sedimentos del núcleo. Sólo una variable presenta con carga positiva en este factor siendo las arcillas, mientras que la variable que presentó carga negativa fueron las arenas.

Ambas variables sugieren que las arenas presentan un comportamiento inverso con respecto a las arcillas presentes en el núcleo.

El tercer factor es bipolar y presenta cinco variables significativas que explican el 26.6% de las características de los sedimentos del núcleo. Este factor indica la probable **contaminación por elementos traza** que existen en los sedimentos del núcleo 17.

Las variables que presentan cargas positivas son el  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Ba y Cu. Estas variables sugieren probablemente algún tipo de arcillas de feldespato ( $\text{Na}_2\text{O}$ , Ba) que pueden estar asociadas a apatita, en el caso del Cu por tener carga positiva sugiere que tenga un origen natural y que pertenezca al sistema de las arcillas.

En este factor se tiene que el Co, que presenta carga negativa, esto sugiere que esta variable tiene un comportamiento inverso a los demás elementos estudiado en este



factor, la carga negativa de este elemento indica que es muy probablemente que el Co tenga un origen antropogénico.

### 5.7.3.4 Análisis Multidimensional

Con este análisis se obtuvo un mapa perceptual para las variables del núcleo de sedimento 17 en el cual se obtuvieron dos grupos en los cuales se agruparon las variables más importantes y significativas del núcleo (Fig. 5.56).

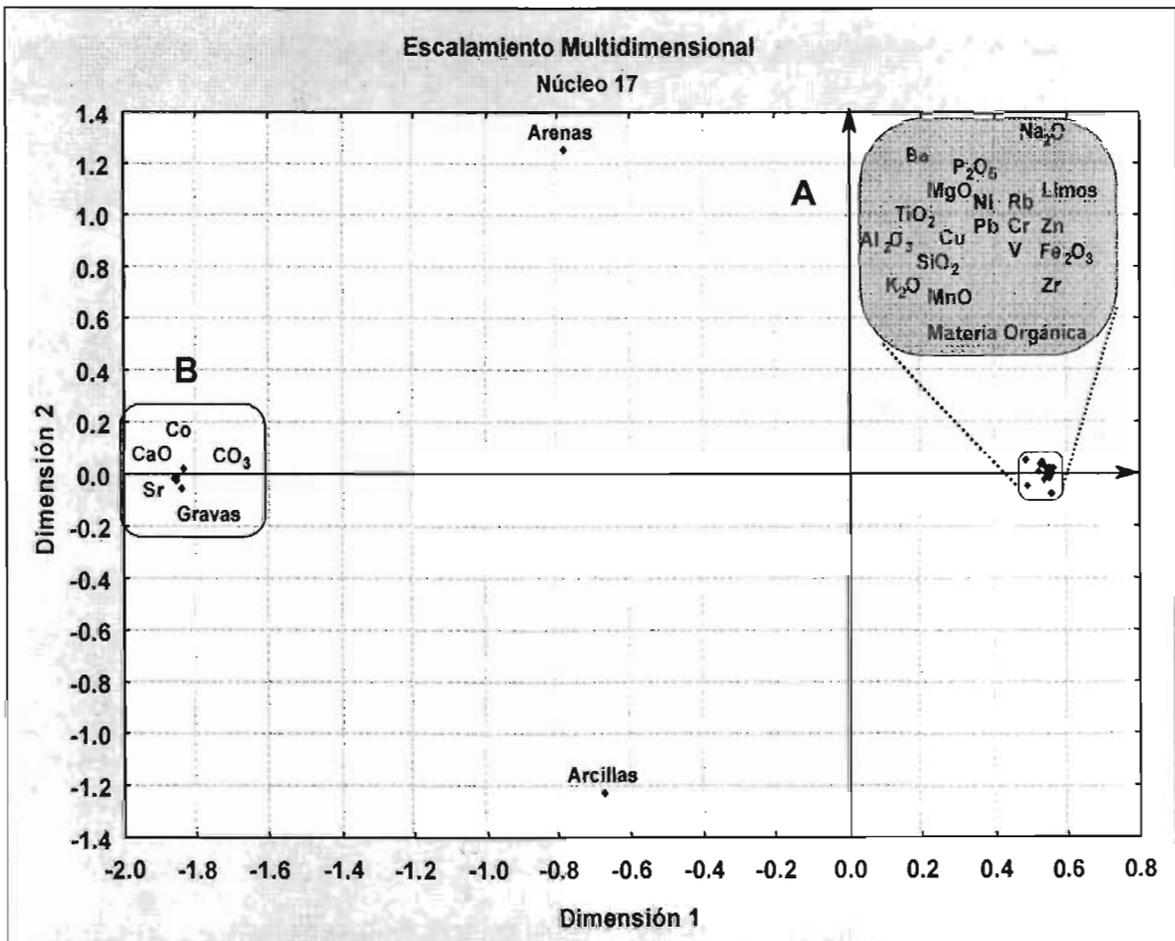


Figura (5.56). Mapa perceptual de las variables del núcleo 17 de sedimento.

El grupo A que se observa en el mapa perceptual agrupa a las variables Materia orgánica, MnO, SiO<sub>2</sub>, Pb, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Rb, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Zn, Cr, V, Zr, MgO, Ni, Limos, Na<sub>2</sub>O, Ba, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cu, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y SiO<sub>2</sub>, esta asociación sugiere que estos elementos sean una fracción probablemente proveniente del continente, pero que no es una



fracción considerable como para que pueda considerarse que este núcleo es influenciado directamente por las descargas del Río Pánuco.

El grupo B que se observa en el mapa perceptual asocia a las variables CaO, Sr, CO<sub>3</sub>, Gravas y Co, esta asociación sugiere que existe una fracción carbonatada que se asocia con las gravas de los sedimentos del núcleo, de esto se puede inferir que las gravas presentes en los sedimentos del núcleo 17 son carbonatadas de origen biogénico.

Con los resultados obtenidos de las técnicas aplicadas tenemos que las características de los sedimentos del núcleo 17 presentan dos orígenes bien diferenciados, por una parte los sedimentos presentan una característica mayoritariamente biogénica, representada por la asociación del CaO, CO<sub>3</sub> y Sr, que se encuentran principalmente en la fracción de gravas del núcleo. El otro origen es el detrítico que se encuentra bien diferenciado del biogénico, con la característica que la fracción terrígena es muy pobre en los sedimentos de este núcleo. En la fracción terrígena de este núcleo se determinó una fuerte asociación de elementos traza como el Pb, Zn, Cr, V, Zr, Ni, Ba y Cu, muy probablemente de origen antropogénico, a las partículas de limos de los sedimentos. Esto sugiere que los sedimentos de este núcleo tienen una fracción terrígena muy pobre esto debido a la poca influencia que tiene esta zona por las descargas del Río Pánuco, mientras que en esta zona se encuentran mayoritariamente los sedimentos de tipo biogénico.



### 5.7.4 Núcleo 53

Para el núcleo 53 de sedimento se diseñó una matriz S x n de tamaño 8 x 26, donde "S" son las fracciones o estratos del núcleo, y "n" son todas las variables elementos mayores, materia orgánica, carbonatos, metales traza y características texturales.

#### 5.7.4.1 Análisis de cluster

Se aplicó el análisis de cluster usando la regla de unión de vecinos lejanos y la distancia 1-Pearson r.

Se obtuvieron tres grupos con en análisis de cluster en el núcleo 53 de sedimento (Fig. 5.57).

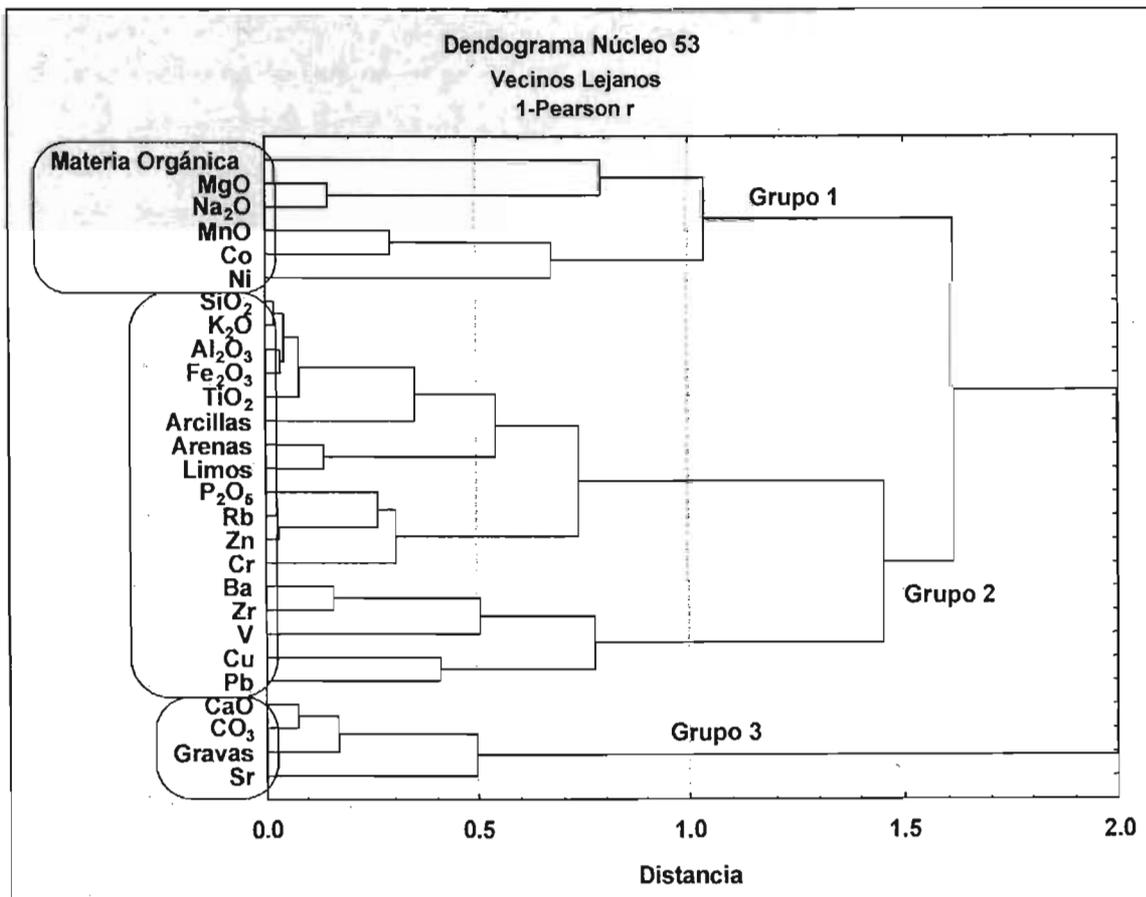


Figura (5.57). Dendograma de variables del núcleo 53 de sedimento.



En el dendograma se observa que el primer grupo (Grupo 1) está constituido por los elementos Materia orgánica, MgO, Na<sub>2</sub>O, MnO, Co y Ni.

Esta asociación de variables sugiere que este grupo representa una fracción de oxidación en el núcleo 53, mostrando esta fracción con la asociación de los elementos MnO, Co y Ni.

El segundo grupo (Grupo 2) asocia a los elementos SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Arcillas, Arenas, Limos, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Rb, Zn, Cr, Ba, Zr, V, Cu y Pb. En esta asociación se observa que hay un agrupamiento de los elementos SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Arcillas, Arenas, Limos, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Rb, Zn y Cr este agrupamiento sugiere el tipo de arcillas existentes en los sedimentos de este núcleo como los aluminosilicatos (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y feldespatos (K<sub>2</sub>O), con la existencia también de cuarzo (SiO<sub>2</sub>) e hierro asociado probablemente a las arcillas de aluminosilicatos (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). También se observa una asociación de los elementos P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Rb, Zn y Cr que están interactuando con la fase arcillosa, la de arenas y limos presentes en los sedimentos del núcleo.

En este grupo se observa que los metales traza Ba, Zr, V, Cu y Pb están agrupados sugiriendo que son probablemente un aporte antropogénico el V, Cu y Pb.

El grupo tres (Grupo 3) asocia a los elementos CaO, CO<sub>3</sub>, Gravas y Sr, esta asociación indica la fracción carbonatada de los sedimentos del núcleo, mostrando que las gravas son las que presentan la característica carbonatada, esto sugiere que las gravas son de origen biogénico.



### 5.7.4.2 Análisis Factorial.

Aplicando el análisis factorial por componentes principales se determinó el número de factores importantes que explican las características de este núcleo (Tabla. 5.13).

Tabla (5.13). Análisis de Factores por Componentes Principales Núcleo 53

Factores	Análisis de Factores por Componentes Principales Núcleo 53 de sedimento			
	Valores Propios	% Varianza Total	Valores propios acumulados	Acumulado %
1	13.04	48.30	13.04	48.30
2	5.07	18.77	18.11	67.08
3	3.42	12.68	21.53	79.75
4	2.07	7.68	23.61	<b>87.43</b>

En la tabla anterior tenemos que cuatro factores explican el 87.43% de las características del núcleo.

El primer factor muestra que hay 13 variables que explican el 48.3% de las características del núcleo de sedimento.

En el segundo factor 5 variables explican el 18.77% de las características de los sedimentos del núcleo. El tercer factor tiene 3 variables que explican el 12.68% de las características y por último el cuarto factor tiene 2 variables que explican el 7.68% de las características de los sedimentos del núcleo 53.

### 5.7.4.3 Rotación Varimax.

Para determinar las cargas estadísticas de las variables o pesos de las variables más significativas, se aplicó la Rotación Varimax, para maximizar las varianzas y determinar las cargas de cada variable en los cuatro factores determinados (Tabla. 5.14).



Tabla (5.14). Rotación Varimax para las variables del Núcleo 53 de sedimento

Variables	Rotación Varimax Núcleo 53 de sedimento Extracción: Componentes principales (Cargas significativas > 0.70)			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Materia Orgánica	-0.219	0.223	0.458	-0.532
SiO <sub>2</sub>	<b>0.983</b>	0.116	-0.022	0.088
TiO <sub>2</sub>	<b>0.917</b>	-0.020	-0.049	0.287
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>0.965</b>	-0.014	0.180	0.180
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>0.964</b>	-0.001	0.140	0.085
MnO	0.303	-0.017	<b>0.893</b>	0.028
MgO	0.589	-0.438	0.443	-0.109
CaO	<b>-0.979</b>	-0.100	-0.139	-0.106
Na <sub>2</sub> O	<b>0.801</b>	-0.023	0.448	0.053
K <sub>2</sub> O	<b>0.990</b>	0.003	0.055	0.039
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.408	<b>0.788</b>	-0.004	0.011
Rb	0.653	0.691	0.104	-0.016
Sr	-0.402	<b>-0.821</b>	-0.218	0.030
Ba	-0.466	<b>0.878</b>	0.039	0.069
Zr	-0.023	<b>0.921</b>	-0.196	0.141
V	0.250	0.624	0.307	0.253
Cr	0.361	0.636	0.657	-0.092
Co	-0.297	0.062	<b>0.735</b>	-0.218
Ni	0.102	0.048	<b>0.716</b>	0.296
Cu	0.103	0.225	0.014	<b>0.919</b>
Zn	0.684	0.660	0.118	-0.120
Pb	-0.099	0.606	-0.581	0.442
CO <sub>2</sub>	<b>-0.869</b>	-0.276	-0.307	-0.013
Gravas	<b>-0.872</b>	-0.308	0.090	0.334
Arenas	<b>0.838</b>	0.360	-0.058	-0.366
Limos	<b>0.701</b>	0.447	-0.265	-0.043
Arcillas	<b>0.830</b>	-0.017	0.076	-0.491
Varianza	11.885	5.8119	3.6905	2.2183
Suma Total	0.440	0.2153	0.1367	0.0822

Con la Rotación Varimax se determinó que el primer factor es bipolar y tiene 12 variables significativas que explican el 44% de las características del núcleo. El primer factor nos representa el **origen y textura** de los sedimentos presentes en el núcleo 53. Las variables que presentan carga positiva son SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Arenas, Limos y Arcillas, estos elementos presentan una fuerte interacción entre sí por las altas cargas estadísticas que presentan. Esta asociación sugiere que estos elementos representan el tipo de arcillas que están presentes en los sedimentos del núcleo 53, como son los aluminosilicatos (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), feldspatos (K<sub>2</sub>O:Na<sub>2</sub>O), como cantidades importantes de cuarzo (SiO<sub>2</sub>) que probablemente puede ser de origen



biogénico. Existe también una alta carga estadística en los elementos  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0.964) y  $\text{TiO}_2$  (0.917), que puede sugerir que hay cantidades importantes de hierro así como de titanio que muy probablemente este último elemento está en forma de ilmenita.

Se determinó con este análisis que las arenas, limos y arcillas presentan también una alta carga estadística positiva que sugiere que las arenas (0.838), arcillas (0.830) y limos (0.701) se encuentran asociadas a los elementos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ .

Con carga negativa se tiene a las variables  $\text{CaO}$ ,  $\text{CO}_3$  y Gravas, esto sugiere que existe una fracción carbonatada muy importante ( $\text{CaO}:\text{CO}_3$ ) que se encuentra asociada a las partículas de Grava, esto indica que las gravas del sedimento son carbonatadas y muy probablemente son gravas carbonatadas biogénicas.

El segundo factor es bipolar y presenta cuatro variables significativas que explican el 21.53% de las características de los sedimentos del núcleo. Este factor representa a las **características biogénicas** de los sedimentos de este núcleo.

Las variables que presentan carga positiva son  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Ba y Zr. El Zr presenta una alta carga estadística (0.991) indicando que probablemente este elemento se encuentra en forma de circonio en los sedimentos de este núcleo.

Las variables  $\text{P}_2\text{O}_5$  y Ba presentan cargas estadísticas 0.788 y 0.878 respectivamente que indican una cantidad importante de apatita en los sedimentos que muy probablemente se encuentre interactuando con la fracción carbonatada de los sedimentos.

En este factor solo se presenta una variable con carga estadística negativa que es el Sr, esto indica que este elemento está asociado en forma inversa a los elementos que presentan cargas positivas.

El tercer factor presenta 3 variables significativas que explican el 13.67% de las características de los sedimentos del núcleo. Este factor nos explica los probables **procesos químicos**, como los de óxido-reducción, de los sedimentos. Todas las variables de este factor presentan cargas positivas y son el  $\text{MnO}$ , Co y Ni. Estas variables sugieren que existe una fracción de oxidación que tiene influencia en los elementos  $\text{MnO}$ , Co y Ni.

El cuarto factor sólo presenta una sola variable el Cu que no presenta ninguna asociación con otra variable, esto hace intrascendente el factor cuatro para poder dar alguna interpretación a este factor.



### 5.7.4.4 Análisis Multidimensional

Con este análisis se obtuvo un mapa perceptual para las variables del núcleo de sedimento 53 en el cual se obtuvieron dos grupos en los cuales se agruparon las variables más importantes y significativas del núcleo (Fig. 5.58).

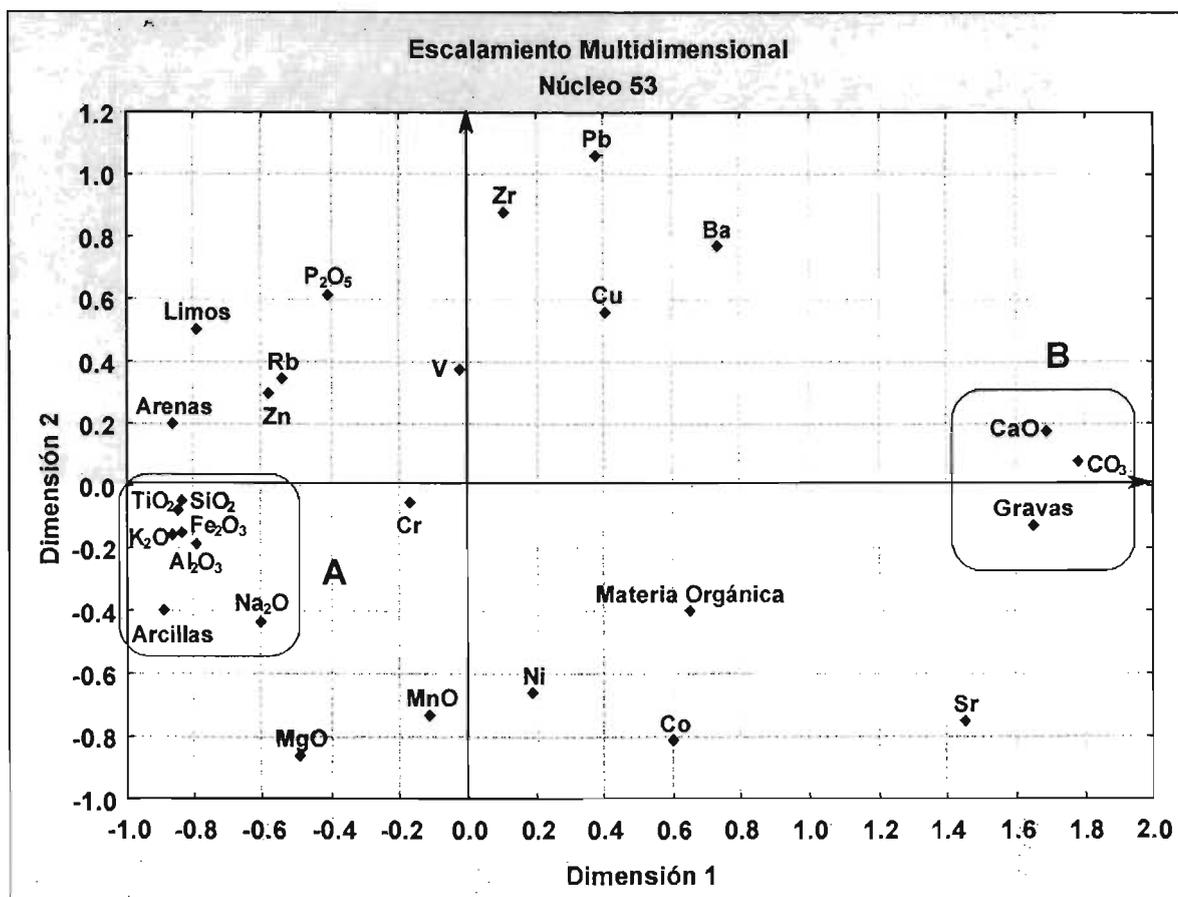


Figura (5.58). Mapa perceptual de las variables del núcleo 53 de sedimento

El grupo A que se presenta en el mapa perceptual agrupa a las variables TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O y Arcillas, esta asociación indica que estos elementos son la fracción arcillosa que presenta arcillas de tipo aluminosilicato (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), combinación de feldspatos (K<sub>2</sub>O:Na<sub>2</sub>O) y muy probablemente ilmenita (TiO<sub>2</sub>), con cantidades importantes de cuarzo (SiO<sub>2</sub>) y de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).



El grupo B que se observa en el mapa perceptual asocia a las variables CaO, CO<sub>3</sub> y Gravas, esta asociación indica que existe una fracción carbonatada que esta asociada con las gravas de los sedimentos del núcleo, de esto se puede inferir que las gravas presentes en los sedimentos del núcleo 53 son carbonatadas de origen biogénico como en el caso de las gravas de los sedimentos del núcleo 17.

Con los resultados obtenidos de las técnicas aplicadas se determino que las características de los sedimentos del núcleo 53 presentan dos orígenes bien diferenciados, como en el caso de los sedimentos del núcleo 17. En este núcleo se tiene que los sedimentos presentan una característica mayoritariamente biogénica, representada por la asociación de los elementos CaO y CO<sub>3</sub>, que a su vez están asociados principalmente a la fracción de gravas de los sedimentos de este núcleo, sugiriendo que los sedimentos de este núcleo están constituidos mayoritariamente por una fracción de gravas biogénicas.

El otro origen de este núcleo es el detrítico que se encuentra asociado a los elementos mayores TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Na<sub>2</sub>O, estos a su vez se encuentran asociados a las arcillas, las partículas más finas de los sedimentos de este núcleo.

Se determino también que la fracción detrítica de estos sedimentos es muy pobre en comparación con la fracción biogénica.

Uno de los resultados obtenidos de este análisis y que hay que destacar es que no se determino una asociación importante de metales pesados en ninguna de las fracciones presentes en los sedimentos de este núcleo. Esto nos sugiere que la zona donde se muestreo el núcleo 53 no esta influenciado por descargas antropogénicas provenientes del Río Pánuco y que los procesos químicos que se están llevando acabo en los sedimentos de la zona son de origen natural.



### 6. CONCLUSIONES

#### Características Texturales.

El núcleo 47, localizado frente a la desembocadura del Río Pánuco, presentó una predominancia de limos a lo largo del núcleo. La distribución textural encontrada en este núcleo es debida muy probablemente a su proximidad a la costa y que en épocas recientes han existido aportes de sedimentos provenientes del Río Pánuco debido a intensas lluvias con lo que el río es mucho más caudaloso favoreciendo con esto la deposición de material de origen terrígeno no tan fino, esto se pudo observar también al determinar la actividad del isótopo  $^{210}\text{Pb}$  en los sedimentos del núcleo, ya que en los primeros dos centímetros se determinaron sedimentos más viejos que en los 3 y 4 cm., mostrando con esto una alta perturbación de los sedimentos en los primeros centímetros del núcleo causada por la influencia del Río Pánuco.

El núcleo 93, ubicado al Noreste de la desembocadura del Río Pánuco, presentó una predominancia en la concentración de limos y arcillas. La distribución textural de este núcleo es mayoritariamente de sedimentos de origen terrígeno en una zona más profunda donde puede existir un proceso de sedimentación lento y más uniforme de los sedimentos terrígenos más finos.

El núcleo 17, ubicado al Sureste de la desembocadura del Río Pánuco, presentó una mayor concentración de arenas, limos y gravas. Esta distribución textural presente en la zona y la química de los sedimentos sugiere que no existe un aporte importante de material sedimentario del Río Pánuco y que los sedimentos ahí encontrados son mayoritariamente de origen biogénico.

El núcleo 53 ubicado al norte de donde se muestreo el núcleo 17, presentó una predominancia de arenas en todo el núcleo. La distribución textural de este núcleo es muy semejante a la del núcleo 17, con la diferencia que el núcleo 53 presenta una concentración mucho mayor de gravas mayoritariamente de origen biogénico y no presenta ninguna influencia de sedimentos del Río Pánuco.

Con la mineralogía de los sedimentos determinada por DRX se encontró que los núcleos de sedimentos se encuentran divididos en dos grupos.

Los núcleos de sedimento 47 y 93 presentan una mineralogía semejante encontrando minerales de cuarzo que muy probablemente son de origen detrítico, también se determinaron diferentes tipos de arcillas mayoritariamente de origen detrítico, especialmente en el núcleo 93 donde además se encontraron las mayores cantidades de metales traza estudiados (Zn, Cr, Pb, Ni y Cu).



Por otra parte se determino que los núcleos de sedimento 17 y 53 presentan una mineralogía muy semejante, en estos dos núcleos de sedimento se determinaron mayoritariamente minerales de cuarzo mayoritariamente de origen biogénico.

Con los resultados obtenidos del DRX se determino que los sedimentos de los núcleos 47 y 93 son mayoritariamente de origen detrítico influenciados directamente por las descargas de sedimentos del Río Pánuco, mientras que los sedimentos de los núcleos 17 y 53 presentan mayoritariamente un origen biogénico y que están muy poco influenciados por el Río Pánuco, en especial los sedimentos que se encuentran en la Zona 3.

### **Distribución vertical de la composición química de los núcleos de sedimento.**

Con este estudio se pudo determinar el comportamiento de los elementos mayores y elementos traza, con respecto al tiempo, estudiados en los perfiles de los núcleos de sedimento.

En el núcleo 47 se determino que los elementos mayores se han mantenido sin variación importante en todo el perfil del núcleo y por lo tanto constantes en el tiempo. Mientras que en los elementos traza como el Co se ha incrementado constantemente con respecto al tiempo, encontrando su máxima concentración en el año 2003, el Pb ha presentado algunas variaciones determinándose que en los años de 1994 y 2001 han existido incrementos de este elemento en la zona próxima a la desembocadura del Río Pánuco, esto sugiere que estos elementos son un aporte de descargas industriales.

En el núcleo 93 se determino que los elementos mayores se han mantenido constantes en todo el perfil del núcleo. Sólo se determino que existió una disminución de la materia orgánica en el periodo de los años de 1982 al 1991, y hasta el año 1994 volvió a incrementarse la materia orgánica la cual se ha mantenido prácticamente constante. En la distribución de los elementos traza se observo que se han mantenido prácticamente constantes, solo se encontró que ha existido un incremento del Co presentando el mayor incremento entre los años 1985 a 1991, esto sugiere que el Co proviene de las descargas del Río Pánuco.

En el núcleo 17 la distribución de los elementos mayores se ha mantenido prácticamente constante en todo el perfil del núcleo, solo se determino un importante incremento de la materia orgánica en los años de 1920 a 1970, después del cual hubo un pequeño decremento el que se ha mantenido hasta años recientes. La distribución de los elementos traza se han mantenido prácticamente constantes en todo el perfil de este núcleo, excepto el Co que ha presentando un descenso importante a partir del



año 1920 hasta años recientes, mientras que el Sr ha presentado un descenso importante en años recientes. Esto sugiere que los sedimentos de este núcleo no presentan influencia del Río Pánuco.

En los núcleos estudiados se observó que las concentraciones de elementos traza ha sido prácticamente constante pero al compararlos con los valores de fondo de las concentraciones para elementos traza de sedimentos obtenidos de la Coastal Protection and Restoration Division se determinó que las concentraciones del V, Cr, Ni, Ba y Zn en los sedimentos de los núcleos se encuentran por encima de los valores de fondo, esto nos sugiere que el aporte de estos elementos se ha presentado en forma prácticamente constante en años pasados en la zona de estudio.

Al núcleo 53 no se le pudo determinar la actividad del isótopo  $^{210}\text{Pb}$  debido a los recursos con que se contaban para este proyecto y por tal motivo no fue posible determinar la composición vertical de los elementos químicos en los sedimentos de este núcleo.

### **Distribución de los elementos mayores y elementos traza en la zona de estudio.**

Se determinó que las mayores concentraciones de  $\text{SiO}_2$ , Materia orgánica y Co se encuentran cerca de la desembocadura del Río Pánuco, disminuyendo su concentración mar adentro, esto sugiere que estos elementos son un aporte de las descargas de sedimento que hace el Río Pánuco.

Las mayores concentraciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Zn, Cr, Pb, Ni y Cu se encontraron al Noreste de la desembocadura del Río Pánuco, esto sugiere que estos elementos son transportados por corrientes marinas que los llevan a zonas de menor energía y que se encuentran asociados a las partículas más finas de los sedimentos (limos y arcillas). Se determinó que las mayores concentraciones de CaO y  $\text{CO}_3$  se encontraron en los sedimentos de la zona de muestreo de los núcleos 53 y 17, encontrándose asociados con las mayores concentraciones de arenas, esto sugiere que estos elementos no son un aporte del Río Pánuco, sino que son sedimentos de origen biogénico.

Con los valores de fondo de las concentraciones de elementos traza de sedimentos obtenidos de la Coastal Protection and Restoration Division. Se determinó que en los cuatro núcleos de sedimento las concentraciones de los elementos V, Cr, Ni, Ba y Zn, se encuentran por encima de los valores de fondo. Se sabe que los elementos traza Ba, Ni y V se asocian a la actividad de las industrias del Petróleo y del gas natural. Se sabe que en la zona de estudio se encuentra ubicado el complejo petrolero de Ciudad Madero, además de que frente a la zona costera se encuentran varias plataformas de extracción de petróleo, por lo cual es muy probable que las altas concentraciones de



Ba, Ni y V en los sedimentos marinos, se deban a la influencia del complejo petrolero y a las plataformas de extracción.

### **Relación de sedimentación.**

En el núcleo 47 se determinó que existe una relación de acumulación o de sedimentación de 1.58 cm/año. Esto sugiere que los sedimentos de este núcleo presentan la relación de sedimentación más rápida del área de estudio. Los sedimentos de este núcleo son los más recientemente sedimentados en toda la zona de estudio; determinándose también que existe una mezcla física de los sedimentos en los primeros centímetros, esto causado muy posiblemente a la influencia del Río Pánuco.

El núcleo 93 presentó una relación de sedimentación de 0.7 cm/año, esto sugiere que estos sedimentos se han depositado de una manera lenta y graduada.

El núcleo 17 presentó una relación de sedimentación de 0.13 cm/año, presentando la relación más lenta de todos los núcleos estudiados, esto hace que los sedimentos de esta zona de estudio sean los más antiguos, esto sugiere que el material de este núcleo no está influenciado por las descargas del Río Pánuco.

Al núcleo 53 no se le pudo determinar la actividad del isótopo  $^{210}\text{Pb}$  debido a los recursos con que se contaban para este proyecto y por tal motivo no fue posible determinar la relación de sedimentación de los sedimentos de este núcleo.

### **Técnicas de Análisis Multivariado.**

Con los resultados obtenidos de las técnicas de análisis multivariado se determinó que las características de los sedimentos del núcleo 47 son mayoritariamente de origen terrígeno con aportes importantes de cuarzo provenientes del continente, esto se debe probablemente a la influencia de las descargas del Río Pánuco. Se determinó que los limos y arcillas son las partículas mayoritarias de las descargas del Río, encontrando que estas partículas están asociadas a elementos traza como el Ni, V, Cr y Zn. Se sabe que el Ni y V están asociados a la industria petrolera y que muy probablemente la presencia de estos elementos se deba al complejo petrolero de Madero Tamaulipas. Se determinó también que los sedimentos de este núcleo contienen una fracción arenosa que aunque es relativamente pobre se le asocian elementos como el Co, MnO y Zr, sugiriendo probables descargas del Río Pánuco al mar de arenas provenientes del continente.

Se determinó que las características de los sedimentos del núcleo 93 son mayoritariamente de origen terrígeno. Se encontró que la fase carbonatada de este



núcleo presenta importantes procesos de sustitución de  $\text{CO}_3$  por  $\text{P}_2\text{O}_5$  para dar como resultado la formación de apatita en los sedimentos de este núcleo, esto gracias a la lejanía que tienen los sedimentos de esta zona del Río Pánuco y que permite realizar los procesos de sustitución de una manera lenta y sin perturbaciones causadas por el caudal del Río Pánuco. En la fracción terrígena de los sedimentos se encontró que están constituidos fundamentalmente de partículas limo-arcillosas las cuales están asociadas a elementos traza como el Cr, Co, Ba, Ni y Zn, que son elementos fundamentalmente de origen antropogénico. Esto nos sugiere que la zona donde se encuentran estos sedimentos es una zona de acumulación de metales pesados asociados a las partículas más finas de los sedimentos.

Se determino que los sedimentos del núcleo 17 presentan dos orígenes bien diferenciados, por una parte los sedimentos presentan una característica mayoritariamente biogénica, representada por la asociación del CaO,  $\text{CO}_3$  y Sr, que se encuentran principalmente en la fracción de gravas del núcleo. El otro origen es el detrítico que se encuentra bien diferenciado del biogénico, con la característica que la fracción terrígena es muy pobre en los sedimentos de este núcleo. En la fracción terrígena de este núcleo se determino una fuerte asociación de elementos traza como el Pb, Zn, Cr, V, Zr, Ni, Ba y Cu, muy probablemente de origen antropogénico, a las partículas de limos de los sedimentos. Esto sugiere que los sedimentos de este núcleo tienen una fracción terrígena muy pobre esto debido a la poca influencia que tiene esta zona por las descargas del Río Pánuco.

En los sedimentos del núcleo 53 se determino que presentan como en el caso de los sedimentos del núcleo 17. En este núcleo se tiene que los sedimentos presentan una característica mayoritariamente biogénica, representada por la asociación de los elementos CaO y  $\text{CO}_3$ , que a su vez se encuentran asociados principalmente a la fracción de gravas de los sedimentos de este núcleo, sugiriendo que los sedimentos de este núcleo están constituidos mayoritariamente por una fracción de gravas biogénicas. El otro origen de este núcleo es el detrítico que se encuentra asociado a los elementos mayores  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Na}_2\text{O}$ , estos a su vez se encuentran asociados a las arcillas, las partículas más finas de los sedimentos de este núcleo. Se determino también que la fracción detrítica de estos sedimentos es muy pobre en comparación con la fracción biogénica.

Uno de los resultados obtenidos de este análisis y que hay que destacar es que no se determino una asociación importante de metales pesados en ninguna de las fracciones presentes en los sedimentos de este núcleo. Esto nos sugiere que la zona donde se muestreo el núcleo 53 no esta influenciado por descargas antropogénicas provenientes del Río Pánuco.



---

### BIBLIOGRAFÍA

Bahena Manjares J.L. 1999. Evaluación espacial y temporal de metales pesados en la parte baja del Río Coatzacoalcos. Tesis de maestría. UNAM., p. 38-47.

Barceló I., Pérez A., Solís H. 1998. Repartición Geoquímica de Metales pesados en sedimento superficial de la Presa J. A. Alzate en el Edo., de México, México. FEMISCA.

Burke, L., Y. Kura, K. Kassem, M. Spalding and C. Revenga. 2000. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Coastal Ecosystems Technical Report. Washington, D.C.: World Resources Institute.

Cabrera Ramírez M.A. 2003. Estudio de sedimentos del ambiente de plataforma frente al Río Pánuco. Tesis de maestría UNAM-IMCyL., p. 21-39.

Calvert S. E. (Riley J.P., Chester R., compiladores). 1976. Chemical Oceanography. 2a Edition, vol. 6, p. 187-277.

Cifuentes Lemus J. L., Torres García M. del P., Frías M. M. 1997. "El océano y sus recursos II. Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química". Segunda edición (La ciencia para todos), Fondo de Cultura Económica.

CNA., 1998. Comisión Nacional del Agua, Programa Nacional Hidráulico.

Cundy A.B., Croudace I.W. 1995. Sedimentary and geochemical variations in a salt marsh / mud flat environment from the mesotidal Hamble estuary, southern England. Marine Chemistry., vol. 51., p. 115-132.

Cundy A. B. 2002. Radiometric dating of recent sediments, and its implications for palaeoenvironmental reconstruction. Notes of course imparted in the Brunel University. United Kingdom.

Coastal Protection and Restoration Division, 1999. NOAA. Screening Quick Reference Table for Inorganic in Solids.



---

Dallas E. J. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Edit. Soluciones Empresariales., p. 93-110.

De la Lanza, E.G. (Comp). 1991. Oceanografía de los mares mexicanos. AGT Editor S.A. México., p. 3-110.

European Environment Agency (EEA). 1999. Environment in the European Union at the Turn of the Century. Environmental Assessment Report No. 2. Copenhagen: EEA.

European Environment Agency (EEA). 1998. Europe's Environment: The Second Assessment. Oxford, UK: Elsevier Science Ltd.

Etkin, D. S. 1998. International oil spill statistics: 1997. Arlington, MA: Cutter Information Corp.

Farmer M. E. and Linton R. W. 1984. Correlative Surface Analysis Studies of Environmental Particles. Environ. Sci. Technol.

Fish, J.E., 1977. Karst Hydrogeology and Geomorphology of the Sierra de el Abra and the Valles San Luis Potosi Region, Mexico: unpublished doctoral dissertation, McMaster University, Hamilton, Ontario, p. 469.

Florence T. M. and Batley G. E. 1979, Determination of the chemical forms of trace Metals in natural Waters with Special referencice to copper, lead, cadmiun and zinc. Talanta.

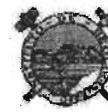
Förstner U. 1990. Contaminated Sediments (Lecture on Enviromental aspects of Particle Associated Chemical in Aquatic Systems). Springer-Verlag: Berlin Heidelberg.

Förstner U., Pachineelam, S.R. 1980. Chemical Associaton of Heavy Metals in Polluted Sediments from Lower Rhine River. ACS Symposium Serie No. 189, Amer. Chem. Soc., Washington, D.C.

Gibbs R. 1973. Mechanism Trace Metal Transport in River. Science.



## BIBLIOGRAFIA



Hair, J. F., Anderson R. E., Tatham R. L., Black W. C. 1999. Análisis Multivariante. Edit. Prentice Hall., 5a edición., p.79-124, 491-532, 547-593.

Hendrickson, D.A., Hudson, P.F., Rodiles-Hernandez, R., Minckley, W.L., 2003. Mexican Atlantic Slope Rivers. In: Benke, A.C., Cushing, C.E. (Eds.), Rivers of North America. Academic Press (en prensa).

Hirschboek, K.K., 1991. Hydrology of floods and droughts, climate and floods, National Water Summary 1988–1989—floods and droughts. Hydrology, U.S. Geological Survey Water-Supply. Paper 2375, p. 67– 88

Holmes. A., Holmes D.L. 1987. Geología Física., p. 599-631

Hudson P. F. 2003. Event sequence and sediment exhaustion in the lower Panuco Basin, Mexico. *Catena.*, vol. 52, p. 57-76.

Hudson, P.F., 2003. The influence of the El Nino Southern Oscillation on sediment yield in the Lower Panuco Basin, Mexico. *Geografiska Annaler. Series A.* (en prensa)

INEGI, 1994a. Estadística del Medio Ambiente. México.

INEGI, 1994b. Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección del ambiente. México. p. 134

International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF). 1999. Past Spills. Online at: [www.itopf.com/stats.html](http://www.itopf.com/stats.html).

Island Resources Foundation. 1996. Tourism and Coastal Resources Degradation in the Wider Caribbean. Online at: <http://www.org/irtourdg.html>.

I. Stanimirova., S. Tsakovski., V. Simeonov. 1999. Multivariate statistical analysis of coastal sediment data. *Fresenius J. Anal. Chem.*, vol. 365., p. 489-493.

J. Lira., A. Morales., F. Zamora. 1997. Study of sediment distribution in the area of the Pánuco river plume by means of remote sensings. *Int. J. Remote Sensings.*, vol. 18, No. 1, p. 171-182.



## BIBLIOGRAFIA



Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution (GESAMP). 1990. The State of the Marine Environment. Reports and Studies No. 39. Nairobi, Kenya: UNEP

Lecce, S.A., 2000. Spatial variations in the timing of annual floods in the southeastern United States. *Journal of Hydrology.*, vol. 235, p. 151– 169.

Lee S.V., Cundy, A.B. 2001. Heavy Metal Contamination and Mixing Processes in Sediments from the Humber Estuary, Eastern England. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.*, vol. 56.

Libes. S.M. 1992. An Introduction to Marine Biogeochemistry. Edit. John Wiley and Sons. Inc. p. 207-589.

Lozano S. C. R., Vermea. P. S., Girón P., Velasco F., Zenteno M. D., Viera F., Chávez G. 1995. Calibración preliminar de fluorescencia de Rayos-X para análisis cuantitativos de elementos mayores en rocas ígneas. *Actas INAGEQ.*, vol. 1., p. 203-208.

Metcalf, S.E., 1987. Historical data and climatic change in Mexico a review. *Geographical Journal.*, vol. 153., p. 211– 222.

Milliman, J.D. y Syvitski. 1992. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountain rivers. *J. Geology* 100: 525-544.

Mudroch A., Macknight S. D. 1994. Handbook of Techniques for aquatic sediments sampling. Second Edition.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 1999. Trends in U.S. Coastal Regions, 1970–1998. Draft January 1999. Silver Spring, MD: NOAA.

National Research Council (NRC). 1985. Oil in the Sea. Washington, D.C.: National Academy Press.

Ongley E.D. 1997, Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudio FAO Riego y Drenaje-55. GEMS/ Water Collaborating Centre. Canada Centre for Inland Waters.



## BIBLIOGRAFIA



R.A. Ligeró. et. al., 2002, Dating of marine sediments and time evolution of heavy metal concentrations in the Bay of Cádiz, Spain: *Environmental Pollution*, vol. 118., p. 97–108

Rivera. E., Villalobos G., 2001, The coast of Mexico: approaches for its management: *Ocean & Coastal Management*, vol. 44., p. 729–756

Salomons W.; Förstner U. 1984. *Metals in the Cycle Hidrológic*. Springer Verlag, Berlin Heilderberg, New York.

Santiago Pérez., S. 1989. Estudio químico de sedimentos de una porción de la plataforma continental de Baja California norte, México. Tesis profesional UNAM-IMCyL.

Schulz Horts D., Zabel Matthias. 2000. *Marine Geochemistry*. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg. p. 1-22.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte. 1999. "Integración Modal y Regional en el Sistema Portuario Tampico-Altamira". Publicación Técnica No. 135. Sanfandila, Qro., p. 27, 28

Secretaria de Marina, 1998. "Impacto ambiental en la zona costera del sur de Tamaulipas por las influencias del estuario del Río Pánuco y otras fuentes". Dirección general de Oceanografía Naval. p.1-49.

Secretaria de Marina, 2000. "Estudio de la Contaminación marina en mar territorial y zonas costera de la Republica Mexicana, de punta Jerez, Tamaulipas, a Laguna de Tamiahua, Veracruz, 1999". Fase III, Dirección general de Oceanografía Naval. p.1-62

Secretaria de Marina, 1982. "Evaluación de la Toxicidad de las descargas municipales e industriales en el Río Pánuco, Tamaulipas". Dirección General de Oceanografía. p. 11-47.

Skoog D. A., Leary J.J. 1994. *Análisis Instrumental*. Edit. Mc. Graw Hill., 4a Edición., p. 425-443.

Stumm and Morgan. 1981. *Aquatic Chemistry*. 2ª Edición, Wiley, New York..



Tarback E.J., Lutgens F.K 2000. Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física. Edit. Prentice Hall., p. 403-421.

Tessier A., Campell P.G.C . and Bisson M. 1982, Particulate Trace metal Speciation in Stream Sediments and Relation with Grain Size: Implication for Geochemical Exploration. J. of Geochem. Explo.

Theofanis Zoumis, et. al., 2001, Contaminants in sediments: remobilisation and demobilization: The Science of the Total Environment., vol. 266., p. 195-202

U.N. Environment Programme and Caribbean Environment Programme (UNEP/CEP). 1994. Coastal Tourism in the Wider Caribbean Region: Impacts and Best Management Practices. Technical Report No. 38. Kingston, Jamaica: UNEP/CEP.

Vermea. P. S., Lozano S. C. R., Girón P., Velasco F. 1996. . Calibración preliminar de fluorescencia de Rayos-X para análisis cuantitativos de elementos traza en rocas ígneas. Actas INAGEQ., vol. 2., p. 227-242.

Villagarcía T. 2000. Análisis Multivariante  
<http://halweb.uc3m.es/esp/Docencia/master/Multivariante.pdf>

Villalobos. A.S., Gómez., Arenas F.V., Reséndez. A., De la Lanza. E.G. 1976. Estudios hidrológicos en la Laguna de Tamiahua. Rev. Soc. Mex. Nat. México., vol. 37., p. 139-180.

Weihaupt G. J. 1984. Exploración de los océanos. Editorial Continental, S.A. de C.V., México.

West, R.C., Psuty, N.P., Thom, B.G., 1969. The Tabasco Lowlands of Southeastern Mexico. Coastal Studies Institute, Reporte Técnico 70, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, p.193

Whitman G.T.W: 1983. In metal Pollution in Aquatic Enviroment. V. Förstner and Whitman, Springer Verlag, New York.



## BIBLIOGRAFIA



---

World Resources 2000-2001, United Nations Environment Programme (UNEP), the United Nations Development Programme (UNDP), the World Bank, and the World Resources Institute (WRI). Elsevier Science Ltd. in Oxford, U.K.

# ***APENDICES***

## APENDICE A

Datos tomados en cada uno de los sitios de muestreo

Estaciones de Muestreo	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Salinidad	Turbiedad	Eh (mV)	Material Suspendido (mg/l)
17	58	19.4	7.97	35.9	2.1	478	0.7
53	70	18.89	7.87	35.2	3.2	356	1.2
47	38	18.95	8	34.4	4.5	314	0.6
93	60	18.76	8	5.53	37.6	289	5.53

APENDICE B

Núcleo 47

Profundidad (cm)	M.O./ Carbonatos (%)		Elementos Mayores											TEXTURA			
	Materia Orgánica	CO <sub>3</sub>	%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>	%PXC	% Gravas	% Arenas	% Limos	% Arcillas
0 - 1	0.75	14.06	62.43	0.50	9.48	3.15	0.06	1.45	7.60	2.16	2.16	0.12	10.12	N.D	36.93	45.32	17.76
2 - 3	0.75	13.36	62.03	0.49	9.36	3.09	0.05	1.38	7.91	2.12	2.16	0.11	10.13	N.D	32.60	48.84	18.57
4 - 5	0.90	14.79	62.51	0.51	9.70	3.20	0.05	1.46	8.10	2.14	2.20	0.12	10.37	N.D	30.60	48.62	20.78
6 - 7	0.83	14.78	61.73	0.50	9.74	3.23	0.05	1.50	8.05	2.16	2.21	0.12	10.65	N.D	32.50	47.42	20.08
8 - 9	0.86	13.31	61.00	0.50	10.08	3.37	0.05	1.56	8.10	2.16	2.25	0.11	10.58	N.D	29.28	48.74	21.98
10 - 11	0.62	15.50	60.80	0.51	10.27	3.43	0.05	1.63	8.12	2.24	2.28	0.11	10.88	N.D	30.60	47.82	21.58
12 - 13	0.78	14.77	60.38	0.51	10.25	3.47	0.05	1.58	8.08	2.13	2.27	0.11	10.89	N.D	31.78	46.94	21.28
14 - 15	0.76	14.01	59.04	0.51	10.16	3.46	0.05	1.60	7.83	2.10	2.24	0.11	10.76	N.D	29.77	47.74	22.49
16 - 17	0.76	15.48	60.29	0.52	10.58	3.60	0.05	1.69	8.09	2.09	2.32	0.12	10.69	N.D	24.84	50.35	24.81
18 - 19	0.80	13.30	59.18	0.51	10.46	3.55	0.05	1.71	8.21	2.10	2.28	0.11	11.20	N.D	33.61	45.72	20.67
20 - 21	0.78	14.05	59.75	0.50	10.58	3.46	0.06	1.66	8.35	2.10	2.27	0.12	10.70	N.D	N.D	N.D	N.D
22 - 23	0.80	14.78	59.43	0.53	10.73	3.46	0.07	1.76	8.43	2.22	2.29	0.12	10.82	N.D	N.D	N.D	N.D
24 - 25	0.78	14.77	58.87	0.53	10.80	3.62	0.07	1.78	8.46	2.24	2.28	0.12	11.13	N.D	N.D	N.D	N.D
Val. Máximo	0.90	15.50	62.51	0.53	10.80	3.62	0.07	1.78	8.46	2.24	2.32	0.12	11.20		36.93	50.35	24.81
Val. Mínimo	0.62	13.30	58.87	0.49	9.36	3.09	0.05	1.38	7.60	2.09	2.16	0.11	10.12		24.84	45.32	17.76
Promedio	0.78	14.38	60.57	0.51	10.17	3.39	0.05	1.60	8.10	2.15	2.24	0.12	10.69		31.25	47.75	21.00
Desviación Estándar	0.07	0.76	1.30	0.01	0.47	0.17	0.01	0.12	0.24	0.05	0.05	0.00	0.33		3.15	1.51	1.99
Coefficiente de Variación	8.32	5.30	2.14	2.38	4.66	5.08	15.71	7.78	2.93	2.45	2.25	3.07	3.09		10.09	3.16	9.47

N.D. = No determinado

## APENDICE B

Núcleo 47														
Elementos Traza														
Profundidad (cm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Th (ppm)	Pb (ppm)
0 - 1	81.00	255.00	378.00	27.00	301.00	13.00	74.00	40.00	32.00	15.00	11.00	64.00	9.00	22.00
2 - 3	79.00	258.00	384.00	25.00	264.00	13.00	65.00	36.00	16.00	15.00	14.00	64.00	4.00	17.00
4 - 5	81.00	260.00	388.00	27.00	249.00	12.00	70.00	41.00	12.00	18.00	11.00	68.00	8.00	22.00
6 - 7	81.00	257.00	371.00	29.00	247.00	12.00	77.00	40.00	16.00	14.00	13.00	70.00	8.00	21.00
8 - 9	82.00	256.00	383.00	26.00	243.00	12.00	79.00	42.00	16.00	17.00	13.00	73.00	7.00	23.00
10 - 11	84.00	255.00	384.00	26.00	227.00	12.00	79.00	44.00	14.00	16.00	13.00	72.00	7.00	24.00
12 - 13	85.00	253.00	382.00	23.00	230.00	12.00	87.00	42.00	12.00	19.00	14.00	73.00	6.00	24.00
14 - 15	86.00	249.00	372.00	26.00	217.00	12.00	80.00	39.00	12.00	17.00	13.00	74.00	9.00	19.00
16 - 17	89.00	251.00	386.00	27.00	221.00	12.00	84.00	56.00	13.00	20.00	13.00	75.00	8.00	21.00
18 - 19	85.00	254.00	377.00	28.00	214.00	13.00	83.00	44.00	12.00	18.00	16.00	74.00	11.00	23.00
20 - 21	86.00	255.00	355.00	30.00	213.00	12.00	86.00	45.00	10.00	18.00	12.00	72.00	9.00	20.00
22 - 23	85.00	253.00	337.00	32.00	212.00	12.00	89.00	45.00	9.00	21.00	16.00	77.00	8.00	23.00
24 - 25	87.00	248.00	323.00	27.00	201.00	12.00	88.00	45.00	7.00	19.00	13.00	78.00	10.00	25.00
Val. Máximo	89.00	260.00	388.00	32.00	301.00	13.00	89.00	56.00	32.00	21.00	16.00	78.00	11.00	25.00
Val. Mínimo	79.00	248.00	323.00	23.00	201.00	12.00	65.00	36.00	7.00	14.00	11.00	64.00	4.00	17.00
Promedio	83.92	254.15	370.77	27.15	233.77	12.23	80.08	43.00	13.92	17.46	13.23	71.85	8.00	21.85
Desviación Estándar	2.90	3.41	20.24	2.27	27.08	0.44	7.23	4.76	6.08	2.07	1.54	4.36	1.78	2.23
Coefficiente de Variación	3.46	1.34	5.46	8.35	11.58	3.59	9.03	11.07	43.64	11.83	11.61	6.06	22.24	10.21

## APENDICE B

Núcleo 93																	
Profundidad (cm)	M.O/ Carbonatos (%)		Elementos Mayores											TEXTURA			
	Materia Orgánica	CO <sub>3</sub>	%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>6</sub>	%PXC	% Gravas	% Arenas	% Limos	% Arcillas
0 - 1	0.69	14.04	53.72	0.59	12.14	4.53	0.11	2.21	6.71	3.30	2.40	0.14	13.11	0.00	9.32	68.35	22.33
2 - 3	0.69	14.76	54.15	0.57	12.16	4.50	0.07	2.12	7.19	3.02	2.41	0.13	13.13	0.00	10.10	64.66	25.24
4 - 5	0.61	13.28	55.38	0.59	12.36	4.46	0.06	2.19	7.28	2.95	2.47	0.13	12.73	0.00	9.84	68.13	24.03
6 - 7	0.59	12.58	53.94	0.57	12.14	4.43	0.06	2.15	7.23	2.93	2.42	0.13	12.75	0.00	10.83	66.15	23.02
8 - 9	0.29	14.01	54.56	0.59	12.23	4.44	0.07	2.17	7.22	2.82	2.43	0.13	12.79	0.00	10.63	64.03	25.34
10 - 11	0.37	13.32	53.72	0.58	12.56	4.45	0.07	2.22	7.24	2.77	2.40	0.13	12.53	0.00	8.35	62.17	29.48
12 - 13	0.40	13.93	53.15	0.59	12.60	4.52	0.06	2.25	7.28	2.92	2.47	0.13	12.80	0.00	7.72	62.21	30.08
14 - 15	0.65	14.79	54.51	0.59	12.67	4.19	0.08	2.30	7.46	2.60	2.52	0.13	12.77	0.00	8.26	61.78	29.96
16 - 17	0.73	14.76	54.36	0.60	12.71	4.28	0.08	2.28	7.58	2.54	2.51	0.13	12.80	0.00	8.93	62.52	28.55
18 - 19	0.74	15.52	54.36	0.59	12.71	4.36	0.08	2.29	7.69	2.62	2.51	0.14	13.03	0.00	7.43	61.80	30.76
20 - 21	0.69	14.76	54.56	0.59	12.57	4.35	0.07	2.24	7.78	2.46	2.53	0.13	12.95	0.00	7.81	62.13	30.06
22 - 23	0.66	14.78	54.38	0.60	12.55	4.35	0.07	2.23	7.80	2.35	2.52	0.13	12.89	0.00	7.18	61.44	31.38
24 - 25	0.63	15.53	54.19	0.59	12.53	4.44	0.06	2.31	8.14	2.40	2.53	0.15	13.01	0.00	8.70	60.63	30.66
26 - 27	0.70	16.98	54.53	0.59	12.37	4.29	0.07	2.26	8.20	2.42	2.52	0.14	13.06	0.00	8.32	62.03	29.65
Val. Máximo	0.74	16.98	55.38	0.60	12.71	4.53	0.11	2.31	8.20	3.30	2.53	0.15	13.13		10.83	68.35	31.38
Val. Mínimo	0.29	12.58	53.15	0.57	12.14	4.19	0.08	2.12	6.71	2.35	2.40	0.13	12.53		7.18	60.63	22.33
Promedio	0.60	14.50	54.25	0.59	12.45	4.40	0.07	2.23	7.49	2.72	2.47	0.13	12.88		8.62	63.29	27.89
Desviación Estándar	0.14	1.11	0.52	0.01	0.21	0.10	0.01	0.06	0.41	0.28	0.05	0.01	0.17		1.17	2.24	3.18
Coefficiente de Varlación	23.93	7.63	0.96	1.35	1.70	2.27	16.41	2.58	5.43	10.34	2.09	4.52	1.34		13.31	3.54	11.38

## APENDICE B

Coefficiente de Variación	1.90	2.36	5.03	7.77	4.43	4.43	3.90	5.35	28.37	6.51	13.96	1.99	25.50	9.54
<b>Núcleo 93</b>														
<b>Elementos Traza</b>														
Profundidad (cm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Th (ppm)	Pb (ppm)
0 - 1	101.00	222.00	352.00	33.00	189.00	15.00	103.00	59.00	12.00	24.00	18.00	88.00	8.00	25.00
2 - 3	100.00	235.00	370.00	31.00	188.00	14.00	105.00	56.00	15.00	22.00	18.00	88.00	4.00	18.00
4 - 5	102.00	238.00	356.00	34.00	196.00	14.00	109.00	63.00	15.00	21.00	16.00	84.00	11.00	27.00
6 - 7	102.00	239.00	372.00	31.00	195.00	15.00	107.00	57.00	12.00	22.00	17.00	85.00	13.00	24.00
8 - 9	101.00	237.00	365.00	29.00	204.00	15.00	105.00	60.00	17.00	20.00	16.00	88.00	8.00	26.00
10 - 11	102.00	235.00	355.00	30.00	202.00	13.00	108.00	61.00	18.00	24.00	18.00	87.00	10.00	25.00
12 - 13	104.00	231.00	360.00	35.00	194.00	15.00	111.00	57.00	18.00	24.00	16.00	89.00	8.00	27.00
14 - 15	105.00	230.00	323.00	31.00	186.00	14.00	112.00	58.00	9.00	25.00	16.00	91.00	10.00	26.00
16 - 17	104.00	231.00	352.00	30.00	183.00	15.00	105.00	58.00	12.00	24.00	10.00	86.00	12.00	22.00
18 - 19	104.00	233.00	333.00	30.00	184.00	15.00	112.00	55.00	9.00	24.00	18.00	88.00	10.00	24.00
20 - 21	106.00	234.00	334.00	32.00	181.00	15.00	104.00	57.00	8.00	24.00	15.00	88.00	13.00	26.00
22 - 23	104.00	233.00	333.00	30.00	188.00	15.00	113.00	54.00	12.00	23.00	16.00	88.00	8.00	26.00
24 - 25	105.00	241.00	327.00	30.00	179.00	15.00	106.00	52.00	9.00	21.00	13.00	88.00	11.00	24.00
26 - 27	100.00	245.00	323.00	25.00	176.00	14.00	98.00	53.00	9.00	23.00	15.00	86.00	8.00	24.00
Val. Máximo	106.00	245.00	372.00	35.00	204.00	15.00	113.00	63.00	18.00	25.00	18.00	91.00	13.00	27.00
Val. Mínimo	100.00	222.00	323.00	25.00	176.00	13.00	98.00	52.00	8.00	20.00	10.00	84.00	4.00	18.00
Promedio	102.86	234.57	346.79	30.79	188.93	14.57	107.00	57.14	12.50	22.93	15.86	87.43	9.57	24.57
Desviación Estándar	1.96	5.53	17.44	2.39	8.36	0.65	4.17	3.06	3.55	1.49	2.21	1.74	2.44	2.34

## APENDICE B

### Núcleo 17

Profundidad (cm)	M.O/ Carbonatos (%)		Elementos Mayores											TEXTURAS			
	Materia Orgánica	CO <sub>3</sub>	%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>	%PXC	% Gravas	% Arenas	% Limos	% Arcillas
0 - 1	0.35	31.94	47.99	0.40	8.49	2.99	0.06	1.88	16.09	2.14	1.81	0.12	18.54	3.97	43.40	41.30	11.33
2 - 3	0.28	35.52	45.66	0.37	7.95	2.93	0.05	1.89	18.17	1.99	1.71	0.12	19.73	4.22	39.39	42.55	13.84
4 - 5	0.53	34.03	47.30	0.38	8.37	3.04	0.05	1.89	18.71	2.04	1.80	0.12	18.79	7.45	38.59	35.47	18.49
6 - 7	0.51	38.19	46.65	0.36	8.07	2.94	0.05	1.86	17.66	1.73	1.77	0.11	19.02	4.48	36.21	44.16	15.16
8 - 9	0.53	28.94	47.90	0.38	8.38	2.93	0.07	1.92	16.72	1.84	1.79	0.11	18.21	4.53	34.84	40.29	20.34
10 - 11	0.50	38.32	44.26	0.34	7.74	2.80	0.06	1.89	19.55	1.70	1.64	0.11	20.30	9.56	36.65	35.50	18.30
12 - 13	0.27	40.51	43.72	0.32	7.24	2.55	0.05	1.75	20.29	1.62	1.59	0.11	20.67	11.44	38.67	34.49	15.41
14 - 15	0.27	40.39	45.76	0.31	7.23	2.45	0.05	1.76	20.01	1.67	1.62	0.09	19.93	14.81	41.74	34.97	8.48
16 - 17	0.25	44.24	42.90	0.29	6.99	2.23	0.04	1.75	21.51	1.62	1.48	0.10	21.37	24.37	34.01	23.77	17.85
18 - 19	0.15	48.56	40.52	0.25	5.95	2.01	0.04	1.64	24.48	1.43	1.35	0.09	23.14	17.97	44.94	19.81	17.28
Val. Máximo	0.53	48.56	47.99	0.40	8.49	3.04	0.07	1.92	24.48	2.14	1.81	0.12	23.14	24.37	44.94	44.16	20.34
Val. Mínimo	0.15	28.94	40.52	0.25	5.95	2.01	0.04	1.64	16.09	1.43	1.35	0.09	18.21	3.97	34.01	19.81	8.48
Promedio	0.36	37.86	45.27	0.34	7.64	2.69	0.05	1.82	19.12	1.78	1.66	0.11	19.97	10.28	38.84	35.23	15.65
Desviación Estándar	0.14	5.84	2.41	0.05	0.80	0.36	0.01	0.09	2.59	0.22	0.15	0.01	1.49	6.92	3.62	7.93	3.63
Coefficiente de Variación	38.58	15.42	5.33	14.24	10.41	13.32	17.30	5.04	13.57	12.51	9.21	10.55	7.48	67.36	9.32	22.50	23.17

## APENDICE B

Núcleo 17														
Elementos Traza														
Profundidad (cm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Th (ppm)	Pb (ppm)
0 - 1	70.00	684.00	400.00	22.00	128.00	10.00	80.00	33.00	7.00	17.00	16.00	60.00	6.00	20.00
2 - 3	63.00	784.00	374.00	17.00	120.00	9.00	73.00	29.00	7.00	18.00	13.00	56.00	8.00	15.00
4 - 5	70.00	688.00	365.00	22.00	122.00	9.00	79.00	35.00	8.00	15.00	14.00	59.00	7.00	17.00
6 - 7	67.00	772.00	336.00	19.00	123.00	8.00	84.00	32.00	7.00	17.00	14.00	57.00	7.00	17.00
8 - 9	69.00	729.00	328.00	20.00	130.00	9.00	83.00	32.00	8.00	16.00	13.00	57.00	8.00	20.00
10 - 11	61.00	906.00	309.00	19.00	119.00	8.00	73.00	31.00	11.00	14.00	13.00	52.00	5.00	14.00
12 - 13	58.00	948.00	276.00	17.00	118.00	8.00	65.00	23.00	14.00	14.00	12.00	49.00	6.00	13.00
14 - 15	58.00	940.00	285.00	18.00	111.00	8.00	64.00	20.00	13.00	12.00	12.00	46.00	4.00	14.00
16 - 17	54.00	1092.00	287.00	14.00	98.00	7.00	58.00	19.00	11.00	12.00	13.00	42.00	5.00	10.00
18 - 19	48.00	1245.00	256.00	16.00	89.00	5.00	47.00	8.00	14.00	10.00	12.00	37.00	5.00	11.00
Val. Máximo	70.00	1245.00	400.00	22.00	130.00	10.00	84.00	35.00	14.00	18.00	16.00	60.00	8.00	20.00
Val. Mínimo	48.00	684.00	256.00	14.00	89.00	5.00	47.00	8.00	7.00	10.00	12.00	37.00	4.00	10.00
Promedio	61.80	878.80	321.60	18.40	115.80	8.10	70.60	26.20	10.00	14.50	13.20	51.50	6.10	15.10
Desviación Estándar	7.42	184.40	47.26	2.55	13.05	1.37	11.99	8.52	2.94	2.59	1.23	7.79	1.37	3.41
Coefficiente de Variación	12.01	20.98	14.70	13.84	11.27	16.92	16.99	32.53	29.44	17.88	9.31	15.13	22.46	22.61

## APENDICE B

Núcleo 53																	
Profundidad (cm)	M. O/ Carbonatos (%)		Elementos Mayores											TEXTURA			
	Materia Orgánica	CO <sub>3</sub>	%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>	%PXC	% Gravas	% Arenas	% Limos	% Arcillas
0 - 1	0.46	32.80	38.99	0.40	7.91	3.20	0.07	2.06	20.70	1.80	1.58	0.12	22.81	21.71	37.14	30.41	10.74
2 - 3	0.59	32.01	39.47	0.39	7.97	3.10	0.06	2.10	20.51	1.88	1.65	0.12	22.75	15.74	40.25	31.65	12.38
4 - 5	0.40	42.80	36.49	0.36	6.66	2.86	0.05	1.95	24.49	1.47	1.41	0.12	24.53	27.48	34.36	30.36	7.80
6 - 7	0.33	39.31	39.09	0.42	7.77	3.11	0.08	2.00	21.55	1.63	1.58	0.12	22.66	29.54	33.06	28.51	8.90
8 - 9	0.46	34.87	40.58	0.42	8.05	3.29	0.06	2.06	20.28	1.74	1.70	0.12	21.85	18.93	38.02	28.07	14.97
10 - 11	0.39	45.13	36.87	0.38	7.11	2.95	0.06	2.04	23.64	1.54	1.48	0.11	24.25	25.53	34.93	28.72	10.82
12 - 13	0.33	37.15	39.42	0.42	8.15	3.19	0.08	2.11	20.69	1.81	1.64	0.11	22.51	26.53	34.13	29.41	9.93
14 - 15	0.56	47.89	33.13	0.32	6.27	2.66	0.06	2.03	26.81	1.53	1.30	0.11	26.09	44.48	26.68	22.32	6.52
Val. Máximo	0.59	47.89	40.58	0.42	8.15	3.29	0.07	2.11	26.81	1.88	1.70	0.12	26.09	44.48	40.25	31.65	14.97
Val. Mínimo	0.33	32.01	33.13	0.32	6.27	2.66	0.05	1.95	20.28	1.47	1.30	0.11	21.85	15.74	26.68	22.32	6.52
Promedio	0.44	38.99	38.01	0.39	7.49	3.05	0.06	2.04	22.33	1.68	1.54	0.12	23.43	26.24	34.82	28.68	10.25
Desviación Estándar	0.10	5.84	2.40	0.04	0.71	0.21	0.01	0.05	2.39	0.15	0.14	0.01	1.40	8.70	4.06	2.83	2.65
Coefficiente de Variación	22.00	14.99	6.31	9.06	9.52	6.84	8.91	2.55	10.69	9.12	8.80	4.45	5.98	33.15	11.65	9.86	25.85

## APENDICE B

Núcleo 53														
Elementos Traza														
Profundidad (cm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Th (ppm)	Pb (ppm)
0 - 1	64.00	937.00	285.00	21.00	99.00	10	78.00	34.00	10.00	18.00	14.00	58.00	5.00	14.00
2 - 3	64.00	936.00	288.00	17.00	104.00	10	77.00	31.00	6.00	14.00	15.00	59.00	9.00	17.00
4 - 5	58.00	1002.00	293.00	17.00	102.00	10	69.00	22.00	6.00	14.00	14.00	52.00	5.00	19.00
6 - 7	64.00	1012.00	293.00	20.00	108.00	9	79.00	28.00	6.00	15.00	18.00	58.00	4.00	18.00
8 - 9	61.00	1025.00	255.00	19.00	93.00	9	68.00	28.00	6.00	16.00	12.00	58.00	6.00	13.00
10 - 11	60.00	1142.00	272.00	19.00	99.00	9.00	75.00	22.00	8.00	11.00	11.00	53.00	3.00	14.00
12 - 13	56.00	1132.00	242.00	17.00	88.00	9.00	70.00	20.00	6.00	15.00	16.00	49.00	6.00	15.00
14 - 15	52.00	1131.00	283.00	18.00	93.00	8.00	69.00	24.00	8.00	16.00	14.00	46.00	4.00	14.00
Val. Máximo	64.00	1142.00	293.00	21.00	108.00	9.00	79.00	34.00	10.00	18.00	18.00	59.00	9.00	19.00
Val. Mínimo	52.00	936.00	242.00	17.00	88.00	8.00	68.00	20.00	6.00	11.00	11.00	46.00	3.00	13.00
Promedio	59.88	1039.63	276.38	18.50	98.25	8.67	73.13	26.13	7.00	14.88	14.25	54.13	5.13	15.50
Desviación Estándar	4.36	85.38	18.76	1.51	6.58	0.58	4.58	4.91	1.51	2.03	2.19	4.88	1.81	2.20
Coefficiente de Variación	7.28	8.21	6.79	8.17	6.70	6.66	6.26	18.80	21.60	13.65	15.35	9.02	35.27	14.22

## APENDICE C

Núcleo 47							
Normalización de Elementos Mayores							
Profundidad (cm)	%Materia Orgánica	%CO <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub> /%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%TiO <sub>2</sub> /%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%MnO/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%MgO/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.5	0.7513	14.055	6.583	0.053	0.332	0.007	0.152
2.5	0.7514	13.357	6.629	0.052	0.330	0.005	0.148
4.5	0.8962	14.786	6.442	0.053	0.330	0.005	0.150
6.5	0.8304	14.778	6.340	0.052	0.332	0.005	0.154
8.5	0.8569	13.310	6.050	0.050	0.334	0.005	0.155
9.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
10.5	0.6195	15.496	5.921	0.049	0.334	0.005	0.159
11.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
12.5	0.7776	14.765	5.893	0.050	0.338	0.005	0.154
14.5	0.7647	14.006	5.811	0.050	0.341	0.005	0.158
15.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
16.5	0.7647	15.480	5.700	0.049	0.340	0.005	0.160
18.5	0.8043	13.297	5.657	0.049	0.339	0.004	0.164
20.5	0.7779	14.051	5.647	0.047	0.327	0.006	0.157
21.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
22.5	0.8038	14.782	5.539	0.049	0.322	0.007	0.164
24.5	0.7777	14.772	5.451	0.049	0.335	0.006	0.165

N.D. = No determinado

## APENDICE C

Núcleo 47											
Normalización de Elementos Traza											
Profundidad (cm)	Rb/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sr/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ba/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zr/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Vi/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zn/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pb/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.5	8.542	26.890	39.861	31.741	7.803	4.218	3.374	1.582	1.160	6.749	2.320
2.5	8.444	27.576	41.043	28.217	6.947	3.848	1.710	1.603	1.496	6.841	1.817
4.5	8.348	26.796	39.988	25.662	7.214	4.225	1.237	1.855	1.134	7.008	2.267
6.5	8.320	26.397	38.106	25.370	7.909	4.108	1.643	1.438	1.335	7.190	2.157
8.5	8.133	25.392	37.988	24.102	7.836	4.166	1.587	1.686	1.289	7.241	2.281
9.5	N.D										
10.5	8.181	24.834	37.398	22.108	7.694	4.285	1.363	1.558	1.266	7.012	2.337
11.5	N.D										
12.5	8.297	24.695	37.286	22.450	8.492	4.100	1.171	1.855	1.367	7.125	2.343
14.5	8.465	24.508	36.614	21.358	7.874	3.839	1.181	1.673	1.280	7.283	1.870
15.5	N.D										
16.5	8.414	23.731	36.494	20.894	7.942	5.295	1.229	1.891	1.229	7.091	1.985
18.5	8.125	24.281	36.039	20.457	7.934	4.206	1.147	1.721	1.529	7.074	2.199
20.5	8.129	24.102	33.554	20.132	8.129	4.253	0.945	1.701	1.134	6.805	1.890
21.5	N.D										
22.5	7.922	23.579	31.407	19.758	8.295	4.194	0.839	1.957	1.491	7.176	2.144
24.5	8.056	22.963	29.907	18.611	8.148	4.167	0.648	1.759	1.204	7.222	2.315

N.D. = No determinado

## APENDICE C

Núcleo 93							
Normalización de Elementos Mayores							
Profundidad (cm)	%Materia Orgánica	%CO <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub> /%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%TiO <sub>2</sub> /%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%MnO/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%MgO/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.5	N.D	N.D	4.424	0.049	0.373	0.009	0.182
2.5	0.6875	14.040	4.453	0.047	0.370	0.006	0.174
4.5	0.6875	14.757	4.480	0.047	0.361	0.005	0.177
6.5	0.6143	13.284	4.442	0.047	0.365	0.005	0.177
8.5	0.5851	12.580	4.463	0.048	0.364	0.005	0.178
10.5	0.2925	14.006	4.279	0.046	0.355	0.005	0.177
12.5	0.3657	13.324	4.219	0.047	0.359	0.005	0.179
14.5	0.3950	13.933	4.302	0.047	0.331	0.006	0.182
16.5	0.6461	14.786	4.277	0.047	0.337	0.006	0.179
18.5	0.7305	14.764	4.277	0.046	0.343	0.006	0.180
20.5	0.7444	15.516	4.340	0.047	0.346	0.006	0.178
22.5	0.6883	14.764	4.333	0.048	0.347	0.006	0.178
24.5	0.6602	14.783	4.325	0.047	0.354	0.005	0.184
26.5	0.6320	15.526	4.408	0.048	0.347	0.006	0.183

N.D. = No determinado

## APENDICE C

Núcleo 93											
Normalización de Elementos Traza											
Profundidad (cm)	Rb/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sr/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ba/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zr/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zn/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pb/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.5	8.319	18.285	28.993	15.567	8.484	4.860	0.988	1.977	1.483	7.248	2.059
2.5	8.222	19.322	30.423	15.458	8.633	4.605	1.233	1.809	1.480	7.236	1.480
4.5	8.251	19.253	28.798	15.855	8.817	5.096	1.213	1.699	1.294	6.795	2.184
6.5	8.399	19.681	30.632	16.057	8.811	4.694	0.988	1.812	1.400	6.999	1.976
8.5	8.262	19.387	29.857	16.687	8.589	4.908	1.391	1.636	1.309	7.198	2.127
10.5	8.124	18.716	28.273	16.088	8.601	4.858	1.434	1.911	1.434	6.929	1.991
12.5	8.254	18.333	28.571	15.397	8.810	4.524	1.429	1.905	1.270	7.063	2.143
14.5	8.287	18.153	25.493	14.680	8.840	4.578	0.710	1.973	1.263	7.182	2.052
16.5	8.183	18.175	27.695	14.398	8.261	4.563	0.944	1.888	0.787	6.766	1.731
18.5	8.183	18.332	26.200	14.477	8.812	4.327	0.708	1.888	1.416	6.924	1.888
20.5	8.433	18.616	26.571	14.399	8.274	4.535	0.636	1.909	1.193	7.001	2.068
22.5	8.287	18.566	26.534	14.980	9.004	4.303	0.956	1.833	1.275	7.012	2.072
24.5	8.380	19.234	26.097	14.286	8.460	4.150	0.718	1.676	1.038	7.023	1.915
26.5	8.084	19.806	26.112	14.228	7.922	4.285	0.728	1.859	1.213	6.952	1.940

## APENDICE C

Núcleo 17							
Normalización de Elementos Mayores							
Profundidad (cm)	%Materia Orgánica	%CO <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub> /%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%TiO <sub>2</sub> /%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%MnO/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%MgO/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.5	0.3510	31.938	5.65	0.05	0.35	0.01	0.22
2.5	0.2779	35.516	5.74	0.05	0.37	0.01	0.24
4.5	0.5265	34.029	5.65	0.05	0.36	0.01	0.23
6.5	0.5120	36.188	5.78	0.04	0.36	0.01	0.23
8.5	0.5266	28.935	5.72	0.05	0.35	0.01	0.23
9.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
10.5	0.4974	38.321	5.72	0.04	0.36	0.01	0.24
12.5	0.2686	40.508	6.04	0.04	0.35	0.01	0.24
14.5	0.2685	40.389	6.33	0.04	0.34	0.01	0.24
15.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
16.5	0.2536	44.244	6.14	0.04	0.32	0.01	0.25
18.5	0.1492	48.563	6.81	0.04	0.34	0.01	0.27

N.D. = No determinado

## APENDICE C

Núcleo 17											
Normalización de Elementos Traza											
Profundidad (cm)	Rb/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sr/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ba/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zr/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zn/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pb/%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.5	8.24	80.57	47.11	15.08	9.42	3.89	0.82	2.00	1.88	7.07	2.36
2.5	7.92	98.62	47.04	15.09	9.18	3.65	0.88	2.26	1.64	7.04	1.89
4.5	8.36	82.20	43.61	14.58	9.44	4.18	0.96	1.79	1.67	7.05	2.03
6.5	8.30	95.66	41.64	15.24	10.41	3.97	0.87	2.11	1.73	7.06	2.11
8.5	8.23	86.99	39.14	15.51	9.90	3.82	0.95	1.91	1.55	6.80	2.39
9.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
10.5	7.88	117.05	39.92	15.37	9.43	4.01	1.42	1.81	1.68	6.72	1.81
12.5	8.01	130.92	38.12	16.30	8.98	3.18	1.93	1.93	1.66	6.77	1.80
14.5	8.03	130.07	39.44	15.36	8.86	2.77	1.80	1.66	1.66	6.37	1.94
15.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
16.5	7.72	156.20	41.05	14.02	8.30	2.72	1.57	1.72	1.86	6.01	1.43
18.5	8.06	209.14	43.00	14.95	7.90	1.34	2.35	1.68	2.02	6.22	1.85

N.D. = No determinado

### APENDICE D

#### Núcleo 47

Profundidad (cm)	M.O/ Carbonatos (%)		Elementos Mayores (%)										Elementos Traza (ppm)										Texturas (%)				
	Materia Orgánica	CO <sub>3</sub>	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>	Rb	Sr	Ba	Zr	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Gravas	Arenas	Limos	Arcillas
0 - 1	0.75	14.06	62.43	0.50	9.48	3.15	0.06	1.45	7.60	2.16	2.16	0.12	81	255	378	301	74	40	32	15	11	84	22	N.D	36.93	45.32	17.76
2 - 3	0.75	13.36	62.03	0.49	9.36	3.09	0.05	1.38	7.91	2.12	2.16	0.11	79	258	384	264	65	36	16	15	14	64	17	N.D	32.60	48.84	18.57
4 - 5	0.90	14.78	62.51	0.51	9.70	3.20	0.05	1.46	8.10	2.14	2.20	0.12	81	260	388	249	70	41	12	18	11	68	22	N.D	30.60	48.62	20.78
6 - 7	0.83	14.78	61.73	0.50	9.74	3.23	0.05	1.50	8.05	2.16	2.21	0.12	81	257	371	247	77	40	16	14	13	70	21	N.D	32.50	47.42	20.08
8 - 9	0.86	13.31	61.00	0.50	10.08	3.37	0.05	1.56	8.10	2.16	2.25	0.11	82	256	383	243	79	42	16	17	13	73	23	N.D	29.28	48.74	21.98
10 - 11	0.62	15.50	60.80	0.51	10.27	3.43	0.05	1.63	8.12	2.24	2.26	0.11	84	255	384	227	79	44	14	16	13	72	24	N.D	30.60	47.82	21.58
12 - 13	0.78	14.77	60.38	0.51	10.25	3.47	0.05	1.58	8.08	2.13	2.27	0.11	85	253	382	230	87	42	12	19	14	73	24	N.D	31.78	46.94	21.28
14 - 15	0.76	14.01	59.04	0.51	10.16	3.46	0.05	1.60	7.83	2.10	2.24	0.11	86	249	372	217	80	39	12	17	13	74	19	N.D	29.77	47.74	22.49
16 - 17	0.76	15.48	60.28	0.52	10.58	3.60	0.05	1.69	8.09	2.09	2.32	0.12	89	251	386	221	84	56	13	20	13	75	21	N.D	24.84	50.35	24.81
18 - 19	0.80	13.30	59.18	0.51	10.46	3.55	0.05	1.71	8.21	2.10	2.28	0.11	85	254	377	214	83	44	12	16	16	74	23	N.D	33.61	45.72	20.67
20 - 21	0.78	14.05	59.75	0.50	10.58	3.46	0.06	1.66	8.35	2.10	2.27	0.12	86	255	355	213	86	45	10	18	12	72	20	N.D	N:D	N:D	N:D
22 - 23	0.80	14.78	59.43	0.53	10.73	3.46	0.07	1.76	8.43	2.22	2.29	0.12	85	253	337	212	89	45	9	21	16	77	23	N.D	N:D	N:D	N:D
24 - 25	0.78	14.77	58.87	0.53	10.80	3.62	0.07	1.78	8.46	2.24	2.28	0.12	87	248	323	201	88	45	7	19	13	78	25	N.D	N:D	N:D	N:D

N.D. = No determinado

#### Núcleo 93

Profundidad (cm)	M.O/ Carbonatos (%)		Elementos Mayores (%)										Elementos Traza (ppm)										Texturas (%)				
	Materia Orgánica	CO <sub>3</sub>	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>	Rb	Sr	Ba	Zr	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Gravas	Arenas	Limos	Arcillas
0 - 1	0.69	14.04	53.72	0.59	12.14	4.53	0.11	2.21	6.71	3.30	2.40	0.14	101	222	352	189	103	59	12	24	18	88	25	0	9.32	68.35	22.33
2 - 3	0.69	14.76	54.15	0.57	12.16	4.50	0.07	2.12	7.19	3.02	2.41	0.13	100	235	370	188	105	56	15	22	18	88	18	0	10.10	64.66	25.24
4 - 5	0.61	13.28	55.38	0.59	12.36	4.46	0.06	2.19	7.28	2.95	2.47	0.13	102	238	356	196	109	63	15	21	16	84	27	0	9.84	66.13	24.03
6 - 7	0.59	12.58	53.94	0.57	12.14	4.43	0.06	2.15	7.23	2.93	2.42	0.13	102	239	372	195	107	57	12	22	17	85	24	0	10.83	66.15	23.02
8 - 9	0.29	14.01	54.56	0.59	12.23	4.44	0.07	2.17	7.22	2.82	2.43	0.13	101	237	365	204	105	60	17	20	16	88	26	0	10.83	64.03	25.34
10 - 11	0.37	13.32	53.72	0.58	12.56	4.45	0.07	2.22	7.24	2.77	2.40	0.13	102	235	355	202	108	61	18	24	18	87	25	0	8.35	62.17	29.48
12 - 13	0.40	13.93	53.15	0.59	12.60	4.52	0.06	2.25	7.28	2.92	2.47	0.13	104	231	360	194	111	57	18	24	16	89	27	0	7.72	62.21	30.08
14 - 15	0.65	14.79	54.51	0.59	12.67	4.19	0.08	2.30	7.46	2.60	2.52	0.13	105	230	323	186	112	58	9	25	16	91	26	0	8.26	61.78	29.96
16 - 17	0.73	14.76	54.36	0.60	12.71	4.28	0.08	2.28	7.58	2.54	2.51	0.13	104	231	352	183	105	58	12	24	10	86	22	0	8.93	62.52	28.55
18 - 19	0.74	15.52	54.36	0.59	12.71	4.36	0.08	2.29	7.69	2.62	2.51	0.14	104	233	333	184	112	55	9	24	18	88	24	0	7.43	61.80	30.76
20 - 21	0.69	14.76	54.56	0.59	12.57	4.35	0.07	2.24	7.78	2.46	2.53	0.13	106	234	334	181	104	57	8	24	15	88	26	0	7.81	62.13	30.06
22 - 23	0.66	14.78	54.38	0.60	12.55	4.35	0.07	2.23	7.80	2.35	2.52	0.13	104	233	333	188	113	54	12	23	16	88	26	0	7.18	61.44	31.38
24 - 25	0.63	15.53	54.19	0.59	12.53	4.44	0.06	2.31	8.14	2.40	2.53	0.15	105	241	327	179	106	52	9	21	13	88	24	0	8.70	60.63	30.66
26 - 27	0.70	16.96	54.53	0.59	12.37	4.29	0.07	2.26	8.20	2.42	2.52	0.14	100	245	323	176	98	53	9	23	15	86	24	0	8.32	62.03	29.65

APENDICE D

Núcleo 17

Profundidad (cm)	M.O/ Carbonatos (%)		Elementos Mayores (%)										Elementos Traza (ppm)										Texturas (%)				
	Materia Orgánica	CO <sub>3</sub>	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>	Rb	Sr	Ba	Zr	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Gravas	Arenas	Limos	Arcillas
0 - 1	0.35	31.94	47.99	0.40	8.49	2.99	0.06	1.88	16.09	2.14	1.81	0.12	70	684	400	128	80	33	7	17	16	60	20	3.97	43.40	41.30	11.33
2 - 3	0.28	35.52	45.66	0.37	7.95	2.93	0.05	1.89	18.17	1.99	1.71	0.12	63	784	374	120	73	29	7	18	13	56	15	4.22	39.39	42.55	13.84
4 - 5	0.53	34.03	47.30	0.38	8.37	3.04	0.05	1.89	16.71	2.04	1.80	0.12	70	888	365	122	79	35	8	15	14	59	17	7.45	38.59	35.47	18.49
6 - 7	0.51	36.19	46.65	0.36	8.07	2.94	0.05	1.86	17.66	1.73	1.77	0.11	67	772	336	123	84	32	7	17	14	57	17	4.48	36.21	44.16	15.16
8 - 9	0.53	28.94	47.90	0.38	8.38	2.93	0.07	1.92	16.72	1.84	1.79	0.11	69	729	328	130	83	32	8	16	13	57	20	4.53	34.84	40.29	20.34
10 - 11	0.50	38.32	44.26	0.34	7.74	2.80	0.06	1.89	19.55	1.70	1.64	0.11	61	906	309	119	73	31	11	14	13	52	14	9.56	36.65	35.50	18.30
12 - 13	0.27	40.51	43.72	0.32	7.24	2.55	0.05	1.75	20.29	1.62	1.59	0.11	58	848	276	118	65	23	14	14	12	49	13	11.44	38.67	34.49	15.41
14 - 15	0.27	40.39	45.76	0.31	7.23	2.45	0.05	1.76	20.01	1.67	1.62	0.09	58	940	285	111	64	20	13	12	12	46	14	14.81	41.74	34.97	8.48
16 - 17	0.25	44.24	42.90	0.29	6.99	2.23	0.04	1.75	21.51	1.62	1.48	0.10	54	1092	287	98	58	19	11	12	13	42	10	24.37	34.01	23.77	17.85
18 - 19	0.15	48.56	40.52	0.25	5.95	2.01	0.04	1.64	24.48	1.43	1.35	0.09	48	1245	256	89	47	8	14	10	12	37	11	17.97	44.94	19.81	17.28

Núcleo 53

Profundidad (cm)	M.O/ Carbonatos (%)		Elementos Mayores (%)										Elementos Traza (ppm)										Texturas (%)				
	Materia Orgánica	CO <sub>3</sub>	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>	Rb	Sr	Ba	Zr	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Gravas	Arenas	Limos	Arcillas
0 - 1	0.46	32.80	38.99	0.40	7.91	3.20	0.07	2.06	20.70	1.80	1.58	0.12	64	937	285	99	78	34	10	18	14	58	14	21.71	37.14	30.41	10.74
2 - 3	0.59	32.01	39.47	0.39	7.97	3.10	0.06	2.10	20.51	1.88	1.65	0.12	64	936	288	104	77	31	8	14	15	59	17	15.74	40.25	31.65	12.36
4 - 5	0.40	42.80	36.49	0.36	6.66	2.86	0.05	1.95	24.49	1.47	1.41	0.12	58	1002	293	102	69	22	6	14	14	52	19	27.48	34.36	30.36	7.80
6 - 7	0.33	39.31	39.09	0.42	7.77	3.11	0.06	2.00	21.55	1.63	1.58	0.12	64	1012	293	108	79	28	6	15	18	58	18	29.54	33.06	28.51	8.90
8 - 9	0.46	34.87	40.58	0.42	8.05	3.29	0.06	2.06	20.28	1.74	1.70	0.12	61	1025	255	93	68	28	6	16	12	58	13	18.93	38.02	28.07	14.97
10 - 11	0.39	45.13	36.87	0.38	7.11	2.95	0.06	2.04	23.64	1.54	1.48	0.11	60	1142	272	99	75	22	8	11	11	53	14	25.53	34.93	28.72	10.82
12 - 13	0.33	37.15	39.42	0.42	8.15	3.19	0.06	2.11	20.69	1.81	1.64	0.11	56	1132	242	88	70	20	6	15	16	49	15	26.53	34.13	29.41	9.93
14 - 15	0.56	47.89	33.13	0.32	6.27	2.66	0.06	2.03	26.81	1.53	1.30	0.11	52	1131	283	93	69	24	8	16	14	46	14	44.48	28.68	22.32	6.52