

Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Universidad Nacional Autónoma de México

Estudio de metales en agua, material suspendido y sedimentos en los arrecifes La Gallega y Galleguilla, Veracruz, Veracruz.

T E S I S

que para obtener el grado académico de

Maestra en Ciencias
(Química acuática)

P r e s e n t a

Q. A. Juana Cerón Alvarado

Director de Tesis: Dra. Leticia Rosales Hoz

Comité tutorial: Dr. Federico Paéz Osuna

Dra. Liliana Saldivar Osorio

Dr. Carlos René Green Ruiz

Dr. Jesús Gracia Mora

MÉXICO, D. F. 2008

DEDICATORIAS

Este trabajo esta dedicado muy en especial a todas aquellas personas con las que me tropecé hace nueve años y con las que formé un lazo fuerte. Los lazos son los más difíciles de romper y sé que no me fallarán. Recuerden que los lazos que formamos no son tan sencillos.

A mi familia quienes si que han tenido paciencia y me han aguantado otro ratito. Recuerden que tienen mi cariño y amor

Al chico que conozco desde hace once años pero que lo empecé a conocer hace siete, vaya ironía.

A mis nuevos amigos y por supuesto a los de siempre.

Con especial afecto a Adriana Hernández, a Paty, a Nelly y Jere.

A mis grandes compañeros y amigos de laboratorio: Adriana Vega, Francisco Rivera, Alicia Mora, Susana Santiago y Omar Celis, que sin ustedes no sería tan divertida la estancia.

¿QUÉ LES QUEDA A LOS JÓVENES?

*¿Qué les queda por probar a los jóvenes en este mundo de paciencia y asco?
¿Solo graffiti? ¿Rock? ¿Escepticismo? También les queda no decir amén,
no dejar que le maten el amor, recuperar el habla y la utopía ser jóvenes de
prisa y con memoria, situarse en una historia que es la suya, no convertirse en
viejos prematuros.*

*¿Qué les queda por probar a los jóvenes en este mundo de ruina? ¿Cocaína?
¿Cerveza? ¿Barras bravas? Les queda respirar, abrir los ojos, descubrir las
raíces del horror, inventar paz así sea a ponchazos entenderse con la
naturaleza y con la lluvia y los relámpagos y con el sentimiento y con la
muerte esa loca de atar y desatar.*

*¿Qué les queda por probar a los jóvenes en este mundo de consumo y humo?
¿Vértigo? ¿Asaltos? ¿Discotecas? También les queda discutir con dios
tanto si existe como si no existe tender manos que ayudan, abrir puertas, entre
el corazón propio y ajeno, sobre todo les queda hacer futuro a pesar de los
ruines de pasado y los sabios granujas del presente.*

Mario Benedetti

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi casa de estudios., en particular a la Facultad de Química y el ICMyL por darme cobijo.

A la Dra. Leticia Rosales Hoz por su aprecio, cariño y amistad, por todo este tiempo brindado, por su confianza, por su apoyo incondicional, por permitirme conocerla, no hay palabras para brindar mi gratitud.

Al programa de apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica PAPPIT por el apoyo otorgado para la realización de este proyecto llamado: "Determinación de metales en arrecifes y sedimentos del sistema arrecifal veracruzano", No. IN104705-2, del cual se desprende esta tesis.

A la bióloga Elvira Carvajal, Directora del Parque Nacional SAV, por la autorización en la colecta de las muestras.

A las autoridades del acuario de Veracruz por el uso de las instalaciones.

A la Secretaría de Marina por el personal, las facilidades y atenciones en la realización de este trabajo

A la QFB. Susana Santiago por su amistad y apoyo incondicional, mil gracias.

Al personal del posgrado por guiarme por el buen camino.

A los miembros del comité tutorial: Dra. Lilitiana Saldivar Osorio, Dr. Federico Paéz Osuna, Carlos René Green Ruiz, Dr. Jesús Gracia Mora, por enderezar mi camino cuando más chueco andaba, por su paciencia y sus sugerencias, mi respeto y admiración por siempre.

A mis compañeros de la secundaria técnica 96, a la Lic. Araceli Trujillo por su comprensión.

MIL GRACIAS A TODOS ELLOS Y A LOS QUE SE HAN CRUZADO EN MI CAMINO.

"Prueba superada"

ÍNDICE

<u>CAPÍTULO</u>	ÍNDICE	<u>PÁGINA</u>
<u>I. INTRODUCCIÓN</u>		<u>1</u>
A) <u>Material suspendido</u>		<u>4</u>
B) <u>Sedimento</u>		<u>5</u>
C) <u>Arrecifes de coral</u>		<u>6</u>
<u>I.1. Hipótesis</u>		<u>11</u>
<u>I.2. Importancia</u>		<u>11</u>
<u>I.3. Objetivos</u>		<u>11</u>
<u>II. ANTECEDENTES</u>		<u>12</u>
<u>II.1. Metales</u>		<u>13</u>
<u>II.1.A. Elementos mayoritarios</u>		<u>14</u>
<u>II.1.B. Metales “traza”</u>		<u>17</u>
<u>II.2. Fuentes de origen de los metales</u>		<u>21</u>
<u>III. ÁREA DE ESTUDIO</u>		<u>24</u>
<u>III.1. Golfo de México</u>		<u>25</u>
<u>III.2. Estado de Veracruz y Ciudad de Veracruz</u>		<u>25</u>
<u>III.2.A. Clima</u>		<u>26</u>
<u>III.2.B. Hidrología</u>		<u>27</u>
<u>III.2.C. Litología</u>		<u>29</u>
<u>III.2.D. Plantas de tratamiento</u>		<u>29</u>
<u>III.2.E. Actividades portuarias</u>		<u>30</u>
<u>III.2.F. Actividades económicas</u>		<u>32</u>
<u>III.3. Sistema arrecifal veracruzano</u>		<u>34</u>
<u>III.4. Arrecife La Gallega y Galleguilla</u>		<u>37</u>
<u>IV. METODOLOGÍA</u>		<u>39</u>
<u>IV.1. Trabajo de campo</u>		<u>40</u>
<u>IV.2. Trabajo de laboratorio</u>		<u>44</u>
<u>IV.2.A. AGUA DE MAR</u>		<u>44</u>
<u>IV.2.A.1. Determinación de carbono orgánico total (TOC) en agua de mar</u>		<u>44</u>
<u>IV.2.A.2. Análisis de metales disueltos en agua de mar</u>		<u>45</u>
A) <u>Preconcentración del agua de mar</u>		<u>45</u>

<i>B) <u>Determinación de metales en agua de mar</u></i>	<u>46</u>
<u>IV.2.B. MATERIAL SUSPENDIDO</u>	<u>48</u>
<i>IV.2.B.1. <u>Cuantificación del material suspendido</u></i>	<u>48</u>
<i>IV.2.B.2. <u>Análisis de metales en material suspendido</u></i>	<u>49</u>
<i>A) <u>Digestión de filtros con el material suspendido para el análisis de metales</u></i>	<u>49</u>
<i>B) <u>Análisis por espectroscopia de absorción atómica con horno de grafito y con flama.</u></i>	<u>49</u>
<u>IV.2.C. SEDIMENTO</u>	<u>52</u>
<i>IV.2.C.1. <u>Granulometría</u></i>	<u>52</u>
<i>IV.2.C.2. <u>Preparación de muestras</u></i>	<u>52</u>
<i>IV.2.C.3. <u>Determinación de carbonatos</u></i>	<u>52</u>
<i>IV.2.C.4. <u>Determinación de materia orgánica</u></i>	<u>53</u>
<i>IV.2.C.5. <u>Determinación de metales en sedimento</u></i>	<u>55</u>
<i>A) <u>Extracción de metales</u></i>	<u>56</u>
<i>B) <u>Análisis de metales “traza”</u></i>	<u>57</u>
<u>IV.3. Trabajo de gabinete</u>	<u>59</u>
<i>IV.3.A. <u>Estadística descriptiva.</u></i>	<u>59</u>
<i>IV.3.B. <u>Distribución de variables.</u></i>	<u>61</u>
<i>IV.3.C. <u>Normalización.</u></i>	<u>62</u>
<u>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	<u>64</u>
<u>V.1. AGUA DE MAR</u>	<u>67</u>
<i>V.1.A. <u>Parámetros fisicoquímicos</u></i>	<u>68</u>
<i>V.1.A.1. <u>Salinidad, conductividad y sólidos totales disueltos</u></i>	<u>68</u>
<i>V.1.A.2. <u>Temperatura</u></i>	<u>71</u>
<i>V.1.A.3. <u>pH</u></i>	<u>73</u>
<i>V.1.A.4. <u>Oxígeno disuelto</u></i>	<u>75</u>
<i>V.1.A.5. <u>Carbono orgánico total (TOC)</u></i>	<u>78</u>
<i>V.1.B. <u>Metales “traza”</u></i>	<u>80</u>
<i>V.1.B.1. <u>Cobre</u></i>	<u>81</u>
<i>V.1.B.2. <u>Cromo</u></i>	<u>83</u>
<i>V.1.B.3. <u>Hierro</u></i>	<u>85</u>
<i>V.1.B.4. <u>Níquel</u></i>	<u>87</u>

	Índice
<u>V.1.B.5. Plomo</u>	<u>90</u>
<u>V.1.B.6. Vanadio</u>	<u>92</u>
<u>V.2. MATERIAL SUSPENDIDO</u>	<u>94</u>
<u>V.2.A. Cuantificación del material suspendido</u>	<u>95</u>
<u>V.2.B. Elementos mayoritarios y “traza” en material suspendido</u>	<u>98</u>
<u>V.2.B.1. Aluminio en material suspendido</u>	<u>98</u>
<u>V.2.B.2. Calcio en material suspendido</u>	<u>101</u>
<u>V.2.B.3. Hierro en material suspendido</u>	<u>104</u>
<u>V.2.B.4. Manganeso en material suspendido</u>	<u>106</u>
<u>V.2.B.5. Cobre en material suspendido</u>	<u>108</u>
<u>V.2.B.6. Cromo en material suspendido</u>	<u>110</u>
<u>V.2.B.7. Níquel en material suspendido</u>	<u>112</u>
<u>V.2.B.8. Plomo en material suspendido</u>	<u>114</u>
<u>V.2.B.9. Vanadio en material suspendido</u>	<u>116</u>
<u>V.2.C. Integración de datos</u>	<u>119</u>
<u>V.2.C.1. Febrero</u>	<u>119</u>
<u>V.2.C.2. Junio</u>	<u>124</u>
<u>V.3. SEDIMENTOS</u>	<u>130</u>
<u>V.3.A. Granulometría</u>	<u>130</u>
<u>V.3.B. Carbonatos</u>	<u>133</u>
<u>V.3.C. Materia orgánica</u>	<u>135</u>
<u>V.3.D. Elementos mayoritarios y “traza”</u>	<u>137</u>
<u>V.3.D.1. Elementos mayoritarios</u>	<u>138</u>
<u>V.3.D.2. Elementos “traza”</u>	<u>141</u>
<u>V.3.D.3. Relación entre variables (Correlación de Pearson)</u>	<u>147</u>
<u>V.3.D.4. Factor de enriquecimiento</u>	<u>149</u>
<u>VI. CONCLUSIONES</u>	<u>153</u>
<u>VII. BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>156</u>

<u>TABLA</u>	ÍNDICE DE TABLAS	<u>PÁGINA</u>
1.	<u>Tipos de partículas en sedimentos (Horowitz, 1991).</u>	<u>6</u>
2.	<u>Concentraciones de metales en sedimentos (mg/Kg; * %).</u>	<u>16</u>
3.	<u>Concentración de metales en el material suspendido (mg/ Kg).</u>	<u>18</u>
4.	<u>Concentraciones de metales disueltos en agua de mar (µg/L).</u>	<u>20</u>
5.	<u>Plantas de tratamientos del municipio de Veracruz.</u>	<u>30</u>
6.	<u>Reporte de carga del API (Enero-Junio) 2005.</u>	<u>31</u>
7.	<u>Sistema arrecifal veracruzano. Características fisiográficas. Sección Veracruz (Puertobuceo).</u>	<u>35</u>
8.	<u>Sistema arrecifal veracruzano. Características fisiográficas. Sección Antón Lizardo (Puertobuceo).</u>	<u>35</u>
9.	<u>Condiciones del programa para metales en agua de mar (Varian, 1988).</u>	<u>47</u>
10.	<u>Limites de detección estimados para metales en agua de mar.</u>	<u>47</u>
11.	<u>Validación del método para agua de mar</u>	<u>48</u>
12.	<u>Condiciones de extracción de metales en material suspendido (Cerón, 2004).</u>	<u>49</u>
13.	<u>Condiciones del programa para el análisis de metales en material suspendido (Varian, 1988 y 1989).</u>	<u>50</u>
14.	<u>Limites de detección estimados para material suspendido.</u>	<u>51</u>
15.	<u>Validación del método por absorción atómica por flama (calcio y hierro) y horno de grafito para material suspendido.</u>	<u>51</u>
16.	<u>Resultados de la validación del método para carbonatos</u>	<u>53</u>
17.	<u>Resultados de la validación del método carbono orgánico</u>	<u>55</u>
18.	<u>Trazabilidad del estándar AGV-1 para los elementos mayoritarios.</u>	<u>56</u>
19.	<u>Métodos de extracción de metales en sedimentos empleados en este estudio (Loring y Rantala, 1992).</u>	<u>57</u>
20.	<u>Condiciones del programa para el análisis de metales en sedimentos (Varian, 1988 y 1989).</u>	<u>58</u>
21.	<u>Limites de detección estimados para sedimentos.</u>	<u>58</u>
22.	<u>Validación del método por absorción atómica por flama y horno de grafito (níquel y plomo) para el análisis de metales en sedimentos.</u>	<u>59</u>
23.	<u>Formulas estadísticas (Valcárcel, 1999).</u>	<u>60</u>

24. <u>Batimetría del área de estudio</u>	<u>66</u>
25. <u>Salinidad de febrero y junio en las aguas del área de estudio</u>	<u>68</u>
26. <u>Prueba de t para la salinidad</u>	<u>68</u>
27. <u>Sólidos totales disueltos y conductividad en el área de estudio</u>	<u>71</u>
28. <u>Temperatura de las aguas del área de estudio</u>	<u>72</u>
29. <u>pH de las aguas del área de estudio</u>	<u>74</u>
30. <u>Prueba de t para el pH</u>	<u>75</u>
31. <u>Oxígeno disuelto (mL/L) de las aguas del área de estudio</u>	<u>75</u>
32. <u>Prueba de t para el oxígeno disuelto.</u>	<u>76</u>
33. <u>Carbono orgánico total (ppm) de las aguas del área de estudio</u>	<u>78</u>
34. <u>Concentración de cobre disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio</u>	<u>81</u>
35. <u>Concentración de cromo disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio.</u>	<u>83</u>
36. <u>Concentración de hierro disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio.</u>	<u>86</u>
37. <u>Concentración de níquel disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio.</u>	<u>88</u>
38. <u>Concentración de plomo disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio.</u>	<u>90</u>
39. <u>Concentración de vanadio disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio.</u>	<u>93</u>
40. <u>Concentración del material suspendido en las aguas del área de estudio.</u>	<u>95</u>
41. <u>Prueba de t para el material suspendido.</u>	<u>96</u>
42. <u>Aluminio particulado en el área de estudio</u>	<u>98</u>
43. <u>Prueba de t para el aluminio particulado</u>	<u>99</u>
44. <u>Calcio particulado en el área de estudio</u>	<u>101</u>
45. <u>Prueba de t para el calcio particulado suspendido</u>	<u>102</u>
46. <u>Hierro particulado en el área de estudio</u>	<u>104</u>
47. <u>Manganeso particulado en el área de estudio</u>	<u>106</u>
48. <u>Cobre particulado en el área de estudio</u>	<u>108</u>
49. <u>Cromo particulado en el área de estudio</u>	<u>110</u>
50. <u>Níquel particulado en el área de estudio</u>	<u>113</u>
51. <u>Plomo particulado en el área de estudio</u>	<u>115</u>

52. <u>Vanadio particulado en el área de estudio</u>	<u>117</u>
53. <u>Coeficientes de correlación de Pearson (r). Febrero-Superficie</u>	<u>120</u>
54. <u>Coeficientes de correlación de Pearson (r). Febrero-Fondo</u>	<u>121</u>
55. <u>Coeficientes de correlación de Pearson (r). Febrero (Superficie-Fondo)</u>	<u>122</u>
56. <u>Coeficientes de correlación de Pearson (r). Junio-Superficie</u>	<u>125</u>
57. <u>Coeficientes de correlación de Pearson (r). Junio-Fondo</u>	<u>126</u>
58. <u>Coeficientes de correlación de Pearson (r). Junio (Superficie-Fondo)</u>	<u>127</u>
59. <u>Comparación de concentraciones de los metales particulados en el área con otros estudios (mg/Kg; *%)</u>	<u>130</u>
60. <u>Comparación de concentraciones de los metales disueltos en el área con otros estudios (µg/L).</u>	<u>130</u>
61. <u>Granulometría de los sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>131</u>
62. <u>Resumen de resultados de la concentración de carbonatos en los sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>134</u>
63. <u>Resumen de resultados de la concentración de carbono orgánico en los sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>136</u>
64. <u>Resumen de resultados. Elementos mayoritarios (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>138</u>
65. <u>Concentración de elementos mayoritarios (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio recolectados en febrero</u>	<u>139</u>
66. <u>Concentración de elementos mayoritarios (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio recolectados en junio</u>	<u>140</u>
67. <u>Resumen de resultados. Concentración de metales “traza” (ppm) en los sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>142</u>
68. <u>Tabla de correlación (r). Febrero.</u>	<u>148</u>
69. <u>Tabla de correlación (r). Junio.</u>	<u>149</u>
70. <u>Factores de enriquecimiento. Febrero.</u>	<u>151</u>
71. <u>Factores de enriquecimiento. Junio</u>	<u>152</u>
72. <u>Comparación de concentraciones de los metales en sedimentos superficiales en el área con otros estudios..</u>	<u>152</u>

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
1. <u>Coral suave.</u>	<u>7</u>
2. <u>Tipos de arrecifes coralinos (Schuhmacher, 1978). a) Arrecife costero, b) Arrecife de barrera (en la costa un pequeño arrecife costero), c) arrecife plataforma, d) Atolón.</u>	<u>8</u>
3. <u>Composición morfológica y estructural de un arrecife costero con laguna (Schuhmacher, 1978).</u>	<u>10</u>
4. <u>Provincias geomorfológicas (de la Lanza, 2001).</u>	<u>25</u>
5. <u>Hidrología (Consejo de Recursos Minerales, 1994)</u>	<u>28</u>
6. <u>Fuentes de energía (Consejo de Recursos Minerales, 1994)</u>	<u>33</u>
7. <u>Sistema arrecifal veracruzano (Puertobuceo)</u>	<u>34</u>
8. <u>Área de estudio</u>	<u>38</u>
9. <u>Red de estaciones (*) del área de estudio.</u>	<u>41</u>
10. <u>Distribución de la batimetría (m) en el área de estudio.</u>	<u>67</u>
11. <u>Salinidad de las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>69</u>
12. <u>Salinidad de las aguas del área de estudio en junio.</u>	<u>70</u>
13. <u>Temperatura de las aguas del área de estudio en febrero.</u>	<u>72</u>
14. <u>Temperatura de las aguas del área de estudio en junio.</u>	<u>73</u>
15. <u>Oxígeno disuelto (mL/L) en las aguas del área de estudio en febrero.</u>	<u>76</u>
16. <u>Oxígeno disuelto (mL/L) en las aguas del área de estudio en junio.</u>	<u>77</u>
17. <u>Carbono orgánico total (ppm) en las aguas del área de estudio en febrero.</u>	<u>79</u>
18. <u>Carbono orgánico total (ppm) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>80</u>
19. <u>Concentraciones del cobre disuelto (ppb) en las aguas superficiales del área de estudio</u>	<u>82</u>
20. <u>Concentraciones del cobre disuelto (ppb) en las aguas superficiales del área de estudio</u>	<u>82</u>
21. <u>Concentraciones de cromo disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>84</u>
22. <u>Concentraciones de cromo disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>85</u>
23. <u>Concentraciones de hierro disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>86</u>

24. <u>Concentraciones de hierro disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>87</u>
25. <u>Concentraciones de níquel disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>88</u>
26. <u>Concentraciones de níquel disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>89</u>
27. <u>Concentraciones de plomo disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>91</u>
28. <u>Concentraciones de plomo disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>92</u>
29. <u>Concentraciones de vanadio disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>93</u>
30. <u>Concentraciones de vanadio disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>94</u>
31. <u>Material suspendido (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>96</u>
32. <u>Material suspendido (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>97</u>
33. <u>Aluminio particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>100</u>
34. <u>Aluminio particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>100</u>
35. <u>Calcio particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>102</u>
36. <u>Calcio particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>103</u>
37. <u>Hierro particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>104</u>
38. <u>Hierro particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>105</u>
39. <u>Manganeso particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>107</u>
40. <u>Manganeso particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>107</u>
41. <u>Cobre particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>109</u>
42. <u>Cobre particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>109</u>
43. <u>Cromo particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>111</u>
44. <u>Cromo particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>112</u>
45. <u>Níquel particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>113</u>
46. <u>Níquel particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>114</u>
47. <u>Plomo particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>115</u>

48. <u>Plomo particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>116</u>
49. <u>Vanadio particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero</u>	<u>118</u>
50. <u>Vanadio particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio</u>	<u>118</u>
51. <u>Dendograma de las variables. Febrero (Superficie-Fondo).</u>	<u>123</u>
52. <u>Dendograma de las estaciones. Febrero, a) Superficie; b) Fondo.</u>	<u>124</u>
53. <u>Dendograma de las variables. Junio (Superficie-Fondo).</u>	<u>128</u>
54. <u>Dendograma de las estaciones. Junio, a) Superficie; b) Fondo.</u>	<u>129</u>
55. <u>Mapas de distribución de arenas (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>131</u>
56. <u>Mapas de distribución de limos (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>132</u>
57. <u>Mapas de distribución de arcillas (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>133</u>
58. <u>Mapas de distribución de carbonatos (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>135</u>
59. <u>Mapas de distribución de carbono orgánico (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>137</u>
60. <u>Concentración de elementos mayoritarios (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>138</u>
61. <u>Tipos de sedimento, en los sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>141</u>
62. <u>Distribución de cobre (ppm) en sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>143</u>
63. <u>Distribución de cromo (ppm) en sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>144</u>
64. <u>Distribución de níquel (ppm) en sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>145</u>
65. <u>Distribución de vanadio (ppm) en sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>145</u>
66. <u>Distribución de zinc (ppm) en sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>146</u>
67. <u>Distribución de plomo (ppm) en sedimentos superficiales del área de estudio</u>	<u>147</u>
68. <u>Mapa de ubicación de la estación de referencia.</u>	<u>150</u>

<u>DIAGRAMA</u>	ÍNDICE DE DIAGRAMAS	<u>PÁGINA</u>
1.	<u>Papel de las partículas suspendidas en los procesos biogeoquímicos (Turner y Millward, 2002).</u>	<u>3</u>
2.	<u>Representación de la ruta de los metales en el ambiente (Fong, 1982).</u>	<u>13</u>
3.	<u>Proceso de preconcentración de metales en el agua de mar (Batterham, 1996).</u>	<u>46</u>
4.	<u>Procedimiento general para separar y analizar los metales en el material suspendido.</u>	<u>48</u>
5.	<u>Determinación de carbono orgánico en sedimentos superficiales.</u>	<u>54</u>

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras tienen gran importancia económica, debido a que son regiones de alta productividad biológica y de reservas de hidrocarburos, así como de desarrollo turístico. Lo anterior ha causado un desarrollo industrial y urbano acelerado en estas zonas. Aunado a ello, el crecimiento en la población ha originado el aumento de las necesidades básicas, lo que ha traído como resultado la desmedida deforestación para extender las tierras de cultivo, produciendo la erosión continental y una mayor descarga de sedimentos al área costera. Las actividades humanas asociadas a descargas urbanas (con alto contenido de materia orgánica, coliformes, etc.), descargas industriales (que contienen metales, hidrocarburos, entre otros) y la explotación desmedida de los recursos vivos (pesquería, turismo, actividades portuarias, etc.); han traído como consecuencia la afectación de los ambientes costeros.

El estado de Veracruz tiene una gran importancia industrial, comercial y turística al igual que muchas otras regiones de la República Mexicana. El puerto de Veracruz localizado en la porción media del estado, es uno de los más importantes del país; sin embargo, son pocos los estudios en la región costera adyacente al Puerto de Veracruz y el acelerado desarrollo industrial y urbano del área hace muy importante un estudio químico que permita conocer las condiciones de la misma. Adicionalmente, la costa de Veracruz cuenta con la presencia de arrecifes de coral, los cuales son importantes por la alta diversidad biológica asociada a ellos y por servir de barrera protectora de huracanes y tormentas a la costa.

Actualmente en el mundo globalizado, el intercambio comercial entre los países ha aumentado considerablemente, por consecuencia la demanda de puertos más grandes es cada día mayor, por lo que se requiere de un puerto alternativo en la ciudad de Veracruz; donde se han considerado tres opciones como lugares alternativos: Bahía de Vergara, Alvarado y Antón Lizardo. De estas opciones se han mencionado sus puntos a favor y en contra; de acuerdo a Carranza (2002): la primera opción no es viable porque contribuiría al incremento del tráfico

automotriz del congestionado puerto; la segunda porque pone en riesgo al sistema natural de la Laguna de Alvarado; la de Antón Lizardo es la mejor opción; sin embargo, se deben realizar una serie de estudios ambientales. De acuerdo a lo publicado en los diarios nacionales, el gobierno ha decidido ampliar el puerto de Veracruz hacia el área conocida como Bahía de Vergara, en esta área se localizan los arrecifes de La Gallega y Galleguilla que forman parte del sistema arrecifal veracruzano. Adicionalmente, en esta área se ubica la planta de tratamiento de aguas negras de la ciudad de Veracruz que descarga en esta zona, cabe la probabilidad de que esté causando graves problemas, contribuyendo a la variación de las características fisicoquímicas de las aguas de los arrecifes.

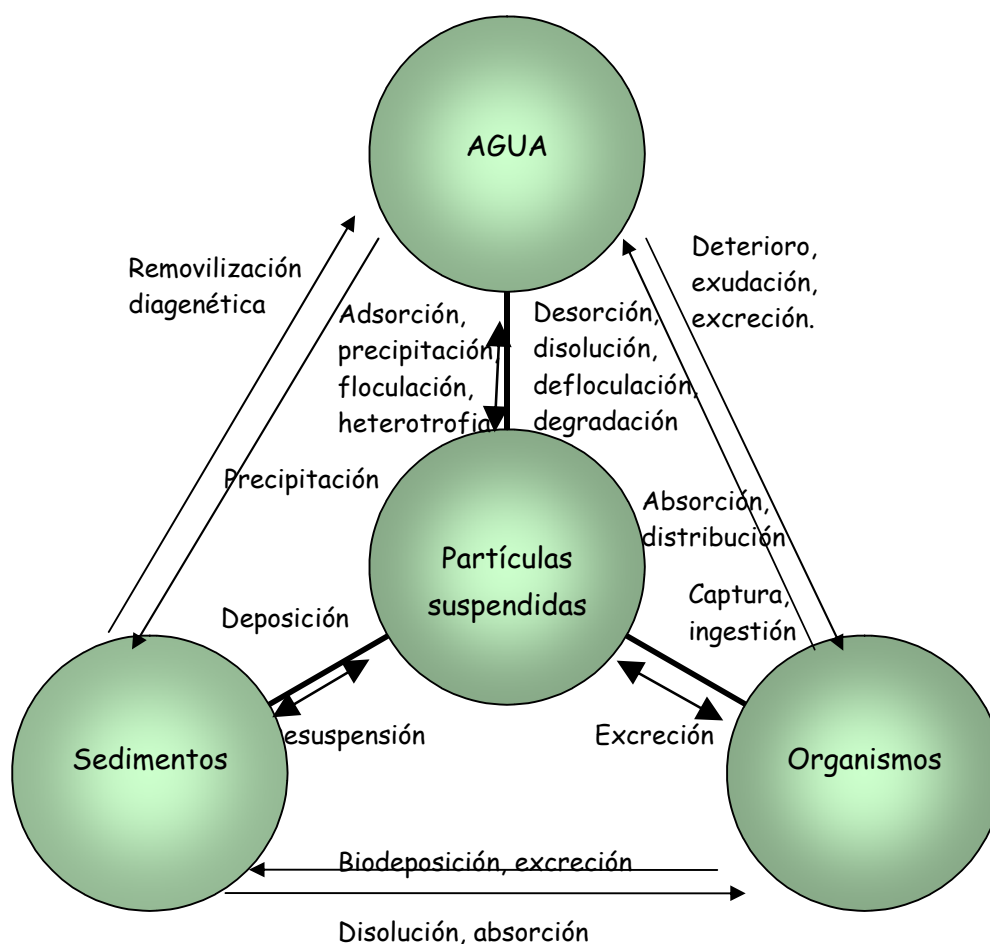


Diagrama 1. Papel de las partículas suspendidas en los procesos biogeoquímicos (Turner y Millward, 2002).

Dada la importancia de los arrecifes y su evidente alteración, es de fundamental importancia realizar estudios que permitan evaluar las condiciones actuales de esta zona. El estudio de los metales contenidos en los sedimentos, en el agua de mar y el material suspendido; permite inferir los procesos que se llevan a cabo en el área. La inter-relación entre el agua de mar, partículas suspendidas y los sedimentos es muy alta como se muestra en el diagrama 1.

A) MATERIAL SUSPENDIDO

El material suspendido en la columna de agua se define como el material retenido al filtrar el agua a través de filtros con un tamaño de poro de $0.45 \mu\text{m}$, que incluye pequeñas partículas en suspensión con un rango de medida que va de pequeños granos hasta detritus que son visibles a simple vista (Harris, 1972).

De acuerdo a su origen, el material suspendido se puede dividir en 6 tipos (Harris, 1972):

- a) Partículas nativas adquiridas en el océano por ríos, corrientes de viento o resultado de la erosión costera.
- b) Partículas orgánicas asociadas con procesos biológicos, agregados formados por materia orgánica disuelta, bacterias y nanoplancton viviente ($<50 \mu\text{m}$); con microplancton ($50-1000 \mu\text{m}$).
- c) Partículas inorgánicas producto de organismos vivos o restos de ellos.
- d) Partículas resultado de procesos químicos, semejante a la precipitación de carbonato de calcio o formación coloidal de hidróxidos.
- e) Partículas volcánicas resultado de erupciones.
- f) Partículas resultado de procesos biológicos humanos, como desechos fecales.

La composición y distribución de este material se encuentra estrechamente ligado con las condiciones físicas, geográficas del medio; así como a las actividades que se practiquen en el área, al igual que con las propiedades químicas, hidrológicas y biológicas del mar (Harris, 1972).

B) SEDIMENTO

El sedimento se define como el material sólido fragmentado que se origina del intemperismo de las rocas. El sedimento es transportado o depositado por el aire, agua, hielo o por acumulación de otros agentes naturales; tales como la precipitación química que forma capas sobre la superficie de los fondos marinos. Los componentes del sedimento pueden ser orgánicos o inorgánicos (Morales, 2000).

Existen diversas clasificaciones de los sedimentos oceánicos una de ellas es la que se agrupa en dos amplias categorías, de acuerdo a la zona en que son depositados: del mar-profundo y costeros; difiriendo en ambos medios, la interfase agua-sedimento; a su vez los sedimentos marino-profundos pueden ser divididos en dos tipos: pelágicos y no-pelágicos (Riley y Chester, 1989).

Los sedimentos pueden ser de origen terrígeno, antropogénico, biogénico o autigénico; y de acuerdo a sus componentes los sedimentos se clasifican en (Sandoval, 2000):

- a) Litogénicos, terrígenos o detríticos: se componen de fragmentos de rocas, son derivados del continente por intemperismo y transportados por hielo, ríos o viento.
- b) Hidrogénico: derivados de precipitados inorgánicos, formados del agua de mar o el agua de la interfase en áreas cercanas a la costa o mar adentro.
- c) Biogénicos: debidos a la degradación de los tejidos y todo tipo de excretas del material vivo. Dependen de la disponibilidad de los nutrientes o también son producto de la dispersión.
- d) Diagenéticos: son producto de reacciones químicas, en ocasiones pueden estar formados por manganeso, hierro y otros óxidos metálico, tales como, sulfato de bario, aluminosilicatos y fosfatos, además puede intervenir la actividad biológica.
- e) Vulcanogénicos: son resultado de erupciones, estos sedimentos tienen una contribución significativa en algunas áreas, como por ejemplo el Mediterráneo, el Golfo de Alaska y el Atlántico Norte (Riley y Chester, 1989).

Los sedimentos, también, pueden ser clasificados de acuerdo al tamaño de las partículas. Esta clasificación la realizó Shepard (1954) y consiste en separar a los sedimentos en cuatro grupos de partículas: arcillas, limos, arenas y gravas. Las arcillas presentan un tamaño menor a 4 μm ; los limos tienen un tamaño que va de 4 a 62.5 μm ; las arenas tienen un tamaño de 62.5 hasta 2000 μm y las gravas un tamaño mayor a 2000 μm (Morales, 2000).

El tamaño de partícula es un factor físico que se determina debido al efecto que tiene en la composición química del sedimento, ya que tiene la capacidad de concentrar y retener los elementos traza. Por lo anterior, es de suma importancia conocer las clases de partículas y los rangos de tamaño que presentan (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de partículas en sedimentos (Horowitz, 1991).

Partículas	Tamaño		Partículas	Tamaño	
Nombre	Milímetros	Micrómetros	Nombre	Milímetros	Micrómetros
Peñascos	>256		Mediana		500-250
Guijarros			Fina		250-125
Grandes	256-128		Muy fina		125-62.5
Pequeños	128-64			Limo	
Grava			Gruesa		62.5-31
Muy gruesa	64-32		Mediana		31-16
Gruesa	32-16		Fina		16-8
Mediana	16-8		Muy fina		8-4
Fina	8-4			Arcilla	
Muy fina	4-2		Gruesa		4-2
Arena			Mediana		2-1
Muy gruesa		2000-1000	Fina		1-0.5
Gruesa		1000-500	Muy fina		0.5-0.25

C) ARRECIFES DE CORAL

Un arrecife de coral es una estructura de piedra caliza, que proporciona refugio para casi una cuarta parte de toda la vida marina que hay en los mares; por lo que es uno de los más grandes y complejos ecosistemas del planeta, siendo hogar de más de 4000 especies de peces, 700 especies de coral y miles de otras plantas y animales. Un arrecife coralino está formado por diferentes variedades de coral, algas, esponjas, sedimentos y moluscos, es uno de los ecosistemas más antiguos del planeta, algunos tienen más de 10 mil años. Las primeras etapas de la evolución del arrecife de coral comenzaron hace 400 millones de años. También, se estima que los arrecifes de coral cubren una superficie de 600 mil Km² en el Pacífico, el Índico, el Caribe y el Mar Rojo, especialmente entre los trópicos de Cáncer y Capricornio; se pueden encontrar donde fluyen las corrientes cálidas como en Florida y en el sur de Japón (Schuhmacher, 1978).

Las colonias de coral son estructuras complejas compuestas por muchas capas de pólipos y otros organismos muertos, y sobre ellos una fina capa de organismos vivos (Schuhmacher, 1978). El arrecife funciona como un moderador de condiciones ambientales extremas y como un favorecedor del crecimiento de las especies que lo forman. La capacidad de la comunidad coralina de transformar el ambiente donde se desarrolla, genera una alta heterogeneidad espacial que favorece una alta diversidad biológica. Esto le permite a la comunidad coralina alcanzar altos niveles de productividad, sostenida en el ámbito de ecosistema marino a pesar de que se desarrolla en mares oligotróficos (Jordán, 1993).



Figura 1. Coral suave

Hay dos tipos de coral, por lo que es confundido como planta o roca: el coral duro, cuya estructura de carbonato de calcio (también conocido como piedra caliza) forma los arrecifes de coral (ejemplo: coral cerebro) y el coral suave, que por su forma y flexibilidad se asemeja más a

las plantas (Figura 1). El carbonato de calcio se encuentra siempre en la forma cristalina de *aragonito* (Schuhmacher, 1978).

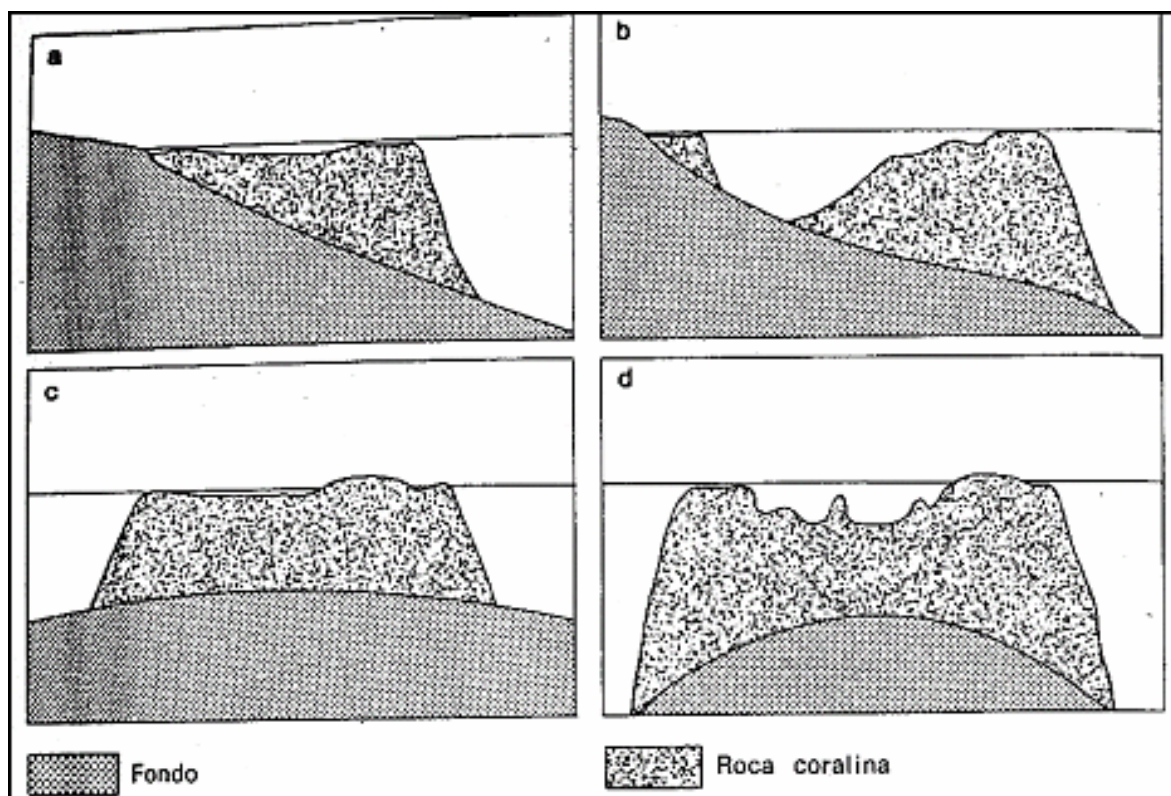


Figura 2. Tipos de arrecifes coralinos (Schuhmacher, 1978). a) Arrecife costero, b) Arrecife de barrera (en la costa un pequeño arrecife costero), c) arrecife plataforma, d) Atolón.

Los arrecifes de coral crecen principalmente en aguas cálidas, aunque los corales suaves pueden hacerlo en temperaturas más altas o más bajas, pero con una tasa de crecimiento mucho más lenta. Su crecimiento varía según la especie, siendo de 5 mm por año la variedad que menos crece. Su desarrollo más importante es en aguas poco profundas (hasta los 12 m), aunque podemos encontrarlos hasta una profundidad de 90 m. Un arrecife puede tener solo 1 o 2 metros de grueso o como muchas regiones puede haber una gran acreción de piedra caliza de cientos a miles de metros de profundidad. No son aptos para el agua dulce, por lo que no se encuentran cerca de las desembocaduras de los ríos (Prager, 2001).

Un arrecife se divide en tres grandes zonas las cuales son fáciles de apreciar *in situ*, ya que

toma su nomenclatura de características muy notables. Las zonas son:

- Arrecife por Barlovento: Se refiere a la parte del arrecife donde es más intenso el oleaje. También se le denomina Arrecife Frontal. Su profundidad es del orden de los 30 metros.
- Arrecife Somero: Es la zona baja o somera del arrecife. Su profundidad va de 0 a 2 metros.
- Arrecife por Sotavento: Identificada como la parte protegida del arrecife. Su profundidad puede llegar a los 18 metros.

Estas zonas arrecifales se pueden dividir a su vez en zonas más pequeñas, que ya no son tan fáciles de delimitar puesto que toman sus características de la fauna dominante o de los crecimientos característicos; así se puede hablar de la zona de octocorales o corales blandos (gorgonáceos), de la zona de *Acropora*, de la zona de platos de hexacorales (por el crecimiento en forma de platos de los corales constructores arrecifales) o de la zona del cementerio de *Acropora cervicornis* (por la abundancia de pedacería de este coral). Podemos encontrar cuatro tipos de arrecife (Schuhmacher, 1978):

- El arrecife costero o litoral marginal, que es estrecho y la colonia se establece a poca distancia de la costa. Tiene una forma de atril y está compuesto de carbonato cálcico. Los corales vivos aparecen redondeados hacia fuera. Por la erosión puede formar lagunas (Fig. 2a).
- El arrecife barrera que es mayor de anchura y está alejado del litoral, además de que entre él y la costa hay un canal, un ejemplo es la gran barrera de Queensland en Australia (Fig. 2b).
- El arrecife plataforma, se encuentra rodeado de agua profunda. Puede hallarse sobre la plataforma continental. El contorno de un arrecife plataforma es en general muy alargado y se extiende en todas direcciones por lo que sus dimensiones son muy variables (Fig. 2c).
- Los atolones son arrecifes que rodean una pequeña isla volcánica dejando en el centro una laguna; cuando se encuentran sobre el nivel del agua se convierten entonces en islas coralinas, características del sur del Pacífico y del Índico. Presentan forma anular que encierra una laguna arrecifal. Su tamaño es muy variable. Un ejemplo de un atolón es Suvadiva, en el extremo sur de las Maldivas, con una laguna de 2240 Km² y 70 Km de diámetro (Fig. 2d).

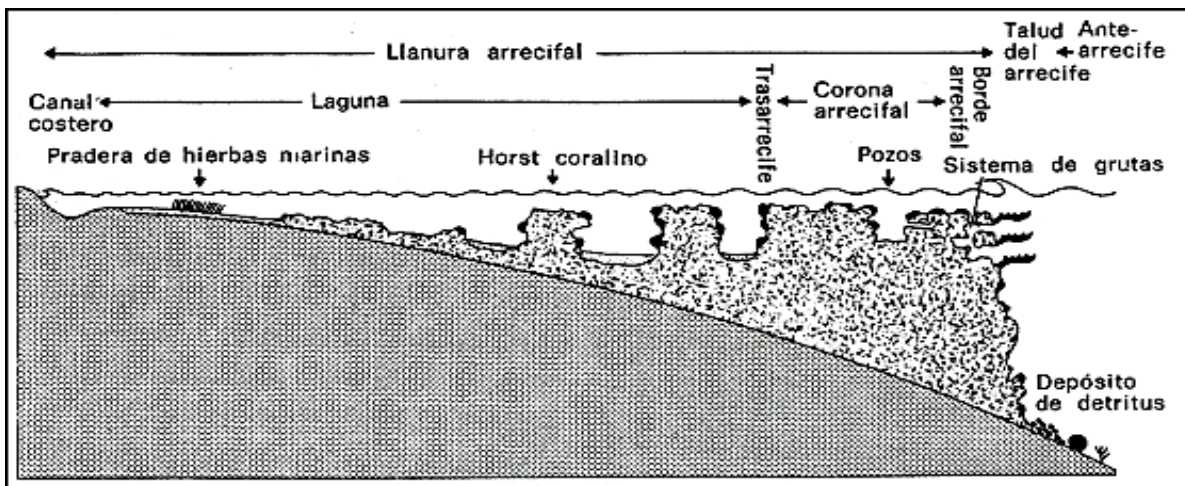


Figura 3. Composición morfológica y estructural de un arrecife costero con laguna (Schuhmacher, 1978).

En los arrecifes se pueden encontrar las siguientes zonas principales (Fig. 3) (Schuhmacher, 1978):

- Llanura arrecifal. Es la cara superior horizontal de la construcción arrecifal total, sin tener en cuenta su estado actual de conservación. La llanura se extiende desde el arrecife costero entre el borde arrecifal del lado marítimo y la costa; en los demás tipos de arrecifes está situada entre los cantos arrecifales de ambos lados.
- Talud arrecifal. Es el lado de la construcción arrecifal que desciende en pendiente o en vertical; en el arrecife de barrera y en el atolón se distingue un talud arrecifal externo del lado del mar, y un talud arrecifal interno del lado de la laguna.
- Borde o canto arrecifal. Es la región estrecha de transición entre la llanura arrecifal horizontal y el talud horizontal que desciende en pendiente o en vertical.
- Antearrecife. Es la región del suelo marino situada del lado del mar delante de la construcción arrecifal propiamente dicha, con crecimiento coralino laxo y bajo; extensión en profundidad hasta el límite de existencia de los corales arrecifales.
- Laguna arrecifal. Es la masa de agua separada del mar abierto por un arrecife; pueden distinguirse: la laguna del atolón, el canal de la laguna del arrecife barrera y la laguna arrecifal hundida en un arrecife costero o un arrecife plataforma.

I.1. HIPÓTESIS

Los arrecifes de la Gallega y Galleguilla del Sistema Arrecifal Veracruzano se encuentran impactados por las descargas antropogénicas (actividades portuarias, descargas municipales, agricultura, etc.), debido a la cercanía al puerto de Veracruz y a la planta de tratamientos de aguas urbanas de la ciudad de Veracruz.

I.2. IMPORTANCIA

El Sistema Arrecifal Veracruzano es importante en cuanto a turismo y riquezas, pero ha pasado a un plano más importante debido a que se tiene el proyecto de ampliar el puerto de Veracruz; es decir, realizar un puerto alternativo. La opción del puerto alternativo traería modificaciones sociales, económicas y ambientales en la región, dentro de las opciones se tiene a la Bahía de Vergara en la cual se encuentran incluidos los arrecifes de La Gallega y Galleguilla, así como Playa Norte.

I.3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el impacto de las descargas continentales en el área inmediata a los arrecifes de La Gallega y Galleguilla del Sistema Arrecifal Veracruzano, a través del estudio integral de las concentraciones de metales en diferentes compartimentos del sistema acuático.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar el contenido de metales en el agua de mar del área de estudio.
- Determinar el contenido de metales en el material suspendido del área de estudio.
- Determinar la concentración de materia orgánica, carbonatos y metales en los sedimentos marinos.
- Evaluar la distribución de los metales en sedimento, material suspendido y agua de mar, en dos épocas distintas (nortes y lluvias) del año, de tal forma que se observe el impacto de las descargas continentales, así como la influencia de temporalidad.

II. ANTECEDENTES

II. ANTECEDENTES

II.1. METALES

Los metales pesados son aquellos elementos con densidades mayores de 5 g/cm^3 (Fong, 1982). La distribución de los metales en el medio ambiente puede seguir distintas rutas dependiendo del entorno en que se encuentren (Diagrama 2). Los metales pueden entrar del ambiente al océano por dos medios: por procesos naturales como son la actividad volcánica, la erosión, incendios de los bosques, etc.; y por procesos derivados de las actividades humanas como son las descargas industriales, urbanas y agrícolas hacia los ríos y la zona costera (Prego et al., 2003).

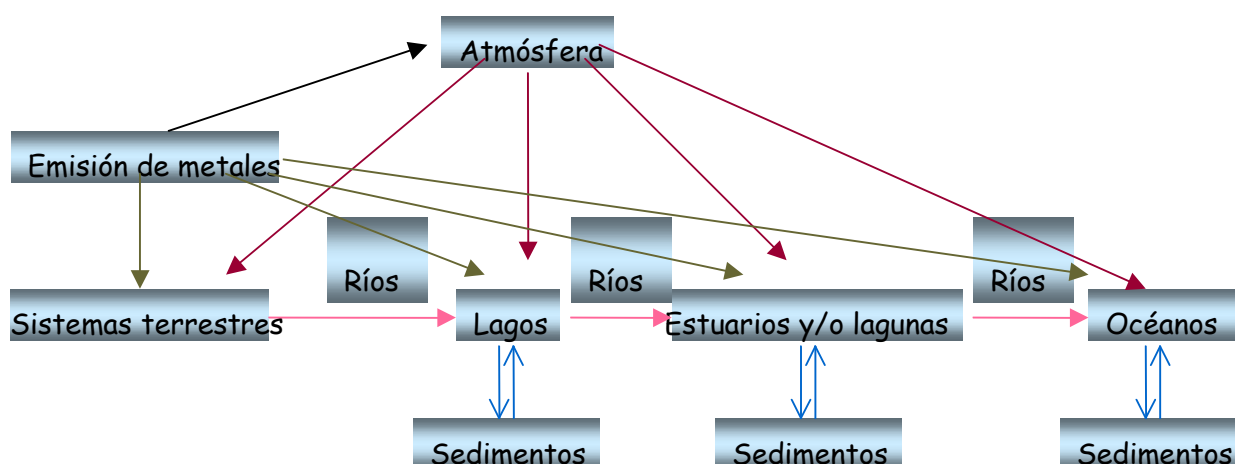


Diagrama 2. Representación de la ruta de los metales en el ambiente (Fong, 1982).

Los metales en los sedimentos se pueden ver afectados por el tipo de actividad que presenta el área. Se pueden ver influenciados por el dragado (Esslemont, 2000); por las actividades humanas (Matthai, 2001; Lafabrie et al., 2007) y las actividades industriales (Sharma et al., 1999). También, la presencia de materia orgánica y materiales arcillosos influyen en la acumulación y transporte de los metales (Glasby et al., 2004), así como la textura del sedimento donde puede predominar desde arenas (Sharma et al., 1999; Matthai, 2001) hasta la fracción fina (Esslemont, 2000). En relación al comportamiento de los metales disueltos y

particulados se han encontrado asociados a las variaciones de los componentes sedimentarios (Fang et al., 2006). No necesariamente deben encontrarse problemas graves de contaminación; sin embargo, se debe tomar en cuenta el crecimiento poblacional y la industrialización (Cheevaporn y Menasveta, 2003).

Los metales como cobre, calcio, aluminio, cromo, manganeso, hierro, níquel, plomo, zinc y vanadio, representan un papel importante en el océano. Lo que se debe considerar sobre las concentraciones de estos metales en relación con los sedimentos marinos, agua de mar o material suspendido es lo siguiente:

II.1.A. ELEMENTOS MAYORITARIOS

ALUMINIO

El aluminio es de origen terrígeno, se encuentra asociado con las arcillas de origen terrígeno como aluminosilicatos (Barak et al, 1997). También, puede ser aportado a los sistemas acuíferos por las descargas industriales. El aluminio en agua de mar se tiene en promedio de 0.5 $\mu\text{g/L}$ (Rodier, 1990) y en sedimentos va de 0.19 a 17.8 4 mg/Kg (Tabla 2).

CALCIO

El calcio se encuentra asociado con el carbonato de calcio de origen biogénico o en las plagioclasas de origen terrígeno, no es tóxico. (Celis, 2006). A través de la relación del calcio y el aluminio es posible diferenciar su origen.

HIERRO

El hierro es un metal muy abundante, ocupa el 4.7 % de la corteza terrestre (Prego et al., 2003). En cuanto a sus funciones, es un micronutriente importante para los organismos, ya que interviene en la productividad del plancton en el océano y de aquí es asociado a los gases causantes del cambio climático (Bowie, et al., 2002). Además, proviene entre otros orígenes, de

desechos industriales y depósitos minerales. En aguas para uso industrial, provoca depósitos en las líneas de agua, calderas, etc., interfiere en el teñido y curtido (Acosta, 1976).

Este metal en estado ferroso es bastante soluble en el agua; precipita debido al desprendimiento del anhídrido carbónico y por oxidación en el aire. Puede existir en solución en estado coloidal y en forma de complejos orgánicos o minerales, principalmente si se utilizan los polifosfatos en el tratamiento del agua (Rodier, 1990).

La toxicidad para la vida acuática es difícil de precisar, pues está en función del estado químico del metal (ferroso o férrico) y de la presencia de precipitado de hidróxido de hierro, que tiende a depositarse en las branquias de los peces (Rodier, 1990).

MANGANESO

El manganeso en la corteza terrestre se encuentra en concentraciones de alrededor de 80-1200 mg/Kg (Prego et al., 2003). El manganeso presente en el agua puede encontrarse con valencias diferentes (II, III y IV), en estado soluble o en suspensión o en forma de complejo; su solubilidad depende del pH, del oxígeno disuelto, de la presencia de agentes complejantes. El manganeso tiene fuentes similares a las del hierro. Este metal puede ser de origen litogénico o antropogénico (Prego et al., 2003).

Ciertas aguas subterráneas contienen cantidades del orden de 1 mg/L y a menudo las aguas superficiales contienen menos de 0.05 mg/L. Las sales de manganeso no pueden considerarse como tóxicas para la vida acuática, a excepción de contenidos muy elevados (Rodier, 1990). En sedimentos marinos se pueden encontrar valores que van de 8.98 a 1150 mg/Kg (Tabla 2) y en material suspendido las concentraciones van de 0.2 a 1930 mg/Kg (Tabla 3).

Tabla 2. Concentraciones de metales en sedimentos (mg/Kg; * %).

Lugar	Al*	Cu	Fe*	Mn	Ni	Pb	Zn	Referencia
Penang, Malasya		9.3-13.8			24.8-46.7	20.8-330	73.5-109.8	Seng et al. (1987)
Golfo de México, (lagunas y ríos)		1.6-46.6	4.02-52.36	22-757.58	0.98-98.4	0.29-33.96	4-227	Vázquez (1995)
Morrococoy, Venezuela	1.01-2.57	6.30-40.28	0.70-2.08	-	-	17.89-35.57	35.02-77.92	Bastidas et al. (1999)
Laguna Madre, EE.UU.	0.5-4.14	0.6-18.5	0.09-0.67	9.7-150	3-24.5	7.5-80.5	4.1-69.8	Sharma et al. (1999)
Queensland, Australia	-	0.42-49.6	-	-		1.5-39.8	1.35-143.8	Esslemont (2000)
Continental shelf. Sydney, Australia.		0.6-19.8				2.4-27.3	4.7-82.4	Matthai (2001)
Mazatlán Harbor, México		7.7-90.9	1.4-9.5		6.1-30.3	14-100	347.8	Soto y Páez (20019)
Laguna Paz, B.J., México		2.51-30.44				23.8-89	2.7-125	Shumilin et al. (2001)
Calabar, Nigeria		0.3-48	0.2-2880	-	1.2-22.5	0.6-30	0.8-27	Akpan et al. (2002)
Galicia Rias	14.58-17.84	16.4-2097	-	24.3-580.5	6-14.5	42.4-1108	97.26-5589	Beiras (2003)
Godavari, Estuary, India	-	9.20	9.60	8.98	10.30	9.75	9.70	Krupadam et al. (2003)
Szczecin Lagoon and the Gdansk Basin, Polonia	3.4-3.5	64-75	3.6-3.8	454-1150	37-38	108-122	762-832	Glasby et al. (2004)
Southwest coast, España		41-336	1.6-3.5	180-576	10-50	20-197	141-649	Morillo et al. (2004)
Sonda de Campeche, Golfo de México		4-27			68-126	0.1-19	47-111	Vázquez y Sharma (2004)
Marshes, California	0.19-5.17	1.68-1.89	0.35-4.69		3.39-94.8	1.56-273	7.41-744	Hwang et al. (2006)
The north-western Mediterranean (France-Italy)					3-1330	4-49		Lafabrie et al. (2007)
Marabasco, Pacific coast of México	2.3-12.7	19.3-96.2	2.6-7		8.5-26.1	2.3-17.8	52.3-179	Marmolejo et al. (2007)
Lagoon-Mediterranean, Turkey	0.19-0.75	5-9	0.18-0.67	80-209	-	5-10	10-24	Tuncel et al. (2007)
the Naples harbour (southern Italy)		12-5743			4-362	19-3083	17-7234	Sprovieri et al. (2007)
Youngil bay, Southeast Coast of Korea	1.8-2	95.6-133.7	2.5-2.6			45.3-53.2	364.7-377	Lee et al. (2008)

II.1.B. METALES "TRAZA"

COBRE

El cobre desempeña un papel importante en los metabolismos biológicos (enzimas). En la corteza terrestre el cobre tiene una concentración aproximada en: rocas ígneas de 50 a 90 ppm; suelos, 20 a 30 ppm; océanos, $\leq 0.3 \mu\text{g/L}$; agua dulce, $\leq 0.01 \mu\text{g/L}$ (Merian, 1991). Las fuentes de este metal pueden ser por las descargas urbanas e industriales (Prego et al., 2003). El cobre proviene de la contaminación industrial, de los tratamientos agrícolas o de la corrosión de las tuberías. De forma natural el cobre forma parte de algunos minerales como: malaquita, calcopirita, cuprita, atacamita, covellina, cobre nativo, etc.

En ciertas aguas naturales puede encontrarse en forma de trazas, es decir inferior a 1 mg/L. Las condiciones de toxicidad varían según las especies químicas y la composición del agua (oxígeno disuelto, anhídrido carbónico, temperatura, calcio, magnesio, etc.) (Sadiq, 1992). En algunas especies de peces los contenidos inferiores a 1 mg/L no parecen tóxicos, excepto para los salmónidos. Por otro lado, la vida acuática puede perturbarse con dosis inferiores (Rodier, 1990).

Las concentraciones del cobre varían de acuerdo al área en cada uno de los estratos (sedimento, material suspendido y agua), por lo que en sedimento hay un rango amplio que va de 0.3 a 2097 mg/Kg (Tabla 2). Para el material suspendido las concentraciones van de 1 a 279 mg/Kg (Tabla 3) y en agua de mar las concentraciones se encontraron de 0.023 a 560 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 4).

CROMO

El cromo es un metal que puede provenir del desecho de procesos de galvanoplastia, curtiduría y efluentes de torres de enfriamiento (Acosta, 1976), por lo que se le puede atribuir a las descargas industriales, sin embargo puede tener su origen en los suelos y rocas (Prego et al., 2003).

Además, el cromo tiene un gran significado en los problemas ambientales debido a su toxicidad, la cual va a depender de la especie química que se presente (Sadiq, 1992). En la vida acuática, los organismos inferiores (límite: 0.05 mg/L de cromo total) son más sensibles que los peces (límite: 1 mg/L de cromo total) (Rodier, 1990). Una zona es considerada sin contaminación, siempre y cuando se encuentren valores por debajo de 20 mg/Kg de cromo en sedimento (Sadiq, 1992). Documentos publicados de 1975 a 1990 reportaron concentraciones de cromo en sedimento marino con un rango de 0.5 a 1317 mg/Kg (Sadiq, 1992). Para el material suspendido, las concentraciones van de 4.8 a 98.4 mg/Kg (Tabla 3) y en agua de mar, en datos registrados de 1978 a 1986, estuvieron en un rango de 0.00011 a 0.0108 $\mu\text{g/L}$ (Sadiq, 1992).

Tabla 3. Concentración de metales en el material suspendido (mg/ Kg).

Lugar	Material suspendido (mg/L)	Al*	Cu	Cr	Fe*	Mn	Ni	Pb	Referencias
Canyons of Genoa ^β	2.15-4.82	-	29-279	-	-	-	-	-	Frache (1986)
River Sed ^β	7.5-20	2.31	111	-	10.6	758	-	-	Barak (1997)
Estuarine Sed ^β	7.5-70	6.05	19	-	3.07	348	-	-	Barak (1997)
Yellow Sea ^γ	-	3.23-11.2	1-37	6-87	0.48-5.74	38-1930	3-86		Guebuem (1998)
Coastal lagoons of Rio de Janeiro ^γ	0.3-4.2	-	-	-	-	-	-	-	Lacerda (2001)
River Rhine ^γ	25-50	-	-	-	-	-	-	-	de Jong (2002)
Rios de China ^γ	>10	8.5-13.3	36.5-54.9	70.6-98.4	3.62-5	677-1081	36.9-61.8	16.5-82	Zhang (2002)
Oder River ^γ	25	-	120	-	-	-	-	200	Emeis (2002)
Oder Lagoon ^γ	-	-	62	-	-	-	-	120	Emeis (2002)
Galicia ^γ	--	-	20-35	30-54	-	248-395	31-38	50-78	Prego (2003)
Irish Sea ^γ	0.39-6.28	-	-	-	-	-	-	-	Smith (2003)
Macquarie Harbour, Western Tasmania ^μ	<3-24	-	1-20	-	1.4-20	0.2-2.3	-	-	Teasdale et al. (2003)
Ulsan bay ^γ	-	-	12.4-179	-	-	-	-	36.3-255	Szefe (2004)
Masan bay ^γ	-	-	2.8-115	-	-	-	-	4.7-133	Szefe (2004)
Irtys river ^α	10-29	-	36-54	76-180	-	-	48-65	30-45	Gordeev (2004)
Taiwan coast ^γ	6.29-7.95	0.54-0.85	13.4-42.8	4.8-16.4	0.27-1.36	320-667	-	10.2-24.6	Fang (2006)

^α0.4 μm Policarbonato. (Nuclepore); ^μ0.45 μm Nitrocelulosa (Millipore); ^γ Sin registro del tipo de filtro;

*Concentraciones en %

NÍQUEL

El níquel es el elemento 24 en orden de abundancia en la corteza terrestre, entra a la atmósfera de forma natural como es el caso de las emisiones volcánicas (Merian, 1991). Se puede localizar en las descargas de origen industrial, principalmente de las actividades petroquímicas, se encuentra generalmente asociado a los cianuros, al mercurio y al arsénico (Rodier, 1990). Además, se puede depositar por transporte atmosférico por la lluvia ácida. En sedimentos de ríos contaminados el complejo de níquel orgánico llega a ser adsorbido por partículas sílicas. Se considera que el níquel contribuye de manera importante a la contaminación de cuerpos acuíferos (Merian, 1991).

El agua de mar contiene de 0.1 a 0.5 $\mu\text{g/L}$ en forma de ión, el agua superficial contiene de 15 a 20 $\mu\text{g/L}$ y la nieve contiene de 20 a 300 $\mu\text{g/Kg}$ (Merian, 1991). Las concentraciones de níquel en el sedimento van de 1.2 a 1330 mg/Kg (Tabla 2); en el material suspendido los valores van de 3 a 86 mg/Kg (Tabla 3) y en el agua de mar se puede encontrar en concentraciones que van de 0.378 a 1.38 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 4),

PLOMO

El plomo es un componente ampliamente difundido en la corteza terrestre. El contenido de este metal en sistemas acuáticos se debe principalmente al arrastre de sales de depósitos minerales y a industrias que fabrican sustancias como: el tetraetilo de plomo, ácido sulfúrico, etc. (Acosta, 1976; Prego et al., 2003); y por vía atmosférica causada por lluvia ácida (Sadiq, 1992).

El agua de mar contiene en promedio 0.03 $\mu\text{g/L}$, pero en las zonas costeras, las aguas situadas cerca de la superficie pueden contener 10 veces más. La vida acuática puede perturbarse a partir de 0.1 mg/L . Los efectos tóxicos pueden manifestarse en los peces a partir de 1 mg/L . La acción tóxica es variable según la especie y las condiciones fisicoquímicas del medio (Rodier, 1990).

Las concentraciones del plomo en agua de mar, en datos registrados de 1977 a 1990, estuvieron en un rango de 0.01 a 26.91 $\mu\text{g/L}$ (Sadiq, 1992) y en publicaciones recientes varían entre 0.01 a 188 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 3). Las concentraciones del plomo en sedimento, en datos registrados de 1977 a 1990, estuvieron en un rango de 0.6 a 1050 mg/Kg (Sadiq, 1992) y en publicaciones recientes varían entre 0.6 a 1108 mg/Kg (Tabla 2). Mientras que para el material suspendido las concentraciones van de 4.7 a 255 mg/Kg (Tabla 3).

Tabla 4. Concentraciones de metales disueltos en agua de mar ($\mu\text{g/L}$).

Lugar	Cu	Cr	Fe	Ni	Pb	Referencia
Términos Lagoon, México (Sistema fluvial)	0.5-6.6		1.1-95.6			Páez et al. (1987)
Penang, Malasya	0.6-0.8			1.6-1.8	2.0-2.8	Seng et al. (1987)
Thai estuary, Gulf of Thailand	0.06-0.56		0.11-46.76	0.09-0.31	0.003-0.27	Sirinawin et al. (1998)
Términos Lagoon, México (Estuario)	1-55		367-1735	4-330		Vázquez et al. (1999)
Términos Lagoon, México (Laguna)	3-77		181-1201	6-399		Vázquez et al. (1999)
Portuguese shelf, Portugal	0.04-1.65			0.1-0.82		Cotté-Krief et al. (2000)
Queensland, Australia ¹	0.3-8.57	-	-	-	0.31-5.18	Esslemont (2000)
Galicia Rias	6.1-514	-	-	-	0.64-188	Beiras (2003)
Gulf of Thailand	0.50-2.10	-	-	-	0.01-1.16	Cheevaporn y Menasveta (2003)
Macquarie Harbour, Western Tasmania	4-560	-	16-1040	-		Teasdale et al. (2003)
Taiwan coast	0.023-0.11	0.226-0.357	1.36-5.19	-	0.01-0.06	Fang et al. (2006)
Gotland Sea, Baltic Sea	0.52-0.56				0.002-0.008	Pohl et al. (2006)
The north-western Mediterranean (France-Italy)	-	0.152-0.616	-	0.378-1.38	0.038-0.048	Lafabrie et al. (2007)
Lagoon of Nouméa, New Caledonia		0.07-0.587		0.1-9		Migon et al. (2007)

VANADIO

El vanadio es un metal de transición el cual es ampliamente distribuido en la corteza terrestre pero con poca abundancia. El vanadio presente en la atmósfera es debido normalmente a la quema de los combustibles fósiles como son el petróleo y el carbón (Sella, et al., 2006). Este elemento es muy difundido en los minerales de hierro, de cobre, en la hulla, los lignitos, y el petróleo.

El vanadio es usado en la industria química como catalizador, en la industria metalúrgica (ferro-vanadio) para la fabricación de acero, y como colorante en las cerámicas; así como ciertos herbicidas e insecticidas que contienen sales de vanadio (Rodier, 1990). Generalmente, la presencia del vanadio se asocia a las actividades petroquímicas. Además, la entrada del vanadio a los suelos y plantas es causada por las emisiones industriales, especialmente, en procesos de combustión (Merian, 1991).

El vanadio en agua de mar se presenta como vanadato con una concentración en promedio de 1.5 $\mu\text{g/L}$ (Sella et al., 2006). Algunos trabajos han reportado concentraciones que van de 12 a 25 mg/Kg para sedimentos de lagunas (Tuncel et al., 2007) y en sedimentos marinos concentraciones de 37 a 2114 mg/Kg (Sprovieri et al., 2007).

ZINC

El zinc es un elemento abundante en minerales (esfalerita, blenda, hemimorfita, etc.) e indispensable para algunos organismos, con un promedio de concentraciones de 70 $\mu\text{g/g}$ en la corteza terrestre y en suelos de 10 a 300 $\mu\text{g/g}$ (Prego et al., 2003).

En las aguas residuales, el zinc está generalmente acompañado de plomo y cadmio. La presencia de ambos elementos estaría limitando el contenido del zinc en el agua potable a 1 mg/L (Rodier, 1990). Para la vida acuática, el zinc presenta cierta toxicidad en función de la mineralización del agua y de la especie considerada. La toxicidad para los peces se ejerce a partir de algunos miligramos por litro. En sedimentos marinos se pueden encontrar valores que van de 0.8 a 7234 mg/Kg (Tabla 2).

II.2. FUENTES DE ORIGEN DE LOS METALES

La introducción de metales al sistema acuático puede ser causada por fuentes naturales y fuentes artificiales (Acosta, 1976; Martínez, 1982):

Fuentes naturales:

La introducción de metales de origen natural, se debe principalmente:

- al arrastre pluvial de materia orgánica e inorgánica provenientes de suelos, plantas y animales;
- al escurrimiento de depósitos minerales, por las corrientes superficiales y subterráneas, que acarrearán las sales de estos; en los estados de Veracruz y Tamaulipas se pueden encontrar yacimientos de cobre (Martínez, 1982);
- al proceso del intemperismo, donde los componentes minerales quedan expuestos al ambiente y al contacto con el agua, incorporándose a ésta;
- a la actividad vulcanológica, donde al igual que en el intemperismo las partículas, producto de dicha actividad, quedan expuestas al ambiente.

Fuentes artificiales:

Las fuentes de origen artificial pueden ser descargas urbanas, industriales y agrícolas:

- Urbanas

Las diversas actividades que desempeña la población, sobre todo en las regiones urbanizadas, llevan un variado contenido de residuos que involucran el uso de agua, como es el alcantarillado, que sirve para áreas comerciales, así como, en el uso doméstico. La falta de drenaje en algunas regiones también se considera como fuente de contaminación, ya que las aguas negras van directamente a los mantos freáticos y cuerpos acuíferos contaminándolos.

- Industriales

En este tipo de fuente, se pueden generar tres tipos de desechos como son líquidos, sólidos y gaseosos (Martínez, 1982), la industria puede aportar bastantes contaminantes al ambiente. El sector industrial es el principal aportador de metales a los sistemas acuíferos por la gran distribución que tiene en todo el país y el manejo de una gran cantidad de metales pesados en sus procesos como se muestra en los siguientes sectores:

Sector industrial de acabados metálicos, su principal proceso es el de revestimiento de

metales. Estos tipos de empresas se encuentran concentradas en el Distrito Federal (66%), Baja California y Veracruz (5%). En el sector de la industria siderúrgica, Veracruz aporta el 8% de hierro, a nivel nacional; sin embargo, el sector también aporta cromo, plomo, cobre, zinc, manganeso, boro y níquel (Martínez, 1982).

Sector de la industria alimenticia es uno de los sectores más importantes del país. Las empresas de este rubro se localizan principalmente en el Distrito Federal, Guanajuato, Estado de México, Michoacán y Sinaloa. Este sector aporta once metales pesados como son plomo, zinc, hierro, cromo, selenio, bario, níquel, cobre, manganeso, boro y cadmio. La aportación de contaminantes a nivel nacional, principalmente es por el Distrito (26.3%) y Guanajuato (25.1%). Dentro de este sector se puede mencionar al sector azucarero que sus plantas se localizan principalmente en Veracruz, Tamaulipas, Jalisco, Sinaloa, Morelos y Oaxaca constituyendo una aportación de contaminantes del 80% del total nacional. El estado de Veracruz aporta el 40% de contaminantes como son el hierro y el zinc (Martínez, 1982).

Sector industrial de la celulosa y papel, es un aportador potencial de hierro, plomo, cobre, zinc, manganeso, níquel, cromo y mercurio, donde Veracruz aporta el 7% de hierro del total del país. El sector de la industria petrolera aporta principalmente doce metales que son el plomo, hierro, níquel, cromo, plata, zinc, manganeso, arsénico, bario, cadmio, boro y cobre. El estado de Veracruz aporta el 31% de contaminantes en el país. El sector de la industria química es un fuerte acelerador de la economía, además de aportar gran cantidad de contaminantes como son el plomo, cobre, zinc, plomo, hierro, cadmio, manganeso, níquel. La aportación de Guanajuato, San Luis Potosí y Veracruz es de 61% del total nacional (Martínez, 1982).

- Agrícolas

En esta actividad, son de uso común los fertilizantes químicos, pesticidas y herbicidas, incrementando los contaminantes en los suelos, sumados a esto la constante irrigación con aguas negras produce un excedente de metales en las tierras.

III. ÁREA DE ESTUDIO

III. ÁREA DE ESTUDIO

III.1. GOLFO DE MÉXICO

El Golfo de México se extiende con un área de 1, 768,000 Km² con regiones muy profundas mayores a 3,400 m. Una parte del Golfo de México pertenece a Estados Unidos teniendo como principal afluyente el río Mississippi, y en México tiene como afluentes principales los ríos Coatzacoalcos, Grijalva, Usumacinta, Tuxpan, Pánuco y Bravo. La zona donde empieza el territorio mexicano, los sedimentos están dominados por lodos terrígenos, cuya presencia se debe principalmente a la gran cantidad de ríos que desembocan en la región, lo que contribuye a la formación de una franja de limos arenosos terrígenos cercana a la costa en la región sur de la provincia, con un contenido de carbonato menor a 25 % (Figura 4).

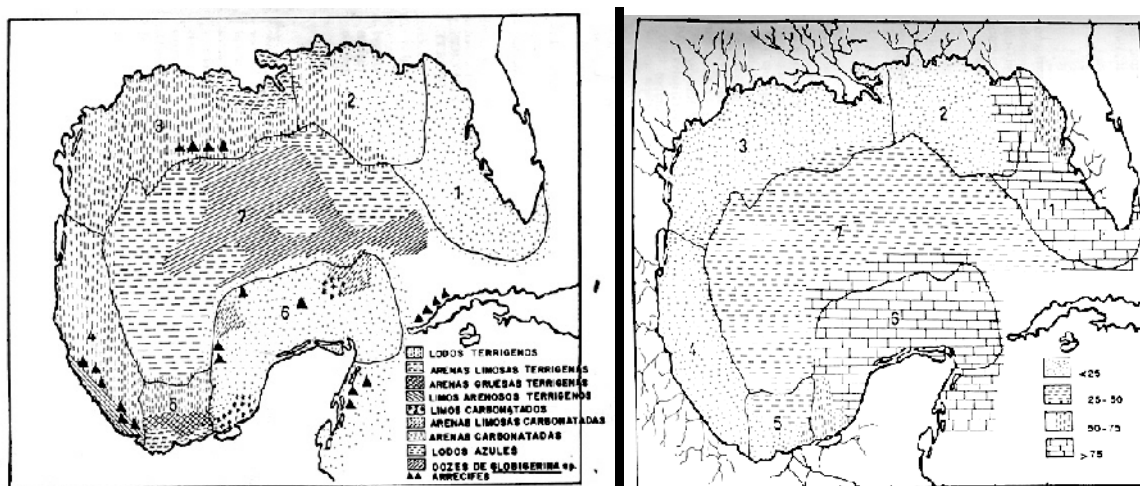


Figura 4. Provincias geomorfológicas (de la Lanza, 2001).

III.2. ESTADO DE VERACRUZ Y CIUDAD DE VERACRUZ

Localizado en el golfo de México, el estado de Veracruz se ubica en una planicie baja arenosa rodeada por dunas y pantanos, los cuales son muy fértiles, por lo que algunos han sido aprovechados en la agricultura. La llanura costera ésta bordeada por un litoral bajo y con

formación de medanos. El litoral de Veracruz tiene una extensión de 745.14 Km (Enciclopedia Océano de México, 1999). Además, Veracruz es el centro comercial e industrial de una importante región petrolera, donde destacan las refinerías de petróleo y las industrias de productos como: cigarrillos, chocolates, licores, teja, baldosa, azulejos y calzado; y rivalizando con su vecino del norte, Tampico, como uno de los principales puertos de México (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

III.2.A. CLIMA

El clima característico de la ciudad de Veracruz se presenta como AW_2 de los climas calidos, sub-húmedo con lluvias en verano. Sin embargo, actualmente en el puerto de Veracruz se han observado cambios en el clima cálido, presentándose desde el más seco hasta el más húmedo de los sub-húmedos, pasando por el intermedio. Pero a pesar de los cambios, existen dos épocas importantes por su influencia en el puerto: la de nortes, de menor precipitación que se presenta de septiembre a abril, con temperatura baja y frecuentes invasiones de masas de aire frío del norte, éstas por su fuerza, pueden ser desde vientos frescos hasta violentos y huracanados; y la época de lluvias, la cual se presenta de mayo a agosto, se caracteriza por temperaturas elevadas, alta precipitación y vientos débiles del este. Siendo más importantes para los arrecifes, los frentes fríos en invierno (nortes), en comparación con los huracanes, pues afectan la temperatura del agua (Vargas et al., 1993).

En los últimos 30 años, sólo dos huracanes han impactado el ambiente de manera leve. Son tan drásticas las modificaciones producidas durante el invierno, que la recuperación de los elementos de la biota arrecifal que se ubica en marzo alcanza un máximo de desarrollo hasta los meses de Junio y Julio. La temperatura promedio anual en la zona arrecifal es de 26 °C, las temperaturas más bajas se registran en enero y febrero, y oscilan alrededor de 18 °C (Vargas, 1993).

En registros que se obtuvieron durante 20 años hasta 1990, la temperatura registrada durante febrero fue desde 19 °C hasta aproximadamente 25.5°C; para junio se inicia el periodo de lluvias donde se encontraron temperaturas con variaciones que iban desde 26.5 a 34.5 °C, siendo en julio el más intenso. Las masas de agua presentan una salinidad entre 31 y 36 UPS (Centro de previsión del Golfo de México, 1987).

Se presenta anualmente un "confort hidrotérmico": caluroso de marzo a noviembre; sofocante de mayo a septiembre; agradable de octubre a marzo; solo en invierno se da el 100% de tiempo agradable. El promedio horario mensual del "índice de incomodidad" para la ciudad de Veracruz, se observa que a las 13 horas se da la máxima temperatura, 29 °C en julio; 28 °C en mayo, junio y agosto (Centro de previsión del Golfo de México, 1987).

III.2.B. HIDROLOGÍA

El estado de Veracruz forma parte de cinco regiones hidrológicas (SRH) que comprenden las cuencas de varios ríos importantes, en cuanto a su longitud y caudal, éstos desembocan en forma de barra con muy amplios bancos de arena; cabe destacar los ríos Pánuco, Tuxpan, Cazones, Nautla, Antigua, Jamapa, Papaloapan y Coatzacoalcos, todos con escurrimiento medio anual superior a los 40 m³/seg, en su desembocadura. Existen abundantes lagunas o albuferas y esteros cuenta con las lagunas de Catemaco, Charirel, Chila, Pueblo Nuevo, Camarones, Alvarado, Pajaritos y Ostión (Consejo de Recursos Minerales, 1994). El municipio de Veracruz se encuentra regado por los riachuelos Medio, Grande y Tonayán, contando con buenas playas e islas como la de Sacrificios y Verde (Vargas et al., 1993).

La ciudad de Veracruz es parte de la región hidrológica Papaloapan (Figura 5), que abarca gran parte de la porción centro-sur de Veracruz, las cuencas que la conforman son Papaloapan y Jamapa. Al norte de la ciudad se encuentra el distrito de riego La Antigua, que se abastece de los ríos Jamapa, San Juan Pancaya, Santa María y Actopan. Al sur de la ciudad se encuentra el

de 3,350 Km² y su escurrimiento anual asciende a 1,895 millones de metros cúbicos. Sus aguas se utilizan en distritos de riego y para generar electricidad. El río pasa por las poblaciones de Jamapa, Medellín y Boca del Río (Enciclopedia Océano de México, 1999).

El río de la Antigua nace en el estado de Puebla y atraviesa la zona de Coatepec y Teocelo y desemboca un poco al norte del Puerto de Veracruz, en la barra de la Antigua. El área de la cuenca es de 2,880 Km² y su volumen anual de escurrimiento es en promedio, de 2,817 millones de metros cúbicos (Enciclopedia Océano de México, 1999).

III.2.C. LITOLOGÍA

El estado de Veracruz presenta depósitos de arenas, gravas, limos y arcillas, ya que pertenece al Cuaternario Pleistoceno-Reciente sin consolidar, que son el producto de la desintegración por intemperismo de las rocas preexistentes, que fueron y siguen siendo erosionadas y cuyos residuos son transportados y depositados en las porciones topográficamente bajas. En la porción central de la entidad estos depósitos forman una extensa planicie que cubre las localidades de Cardel, Veracruz, Paso del Toro, Cuitlahuac, La Tinaja, Piedras Negras, El Coyote, Alvarado, Tlacotalpan, Lerdo de Tejada y Amatitlán, también son abundantes en las márgenes y lechos de ríos y arroyos, así como en la proximidad de la línea de costa (Consejo de Recursos Minerales, 1994). La cuenca de Veracruz se define como un grueso paquete de sedimentos arcillo-arenosos, que en la porción central de la cuenca alcanzan un espesor de 8000 a 9000 m, adelgazándose hacia sus extremos (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

III.2.D. PLANTAS DE TRATAMIENTO

En el estado de Veracruz se ubican 153 plantas de tratamientos de aguas residuales industriales de las cuales 2 no se encuentran en operación, esto en estadísticas del 2003 (CNA, 2004); la capacidad instalada es de 12,787 L/s que equivale al 49.20 % de todo el país, y del cual

el caudal tratado es de 1194 L/s (CNA, 2004).

Tabla 5. Plantas de tratamientos del municipio de Veracruz.

Planta	Proceso	Cuerpo receptor o reuso	Capacidad instalada (L/s)	Gasto de operación (L/s)	Observaciones
Conjunto Residencial Torres Arrecifes	Lodos activados	Mar y riego de áreas verdes	5.0	5.0	Requiere rehabilitación
La Florida	Lodos activados	Laguna natural	20.0	20.0	
Laguna Real	Lodos activados	Laguna natural	25.0	25.0	
Los Volcanes	Lodos activados	Laguna natural	40.0	30.0	
Playa Norte	Filtros biológicos	Arroyo del cable y Golfo de México	1,000.0	750.0	Rehabilitación en 2004 por la CAEV
U. H. Flores Del Valle	Lodos activados	Canal de la boticaria	15.0	15.0	
U. H. La Floresta No. 1	Lodos activados	Canal de la Zamorana	75.0	75.0	Se rehabilitó y amplió su capacidad a 75 LPS
U. H. La Floresta No. 2	Lodos activados	Canal de la Zamorana	30.0	30.0	
U.H. Río Medio	Lagunas aireadas	Río Medio	60.0	60.0	

En el municipio de Veracruz se encuentran 16 plantas municipales de tratamiento de aguas residuales de las cuales sobresale la planta de Playa Norte, que se encuentra al oeste del área de estudio, esta planta tiene una capacidad instalada de 1,000 L/s y un gasto de operación de 750 L/s; los cuerpos receptores son el Arroyo del Cable y el Golfo de México y fue rehabilitada en el 2004. Si se considera que la capacidad instalada hasta diciembre del 2004 fue de 4,444.8 L/s de las plantas en el Estado de Veracruz-Llave, entonces la planta de Playa Norte tiene una capacidad del 22.5 % del total del estado (Tabla 5) (CNA, 2004).

III.2.E. ACTIVIDADES PORTUARIAS

El puerto de Veracruz es de los más importantes de la República tanto por motivos económicos como históricos. El puerto es totalmente artificial, construido en un banco coralino. Al sur del

puerto podemos encontrar los arrecifes El Cabezo y la punta Mocambo.

Tabla 6. Reporte de carga del API (Enero-Junio) 2005.

Tonelaje manejado	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Buques operados	119	122	132	132	142	137
Importado	1,200,242	860,324	1,123,400	1,129,352	1,163,240	1,161,984
Exportado	989,959	269,376	284,074	305,740	303,736	310,060
Cabotaje	14,700	19,257	10,084	9,950	21,150	10,950
Por carga						
General suelta	95,953	122,460	128,345	111,670	153,122	99,188
General contenerizada	422,080	462,776	447,235	511,841	443,401	516,303
Granel mineral	278,305	124,390	235,445	192,791	359,243	318,097
Granel agrícola	334,452	309,514	449,778	460,179	348,927	397,840
Fluidos	27,496	73,196	94,736	112,692	129,420	87,241
Vehículos (Ton)	41,956	56,622	62,020	55,870	54,012	64,324
Total	1,200,242	1,148,957	1,417,558	1,445,043	1,488,125	1,482,994

De acuerdo con los registros del API, la empresa DRAGAMEX S.A. de C.V. se encarga del dragado del puerto y utilizan la draga Puerto de Altamira, que recientemente quedo varada en el puerto.

Datos obtenidos del API de Veracruz relativos a los movimientos en el puerto (Tabla 6) durante Febrero y Junio, muestran que en el mes de Junio hay mayor número de buques operados y en general hay mayor carga manejada, excepto por la carga suelta. La alta actividad del puerto y los diferentes movimientos pueden alterar el sistema acuático. La carga general suelta incluye productos como automóviles, acero, tubo, aluminio, postes de madera, cobre, madera, cemento, maquinaria y carga general; la carga de tipo granel agrícola es el maíz, sorgo, soya, trigo, arroz, canola, salvado de trigo y pellets de trigo; la carga de tipo granel mineral son los fertilizantes, pet coke, chatarra, arrabio, briqueta de hierro, clinker y ferrosilicomanganeso;

los líquidos incluyen melaza, aceite vegetal, sebo, alquilbenceno, grasa amarilla, monómero de estireno, acetona, metilmetacrilato, vinil acetato, sosa, alcohol y ácido sulfúrico, estos datos y las cifras del cuadro están registradas en el informe del API de Veracruz.

III.2.F. ACTIVIDADES ECONÓMICAS

En el municipio de Veracruz se pueden encontrar unidades de comercio y abasto, que comprenden tiendas rurales y los del Programa de Apoyo a las Zonas Populares Urbanas, rastros de tipo inspección federal, frigoríficos y mataderos y a los centros receptores de granos pertenecientes a BORUCONSA y ALSUR. El estado tiene una participación en la producción pesquera de un volumen de 102,397 toneladas con un valor de 1, 075,048 de pesos, teniendo el cuarto lugar de importancia (INEGI, 2005).

En cuestión energética, al sur de la ciudad de Veracruz se ubica una termoeléctrica, y más cerca a la ciudad se encuentra un centro de almacenamiento (Figura 6) (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

En cuanto a la industria, dentro del territorio veracruzano están establecidas 25 plantas de beneficio, de las cuales 18 son de aprovechamiento de minerales no metálicos y 7 correspondientes a plantas industriales, sin embargo 2 plantas se encuentran inactivas. Además, en el estado se encuentran 5 plantas fundidoras o industriales que producen ferroaleaciones de hierro y manganeso, asimismo hierro esponja y acero de diferentes especificaciones, localizándose en los municipios de Pánuco y Veracruz. Conjuntamente, en el área de Córdoba existen dos plantas fundidoras, que son Metalúrgica Veracruzana, S.A. de C.V. y Electro refuerzos del sureste, S.A. de C.V., que elaboran productos como: varilla corrugada, alambrón y hierro nodular. Otras plantas son las de Siderúrgica TAMSA y Compañía Minera Autlán (unidad Tamos) que produce ferroaleaciones de hierro y manganeso.

En el municipio de Veracruz se encuentran 6 plantas de beneficio:

- Tubos de acero de México, que produce acero y tubos de acero sin costura.
- Siderúrgica Tamsa, que produce hierro esponja y acero.
- Aluminio S.A. de C.V., que produce aluminio en lingotes.
- Marmolería Carrara S.A., que produce mármol labrado.
- Dolomitas y triturados de Tabasco, S.A., que produce cemento, cal hidratada y cal dolomítica.
- Ferraluer S.A., que produce ferroaleaciones de hierro y manganeso.

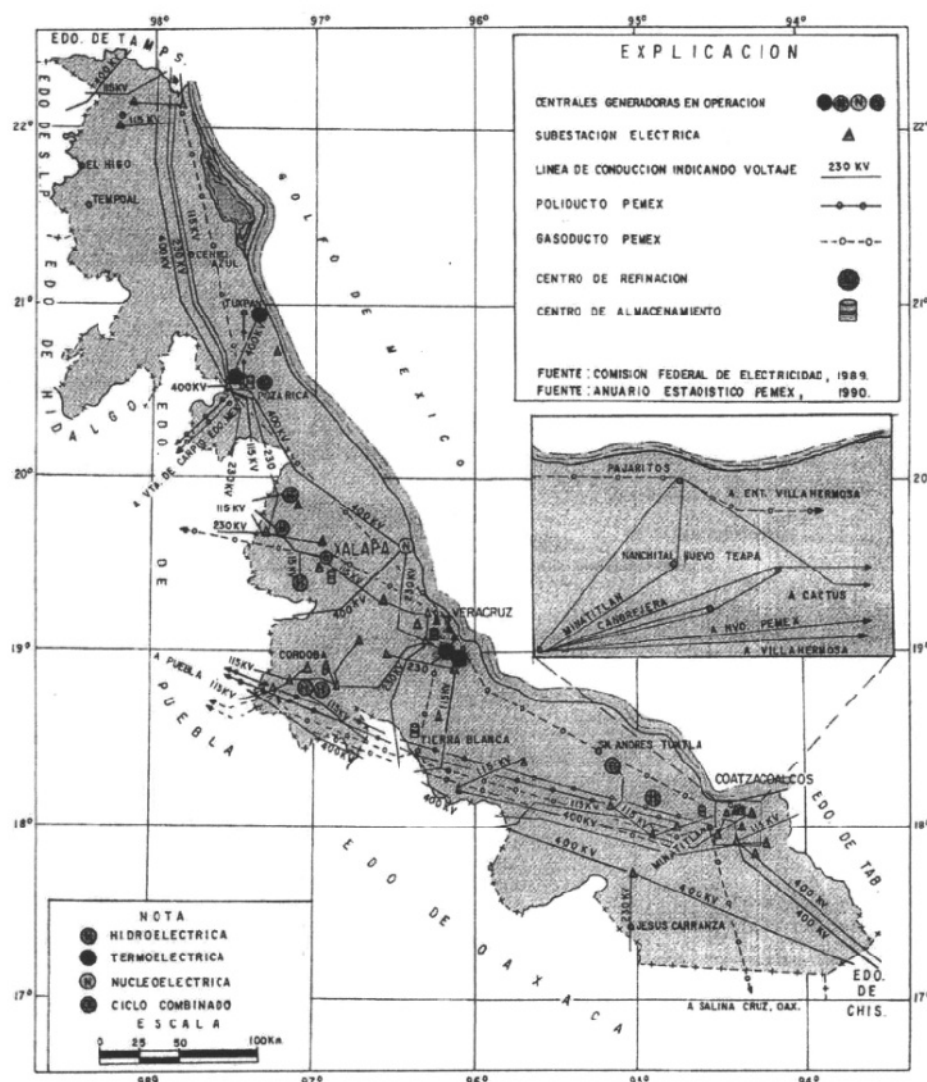


Figura 6. Fuentes de energía (Consejo de Recursos Minerales, 1994)

III.3. SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO

Este sistema es uno de los más importantes en México por su tamaño y el número de especies. El Sistema Arrecifal Veracruzano está formado por bajos, islas y arrecifes situados en la porción interna de la plataforma continental en el Golfo de México, los cuales se elevan desde profundidades cercanas a los 40 m (Figura 7).

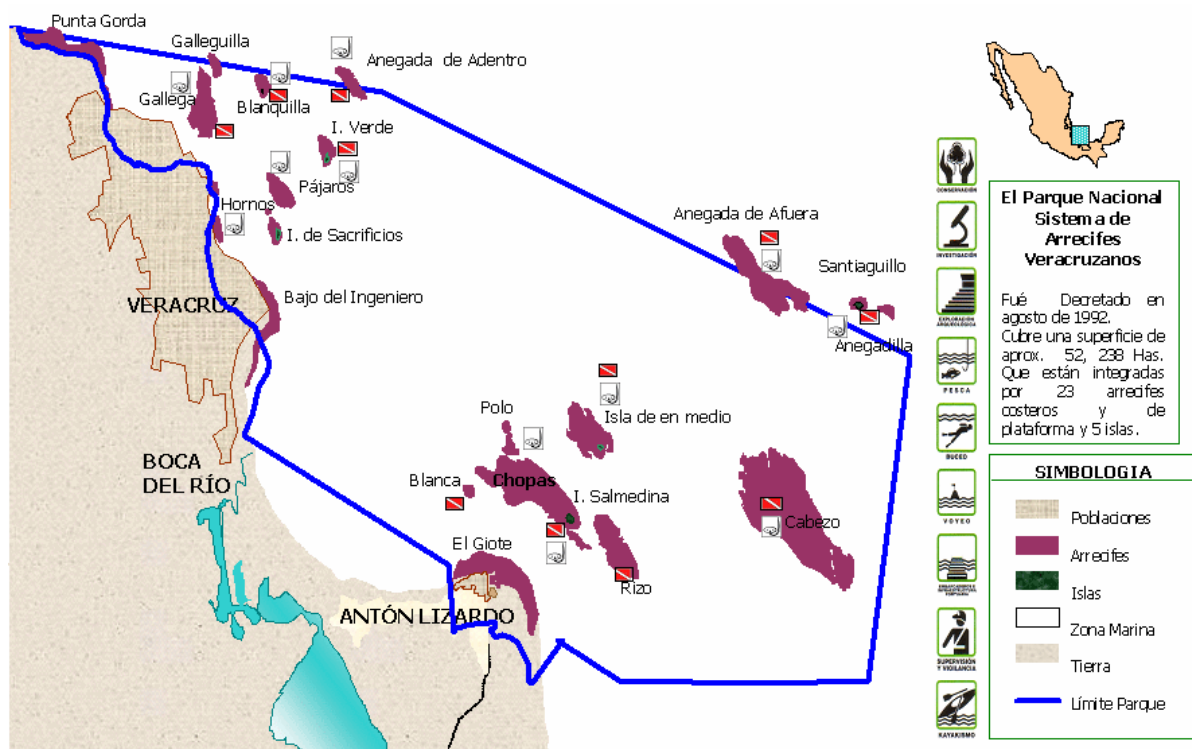


Figura 7. Sistema arrecifal veracruzano (Puertobuceo).

El sistema incluye dos áreas geográficamente separadas, la primera se localiza frente al Puerto de Veracruz (el cual mide 241 Km² de superficie) e incluye a los arrecifes La Gallega, Galleguilla, Anegada de Adentro, La Blanquilla, Isla Verde, Isla de Sacrificios, Pájaros, Hornos, Ingeniero y Punta Gorda, todos dentro de la isóbata de los 37 m (Tabla 7).

La segunda área se ubica frente a Punta Antón Lizardo, a unos 20 Km al suroeste del Puerto de Veracruz, e incluye los siguientes arrecifes: Gote, Polo, Blanca, Punta Coyol, Chopas,

Enmedio, Cabezo, el Rizo, Santiaguillo, Anegada de Afuera, Anegadilla y Topetillo, todos ellos en la isóbata de los 48 m (Tabla 8). La distancia a la costa es en promedio de 3.8 Km, ésta área se ve influenciado por parte del continente y las corrientes (Cortés, 2003).

Tabla 7. Sistema arrecifal veracruzano. Características fisiográficas. Sección Veracruz (Puertobuceo).

Arrecife Sección Veracruz	Profundidad Máxima (m)	Distancia a la Costa (Km)	Área (Km ²)
Arrecife Pájaros	20	1.9	1.94
Isla Sacrificios	20	1.9	0.87
Isla Verde	30	6.3	2.25
Anegada de Adentro	40	8.3	2.4
La Gallega	10	0	2.65
La Galleguilla	20	1.9	1.21
La Blanquilla	30	3.5	1.34

Tabla 8. Sistema arrecifal veracruzano. Características fisiográficas. Sección Antón Lizardo (Puertobuceo).

Arrecife Sección Antón Lizardo	Profundidad Máxima (m)	Distancia a la Costa (Km)	Área (Km ²)
Isla de Enmedio	20	6.8	6.47
Rizo	20	5.7	4.28
Chopas	20	3.3	8.54
La Blanca	20	3.0	1.83
Cabezo	30	14.2	18.9
Anegada de Afuera	40	17.2	7.69
Santiaguillo	40	20	1.02
Anegadilla	40	21	0.74

El sistema arrecifal veracruzano (SAV) está construido en un banco de restos bioclásticos calcáreos de materiales coralinos producto del descenso en el nivel del mar, asociado a la última glaciación (Vargas et al., 1993). El fondo del litoral frente al puerto sugiere que los sedimentos son gruesos en la plataforma continental. La plataforma continental del Golfo de México es un área de alta sedimentación terrígena debido a la gran cantidad de ríos que descargan en la zona. A pesar de ello se pueden encontrar algunas estructuras arrecifales en áreas dispersas. Los

arrecifes que componen el sistema se encuentran delimitados por los ríos La Antigua al norte y Papaloapan al sur. La desembocadura del río Jamapa divide al sistema en dos áreas, una frente al Puerto de Veracruz y otra frente al poblado de Antón Lizardo, lo que provoca que las aguas circundantes sean turbias (Vargas et al., 1993).

La principal característica física común entre los arrecifes de Veracruz es su posición, forma y su alargamiento en el sentido noroeste a sureste debido a la dirección del oleaje. Se han descrito como de tipo plataforma, y presentan dos formas de desarrollo: una es alargada en sentido noroeste-sureste y otra en semicírculo con la misma orientación. Cada arrecife difiere en complejidad topográfica, cantidad de CaCO_3 depositado, riqueza de especies y cobertura viva. Las lagunas arrecifales, delimitadas por las barreras coralinas de las aguas profundas, rara vez exceden los 2 m y en general conservan un promedio de 1 m.

El sistema arrecifal veracruzano se puede dividir en cuatro grupos por la presencia y el grado de desarrollo arrecifal en las pendientes arrecifales (Lara et al., 1992):

- a) Arrecifes exteriores: tienen un desarrollo continuo en las pendientes de barlovento y sotavento y parches de gorgonáceos en la parte somera de sotavento.
- b) Arrecifes intermedios: presentan una pendiente de sotavento extensa; en ella hay bancos de arena y crecimientos coralinos discontinuos. En la pendiente expuesta es común encontrar una matriz calcárea formada por restos de *Acropora cervicornis*.
- c) Arrecifes interiores: se caracterizan por la gran cantidad de sedimento acumulado en la pendiente de sotavento; los crecimientos coralinos se desarrollan sólo hacia los extremos de las formaciones arrecifales donde hay gran cantidad de esponjas.
- d) Arrecifes bordeantes: crecen anexos a la costa, presentan un desarrollo somero que no excede los 12 m de profundidad en barlovento.

Se pueden reconocer también cuatro zonas estructurales: sotavento, laguna arrecifal, cresta arrecifal y arrecife frontal. Este patrón es el resultado combinado de los efectos del viento, las corrientes y la sedimentación (Lara et al., 1992).

En 1992, el gobierno de México declaró al SAV como área protegida natural. La cual se caracteriza por ser una reserva natural considerada por decreto como parque nacional, éste comprende una superficie de 52 239 ha (Gallegos, 2002). Se define como parque nacional al área terrestre y marina que protege la integridad de los ecosistemas, donde se excluye la explotación u ocupación desfavorable. Se tiene como objetivo de manejo de estas áreas protegerlas, ofrecer áreas de educación, recreación y cultura sin alterar la integridad del área; además, de mantener el respeto de atributos ecológicos o geomorfológicos, entre otros (Gallegos, 2002).

La proximidad del sistema a la costa le da una gran importancia socioeconómica; sin embargo, esta cercanía lo hace muy susceptible a condiciones adversas por actividades humanas. El impacto por la extracción de materiales para construcción ha contribuido a la desaparición de algunos arrecifes bordeantes como es el de Hornos. Otro impacto es por la cercanía al Puerto de Veracruz que es uno de los más importantes del país, por las actividades comerciales y de tránsito, es al mismo tiempo una ciudad industrial que concentra industrias textiles, metalúrgicas, tabacaleras y azucareras, cuyos desechos en conjunto con los de la zona urbana, son vertidos directamente al mar. La cercanía de la planta de tratamiento de aguas negras, situada en playa norte (que es insuficiente dada la cantidad y distribución de los vertidos orgánicos al mar), es otro de los impactos, que afectan al SAV (Vargas et al., 1993).

III.4. ARRECIFE LA GALLEGA Y GALLEGUILLA

El área de estudio se ubica en Veracruz, localizada entre las coordenadas 19.20° a 19.24° latitud norte y 96.120° a 96.145° longitud oeste. Ésta comprende a los arrecifes de la Gallega y Galleguilla los cuales son parte del sistema arrecifal veracruzano. Estos están localizados en un extremo de la Bahía Vergara (Figura 9), la cual se sitúa cerca del puerto de Veracruz en el Golfo de México. La ciudad más grande y cercana es Veracruz.

El Arrecife Galleguilla es un arrecife de tipo plataforma y se localiza a los 19°14'33" N y 96°10'33" O; abarca 3.8 Km de costa y en su parte más ancha mide 375 m (Vargas et al., 1993).

El Arrecife La Gallega es un arrecife de tipo plataforma y se localiza a los $19^{\circ}13'13''$ N y $96^{\circ}07'37''$ O, actualmente se encuentra unido al Puerto de Veracruz por una escollera construida a principios del siglo pasado; su eje más largo es en dirección NO-SE con 2.37 Km y su parte más ancha mide 1.25 Km; en su extremo sur se encuentran construidos el Castillo de San Juan de Ulúa y una serie de edificaciones para el funcionamiento adecuado del puerto (Vargas et al., 1993).

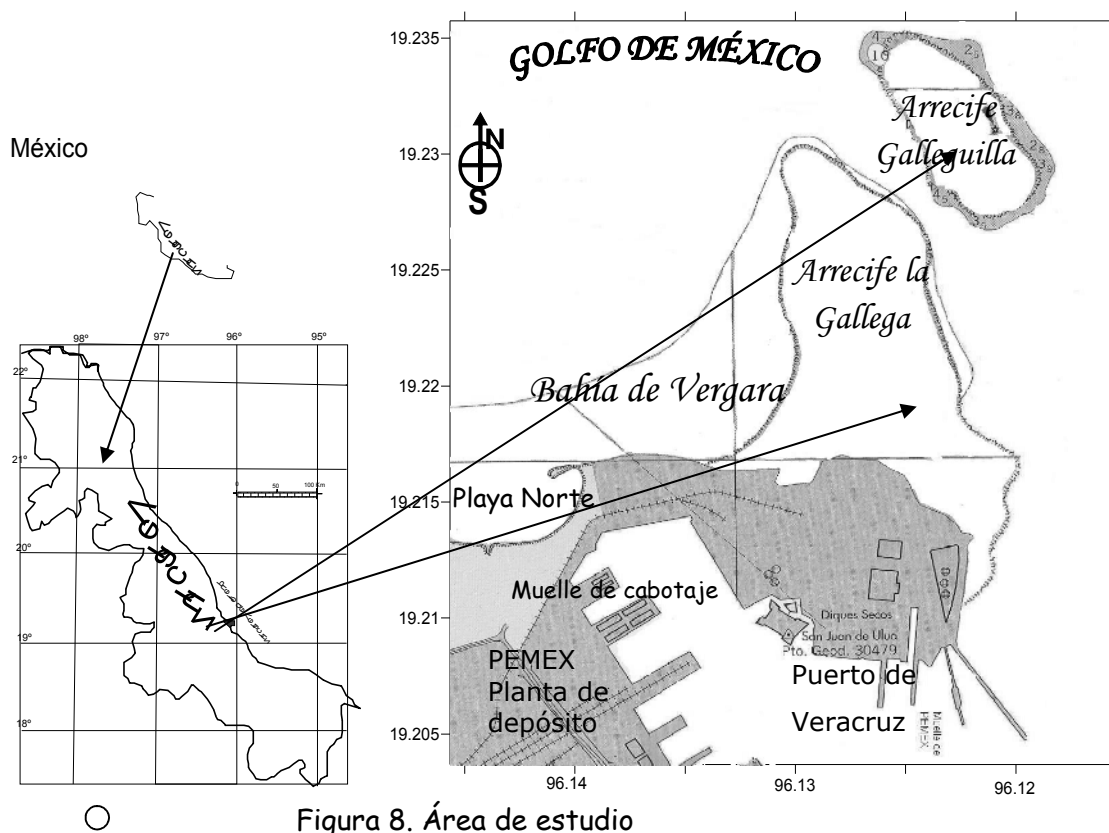


Figura 8. Área de estudio

La profundidad en las plataformas arrecifales oscila entre 0.5 y 2 metros; están formadas por arenas de origen coralino y restos de moluscos principalmente, estos a su vez presentan parche de pastos marinos, zonas de coral y zonas de restos esqueléticos de coral (Vargas et al., 1993). El principal sedimento cerca de los arrecifes es arena, generalmente indicada como arena gris (Emery, 1963).

IV. METODOLOGÍA

IV. METODOLOGÍA

La realización del presente proyecto abarco tres partes: 1) trabajo de campo; 2) trabajo de laboratorio y 3) trabajo de gabinete. A continuación se describe la metodología utilizada en cada parte.

IV.1. TRABAJO DE CAMPO

Para realizar el presente proyecto se llevaron a cabo 2 salidas de campo, efectuadas del 23 al 25 de febrero del 2005 (primer muestreo) y del 16 al 17 de junio del 2005 (segundo muestreo), que representan a la época de nortes y lluvias, respectivamente. La cantidad de puntos de muestreo fue de 15 estaciones, además de una más en la entrada del puerto (Figura 9), las estaciones B1 y S1 son equivalentes. Para el muestreo se prepararon los reactivos y materiales necesarios para la toma de muestras. Los frascos y materiales utilizados se lavaron sumergiéndolos en HCl al 30%, posteriormente con agua bidestilada, después en HNO₃ al 30 %, nuevamente en agua bidestilada y finalmente en agua tipo I (18.2 mΩ), cada lavado se realizó durante 20 minutos en ultrasonido y por último se dejo secar.

El muestreo se realizó a bordo de una lancha proporcionada por la Armada de México. La rutina que se seguía en cada estación muestreada fue:

1. Posicionar la estación por medio de un GPS Sport Trak Magullan, el cual nos dio la latitud y longitud.
2. Mediante una pistola sónica, se determinó la profundidad de la estación.
3. Por medio de una sonda marca Hidrolab, se determinaron las características fisicoquímicas del agua tales como: sólidos totales disueltos, Eh, temperatura, pH, salinidad y conductividad.
4. La toma de las muestras de agua se hicieron con una botella Niskin, se recolectaron muestras de fondo y superficie. Se extrajo dos muestras una para cuantificar el material suspendido y la otra para determinar metales disueltos en agua.

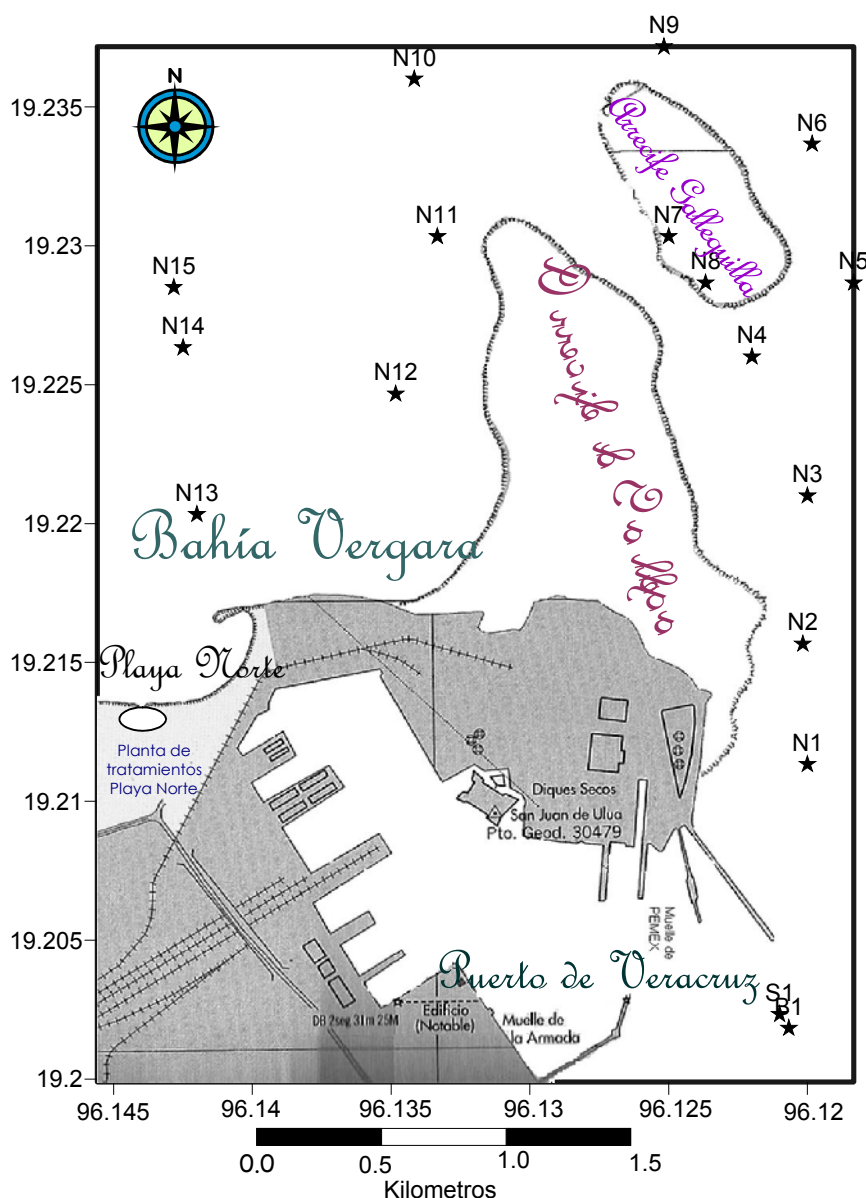


Figura 9. Red de estaciones (*) del área de estudio.

5. Las muestras de sedimento se recolectaron con la draga Van Veen, una vez en la superficie se tenía cuidado de tomar la muestra de la parte central que no estaba en contacto con la parte metálica de la draga. Fueron guardadas en bolsas de plástico, posteriormente se colocaron en hieleras.
6. Se tomó una pequeña muestra de agua en un frasco ámbar para determinar el oxígeno disuelto de forma volumétrica

Los filtros usados para la determinación de material suspendido fueron Millipore HA con 0.45 μm de apertura, los cuales fueron secados en estufa a 50 °C hasta peso constante, posteriormente pesados en balanza analítica, después, se lavaron en una solución de ácido nítrico suprapur MERCK 0.05 molar, se dejaron un día y fueron enjuagados con agua tipo I para finalmente ser almacenados en cajas Petri, debidamente rotuladas, las cuales fueron previamente lavadas con ácido y enjuagadas con agua tipo I.

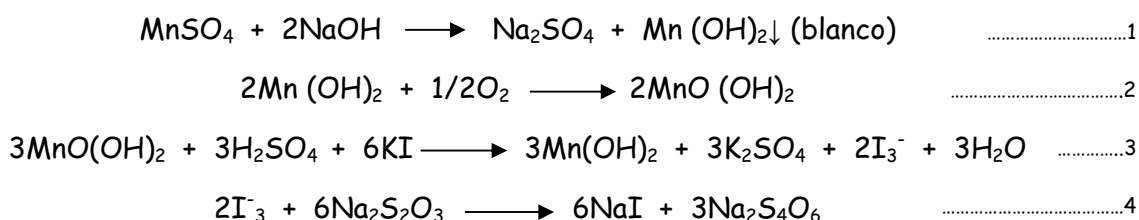
Los filtros utilizados para las muestras de carbono orgánico total, fueron de fibra de vidrio (GF/F) Whatmann con tamaño de poro 0.7 μm , fueron llevados a la mufla, para una precombustión a 500 °C. Para posteriormente ser acidificados a pH 1.5 a 2 y almacenados a 4 °C.

Inmediatamente al desembarcar se pre-trataron las muestras de agua y material suspendido en el laboratorio que nos facilitó el Acuario de Veracruz. Los parámetros determinados y procesos realizados fueron los siguientes:

- Muestras TOC (Carbón orgánico total). Se filtró con una jeringa 80 mL de agua de mar, usando filtros de fibra de vidrio. Se ajustó a pH 2 con ácido fosfórico al 25%. Posteriormente, se refrigeró. Se tomaron 10 muestras para calcular la precisión.
- Metales disueltos. Con una jeringa de 120 mL se tomó agua de mar, se filtró con un filtro de 0.45 μm y se fijó con ácido nítrico suprapur a pH 2. Posteriormente se refrigeró. Se tomaron 10 muestras para calcular la precisión.
- Material suspendido. Se filtró un litro de agua de mar usando filtros Millipore de 0.45 μm lavados y pesados, previamente. Posteriormente se colocaron en cajas petri, se anotó el volumen filtrado y el número de filtro en una hoja de control, posteriormente, se refrigeró.
- Oxígeno disuelto. La determinación de oxígeno en agua se utilizó el método Winkler (Rosales, 1980).

FUNDAMENTO:

El método Winkler modificado por Carrit y Carpenter consiste en formar en la muestra una cantidad de yodo equivalente al oxígeno presente (Rosales, 1986). La muestra se trata con hidróxido de sodio, yoduro de potasio y con sulfato manganoso precipitando hidróxido de manganeso¹. El hidróxido de manganeso es oxidado por el oxígeno disuelto². Se acidula la disolución con ácido sulfúrico para oxidar al yoduro a yodo³. El contenido de yodo es equivalente al de oxígeno disuelto y se determina por titulación con una disolución estándar de tiosulfato de sodio usando almidón como indicador⁴.



PROCESO:

El agua de mar fue colocada en un frasco ámbar, se dejó llenar hasta el tope, inmediatamente, se agregó 1 mL de sulfato manganoso y 1 mL de yoduro alcalino (la pipeta se colocó cuidadosamente debajo de la superficie de la muestra), se tapó rápidamente y se mezcló, después se agregó 1 mL de ácido sulfúrico concentrado, se tapó y se agitó nuevamente (se tomo en cuenta el volumen desplazado). Posteriormente, se tomó 25 mL de la muestra, se traspasó a un matraz Erlenmeyer de 125 mL y se agregó unas gotas de almidón. Finalmente, se tituló con tiosulfato de sodio al 0.01 N, la titulación se realizó por duplicado y se hizo el cálculo correspondiente. La fórmula utilizada para determinar el oxígeno disuelto fue la siguiente:

$$O_2 \text{ en mL/L} = \frac{V * N * 5.6 * 1000}{\left(\frac{V_d - 2}{V_d}\right) * (25)}$$

V = volumen gastado de tiosulfato de sodio.

N = concentración de tiosulfato de sodio.

V_d = volumen del frasco (muestra).

5.6 = constante.

2 = mL que se desplazan (sulfato manganoso /yoduro alcalino.

25 = mL de alicuota de titulación.

IV.2. TRABAJO DE LABORATORIO

El trabajo de laboratorio se divide en el procedimiento para agua de mar, material suspendido y sedimentos. A su vez, se divide en la etapa de preparación de muestras, para sedimentos marinos, agua de mar y material suspendido. En agua de mar se determinó: metales, oxígeno disuelto y carbono orgánico total; en el material suspendido únicamente se determinaron metales y en sedimento: carbono orgánico, carbonatos, granulometría y metales.

IV.2.A. AGUA DE MAR

IV.2.A.1. Determinación de Carbono Orgánico Total (TOC) en agua de mar

FUNDAMENTO:

El carbono total (TC) es la suma de las especies de carbono orgánico e inorgánico, siendo una cuantificación no específica de componentes de carbono que incluye a los hidrocarburos, éteres, aminas, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, etc. La determinación se basa en la detección del CO_2 desprendido por la oxidación del grupo carbonilo, que se detecta por NDIR (Detector de infrarrojo dispersivo). El carbono orgánico disuelto en agua de mar es inyectado en el TOC 5000, a una temperatura de 680 °C dentro de un tubo catalizador, llevándose a cabo la oxidación del grupo carboxílico a CO_2 , el cual es llevado por aire a través del detector de infrarrojo dispersivo. Para la determinación de carbono inorgánico (IC) se inyecta a un depósito acidificado con ácido fosfórico, donde los carbonatos y bicarbonatos son llevados a CO_2 , que es llevado por aire al NDIR (Shimadzu).

PROCESO:

Se prepararon las curvas de calibración para carbono orgánico e inorgánico en matraces de 50 mL, en el primero se utilizó una solución "Stock" de biftalato de potasio 1000 ppm y en el segundo una solución patrón de carbonato/bicarbonato 1000 ppm, más el blanco que fue de agua tipo I.

Posteriormente, se leyeron los estándares, las muestras y el blanco en el autoanalizador TOC 5000 A Shimadzu. El equipo dio los resultados en ppm.

IV.2.A.2. Análisis de metales disueltos en agua de mar

A) Preconcentración del agua de mar

FUNDAMENTO:

El método de extracción de metales, se basa en la formación de complejos del metal, con ditiocarbamato y su extracción con un solvente orgánico. El sistema pirrolidin ditiocarbamato de amonio y di-isobutil cetona (APDC y DIBK) permite la extracción única de varios elementos. El uso de una solución de mercurio (II) permite con el agente complejante APDC/NaDDC (pirrolidinditiocarbamato de amonio/ dietil ditiocarbamato de sodio) extraer la mayoría de los metales "traza", comunes, de importancia ambiental. Además, la extracción con la solución de mercurio (II), no provoca interferencias con la técnica de espectrofotometría debido a su volatilidad. Este método ayuda a disminuir las interferencias causadas por la matriz salina más compleja y la detección de concentraciones bajas del metal (Batterham, 1996; Vega, 2005).

PROCESO (diagrama 3) (Batterham, 1996):

Se ajustó el pH de la muestra aproximadamente a 4.5. Posteriormente, se colocó la muestra en un embudo de separación al cual se le adicionó el agente complejante (APDC/NaDDC y el solvente di-isobutil cetona, se agitó por 10 minutos a 300 rpm. Después, se dejó reposar por 5 minutos para separar las fases, de la cual se tomó la fase orgánica y se colocó 4.5 mL en un tubo de ensaye, en donde se le adicionó la solución de mercurio, se agitó por 2 minutos y se dejó reposar. Finalmente se tomó la fase acuosa y se almacenaron en refrigeración para su posterior análisis.

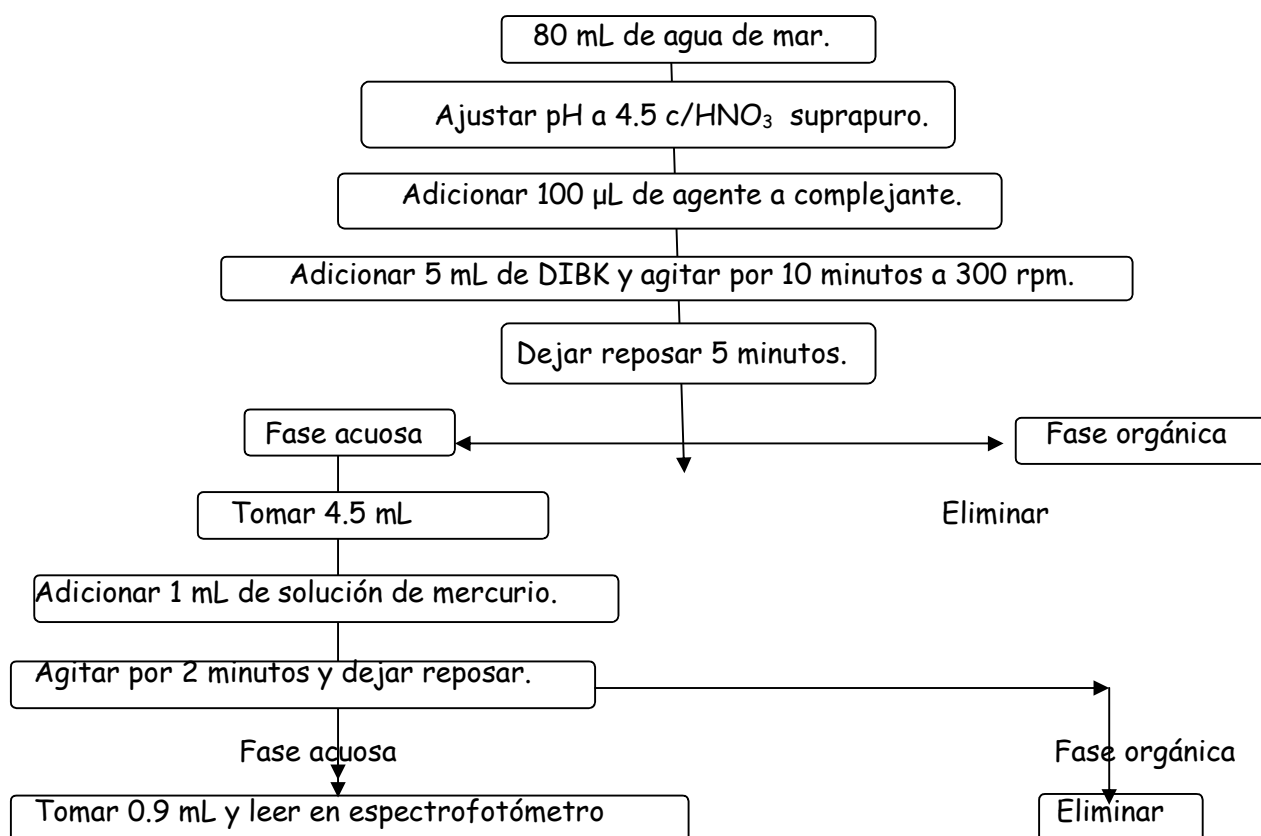


Diagrama 3. Proceso de preconcentración de metales en el agua de mar (Batterham, 1996).

B) Determinación de metales en agua de mar

PROCESO:

Después de la preconcentración, se ajustaron los programas para el análisis de cada metal, según las condiciones de trabajo recomendadas del manual Varian, del espectrofotómetro de absorción atómica por horno de grafito SpectrAA-100 Plus Varian para los metales (Tabla 9).

Se prepararon estándares del metal en estudio y el modificador cuando fue necesario. Fueron colocados los viales con una pequeña cantidad de la muestra de aproximadamente de 10 μL . Posteriormente el automuestreador tomó la alícuota para ser analizada. Finalmente, se determinó el límite de detección (tabla 10), con agua tipo I considerando que en ella se tiene una cantidad muy baja de metales casi nula, se interpretaron los resultados y se calculó la precisión

del método así como el porcentaje de recuperación (Tabla 11) de la muestra (ver trabajo de gabinete), donde se utilizó el material de referencia de agua de mar High Purity Standards.

Tabla 9. Condiciones del programa para metales en agua de mar (Varian, 1988).

Elemento	Cromo	Cobre	Hierro	Níquel	Plomo	Vanadio
Concentración del estándar. CertiPUR, Merck.	100 µg/L	100 µg/L	250 µg/L	100 µg/L	100 µg/L	100 µg/L
Curva	30, 60, 90 µg/L	30, 60, 90 µg/L	50, 100, 150, 200 µg/L	30, 60, 90 µg/L	20, 40, 60 µg/L	30, 60, 90 µg/L
Modificador	Paladio 1000 ppm	Nitrato de amonio 10%	No	Nitrato de amonio 10%	Paladio 1000 ppm	Paladio 1000 ppm
Corrector interno	Si	Si	Si	Si	Si	No
Gases	Mezcla* y argón	Argón	Argón	Argón	Mezcla* y argón	Mezcla* y argón
Longitud de onda	217 nm	324.8 nm	248.3 nm	232 nm	217 nm	318.5 nm
Slit	1.0 nm	0.5 nm	0.2 nm	0.2 nm	1.0 nm	0.2 nm
Temperatura de calcinación (°C)	1400	1000	1300	1000	1000	1000
Temperatura de atomización (°C)	2600	2350	2300	2450	2100	2800

*(hidrógeno-argón)

Tabla 10. Límites de detección estimados para metales en agua de mar.

Elemento	Límite de detección (mg/L)
Cobre	0.002
Cromo	ND
Hierro	ND
Níquel	0.0014
Plomo	0.006
Vanadio	0.052

ND: no determinado

Tabla 11. Validación del método para agua de mar

Elemento	Valor certificado ($\mu\text{g/L}$)	Valor obtenido ($\mu\text{g/L}$)	% de recuperación	C. V. (coeficiente de variación)
Cobre	10	8.07	85.69	3.56
Cromo*	0.3	-	-	-
Hierro*	20	-	-	-
Níquel**	1.0	1.01	101.09	1.18
Plomo	3.77	3.70	98.23	2.12
Vanadio	0.28	0.25	87.80	3.43

* No fueron validados (Porcentajes de recobro bajos). **Se validó con adición en agua Tipo 1.

IV.2.B.MATERIAL SUSPENDIDO

En el material suspendido se hizo la preparación de la muestra para su cuantificación y posteriormente se le hizo el análisis de metales en el mismo (Diagrama 4).

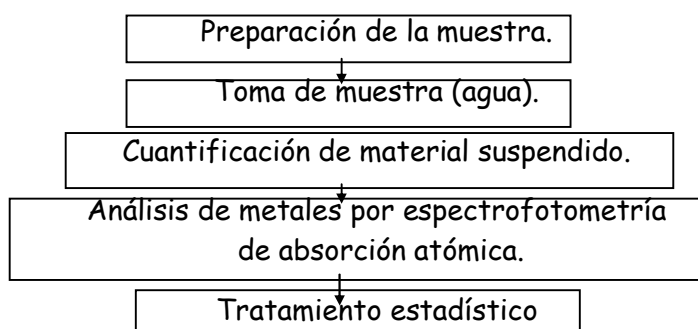


Diagrama 4. Procedimiento general para separar y analizar los metales en el material suspendido.

IV.2.B.1. Cuantificación del material suspendido

PROCESO:

Para cuantificar el material suspendido, los filtros Millipore fueron secados a 50 °C, posteriormente, se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron; por diferencia de pesos se determinó el material suspendido (SPM), reportándose en mg/ L, éste es calculado con el peso de SPM retenido en el filtro en relación con el volumen de agua que se filtró.

IV.2.B.2. Análisis de metales en material suspendido

A) Digestión de filtros con material suspendido para el análisis de metales

PROCESO (Loring y Rantala, 1992; CEM Corporation):

Una vez que se cuantificó la cantidad de material suspendido, se realizó el análisis de metales, para lo cual los filtros se transfirieron a las bombas de teflón y se les adicionaron 2 mL de agua regia (HNO_3 - HCl 1:3 v/v) y 2 mL de HF, posteriormente, digirió en un equipo de microondas con sistema de digestión marca MDS 2000 (Tabla 12). Después de la digestión, en un matraz aforado de 10 mL se le adicionó 0.5 g de ácido bórico y se transfirió el contenido de la bomba al matraz, se aforó, para su posterior determinación en el espectrofotómetro. Para la estandarización del método, se utilizaron dos estándares certificados: el estándar certificado MESS-3 y el estándar certificado HISS-1, de los cuales se pesaron 0.02g para el primero y 0.05g para el segundo y se colocó un filtro; además se prepararon 10 blancos, para cada análisis bajo las mismas condiciones del análisis de las muestras (Tabla 12).

Tabla 12. Condiciones de extracción de metales en material suspendido (Cerón, 2004).

MEZCLA DE REACTIVOS.	CONDICIONES EN EL EQUIPO.
2 mL de ácido fluorhídrico y 2 mL de agua regia (HNO_3 - HCl 1:3 v/v)	6 minutos con 10 bombas, 100% power, 630 W, sin presión.

B) Análisis por espectroscopia de absorción atómica con horno de grafito y con flama

PROCESO:

Se utilizaron los siguientes equipos: Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito SpectrAA-100 Plus Varian y Espectrofotómetro de absorción de flama. SpectrAA-100, GTA 100 Varian. El análisis de cada metal se realizó, según las condiciones de trabajo recomendadas del manual Varian (1988; 1989), del espectrofotómetro de absorción atómica para cada uno de los metales (Tabla 13). Se prepararon estándares del metal en estudio y cuando fue

necesario se utilizó modificador, sólo en el caso del calcio y hierro se utilizó el EAA de flama (Tabla 13).

Tabla 13. Condiciones del programa para el análisis de metales en material suspendido (Varian, 1988 y 1989).

Elemento	Aluminio	Calcio	Cromo	Cobre	Hierro	Manganeso	Níquel	Plomo	Vanadio
Concentración del estándar	1000 µg/L	**	100 µg/L	100 µg/L	**	50 µg/L	100 µg/L	100 µg/L	100 µg/L
Curva	300, 600, 900 µg/L	0.5, 1, 1.5, 2 mg/L	30, 60, 90 µg/L	30, 60, 90 µg/L	2, 4, 6, 8 mg/L	15, 30, 45 µg/L	30, 60, 90 µg/L	30, 60, 90 µg/L	30, 60, 90 µg/L
Modificador	No	Cloruro de potasio. 2000 µg/mL	No	Paladio 1000 ppm	No	No	Paladio 1000 ppm	Paladio 1000 ppm	Paladio 1000 ppm
Corrector interno	No	No	No	Si	No	Si	Si	Si	No
Gases	Argón	Óxido nitroso-acetileno	Mezcla* y argón	Argón	Aire-acetileno	Argón	Mezcla * y argón	Mezcla * y argón	Mezcla* y argón
Longitud de onda (nm)	309.3	422.7	357.9	324.8	248.3	279.5	232	217	318.5
Slit	0.5 nm	0.5 nm	0.5R nm	0.5 nm	0.2 nm	0.2 nm	0.2 nm	1.0 nm	0.2 nm
Temperatura de calcinación (°C)	1200	**	1000	900	**	1000	900	1000	1200
Temperatura de atomización (°C)	2600	**	2500	2350	**	2400	2550	2150	2800

*(hidrógeno-argón) ** Se realizó por flama por lo que las condiciones no están determinadas.

Además, se determinó el límite de detección (tabla 14) del equipo, con agua tipo I, considerando que en ella se tiene una cantidad muy baja de metales, casi nula, esto para el espectrofotómetro de absorción atómica por horno de grafito y se realizaron 2 estándares más bajos para su determinación por flama (el equipo trabaja con unidades de masa y volumen). Se hicieron los cálculos pertinentes y se interpretaron los resultados (Tabla 15).

Tabla 14. Límites de detección estimados para material suspendido.

Elemento	Límite de detección (mg/L)
Aluminio	0.0326
Calcio	0.0204
Cobre	0.0057
Cromo	0.0009
Hierro	0.0309
Manganeso	0.0014
Níquel	0.0011
Plomo	0.0078
Vanadio	0.0024

Tabla 15. Validación del método por absorción atómica por flama (calcio y hierro) y horno de grafito para material suspendido.

Elemento	MESS-3				HISS-1			
	Valor certificado (mg/Kg)	Valor obtenido (mg/Kg) $X \pm \sigma$	% de recuperación	C. V.	Valor certificado (mg/Kg)	Valor obtenido (mg/Kg) $X \pm \sigma$	% de recuperación	C. V.
Aluminio	8.59±0.23	8.67±0.37	100.93	4.27 (n=10)	0.73±0.05	0.74±0.05	101.37	6.77 (n=10)
Calcio	1.47±0.06	1.51±0.17	102.72	11.55 (n=11)	1.14±0.10	1.13±0.10	99.12	8.92 (n=12)
Cobre	33.9 ± 1.6	33.6±2.44	99.11	7.27 (n=14)	2.29 ± 0.37	2.31±0.08	100.87	3.45 (n=12)
Cromo	105±4	104.64±4.31	99.66	4.12 (n=10)	30.0±6.8	—	—	—
Hierro	4.34±0.11	4.44±0.12	102.40	2.69 (n=12)	0.246±0.009	0.237±0.01	96.34	4.25 (n=13)
Manganeso	324±12	323.9±14	99.97	4.32 (n=10)	66.1±4.2	65.26±4.57	98.73	7.00 (n=10)
Níquel	46.9±2.2	47.71±1.35	101.72	2.84 (n=12)	2.16±0.29	2.22±0.23	102.78	10.57 (n=8)
Plomo	21.1±0.7	20.88±1.24	98.96	5.95 (n=10)	3.13±0.40	3.06±0.35	97.76	11.44 (n=10)
Vanadio	243±10	250.12±10.90	102.93	4.36 (n=10)	6.80±0.78	6.78±0.52	99.70	7.62 (n=13)

n = tamaño de muestra

* Valores en %

- No se validó.

IV.2.C. SEDIMENTO

IV.2.C.1. Granulometría

Para poder determinar el tamaño de partícula, en el estudio, se tomó una pequeña cantidad de sedimento en sus condiciones originales, y se colocó en el aparato Coulter LS230 que mide el tamaño de partículas por láser.

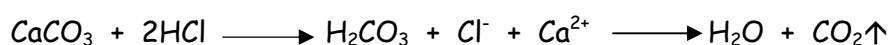
IV.2.C.2. Preparación de muestras

Para preparar la muestra se tomó una pequeña porción del sedimento, el cual fue secado en la estufa a 50° C por un tiempo que depende de la humedad de las muestras que va de 1 a 2 días. Una vez seco se molió en un molino SPEX 8000 Mixer /Mill.

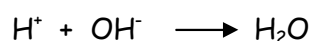
IV.2.C.3. Determinación de carbonatos

FUNDAMENTO:

Esta determinación se basa en el principio de retrotitulación, a la muestra de sedimento se le agrega un exceso de volumen de ácido clorhídrico 0.1N, el exceso de ácido que no reaccionó es titulado con hidróxido de sodio.



Reacción de titulación:



PROCESO:

Se pesaron 0.2 gramos de sedimento, previamente secado y molido, por duplicado, se colocaron en vasos de precipitado de 250 mL y se les adicionaron 10 mL de HCl 0.1 N. Después se calentaron a ebullición y se dejaron enfriar. Se prosiguió con la titulación, se añadieron unas gotas de azul de

bromotimol (indicador) y se tituló con hidróxido de sodio NaOH al 0.3 N, fue anotado el volumen consumido. Se hicieron 5 blancos que no contuvieran sedimento. Para validar se utilizó un estándar interno de CaCO₃, se pesaron 0.05 gramos de éste, para 10 repeticiones. Se les adicionaron 25 mL de HCl, se calentaron a ebullición y se dejaron enfriar. Para titular se uso hidróxido de sodio NaOH al 0.1 N y al igual que con las muestras se realizaron 5 blancos. La fórmula utilizada para determinar el porcentaje de carbonatos fue la siguiente:

$$\% \text{ de carbonato} = \frac{(V_b - V_m) * N_{NaOH} * meq * 100}{W(g)}$$

V_b = volumen gastado del blanco

V_m = volumen gastado de la muestra

W = peso de la muestra

meq = miliequivalentes del carbono = 0.05

N = normalidad del NaOH

Se obtuvo el 99.71 % de recuperación, en promedio, que se encuentra dentro del rango aceptable, con 20 muestras efectuadas (Tabla 16).

Tabla 16. Resultados de la validación del método para carbonatos

Valor esperado % CaCO ₃	100
Valor obtenido % CaCO ₃ (n= 20)	99.71
Desviación estándar	1.34
C.V. (coeficiente de variación)	1.34
% de recuperación	99.71
Rango de porcentaje de recuperación valido	97-103

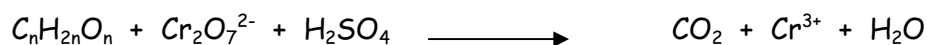
n = tamaño de muestra

IV.2.C.4. Determinación de carbono orgánico

FUNDAMENTO:

En el mar, la materia orgánica se puede dividir en dos categorías: materia disuelta y materia orgánica particulada. En la determinación de materia orgánica particulada es usado el método por titulación que se basa en la oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio 1N y ácido

sulfúrico con calentamiento como se muestra en la siguiente reacción:



El exceso de dicromato de potasio es determinado por titulación con una disolución de sulfato ferroso. Este método presenta algunas interferencias por la presencia de compuestos inorgánicos: $CaCO_3$, Cl^- , Fe^{3+} y óxido de manganeso. El ión cloruro reduce el cromato interfiriendo en la oxidación del carbono orgánico, esta interferencia es eliminada usando el ácido fosfórico. Los iones hierro son eliminados con la adición de fluoruro de sodio.

PROCESO (Diagrama 5):

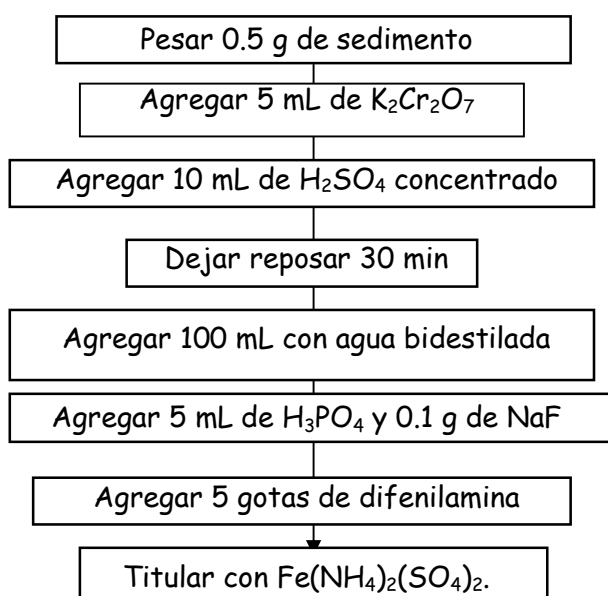


Diagrama 5. Determinación de carbono orgánico en sedimentos superficiales.

Se pesaron 0.8 gramos de muestra por duplicado, se colocaron en matraces de 500 mL y se les adicionaron 5 mL de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$ 1.0 N) y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4/Ag_2SO_4), se dejaron reposar 30 minutos. Posteriormente, se agregaron 100 mL de agua bidestilada, 5 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4) y 0.1 gramo de fluoruro de sodio (NaF). Para titular se añadieron 15 gotas de difenilamina (indicador) y se tituló con sulfato ferrosos amoniacal ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$) al 0.5 N, fue anotado el volumen consumido.

Se hicieron 5 blancos que no contengan sedimento. La fórmula utilizada para determinar el porcentaje de carbonatos fue la siguiente:

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

T = mL de sulfato ferroso en la titulación de la muestra

S = mL de sulfato ferroso en la titulación del blanco

W = peso de la muestra

0.003 = 12/4000 = peso miliequivalentes del carbono

1.0 N = concentración de la solución de dicromato de potasio

5 = alícuota de la solución de dicromato de potasio en mL

Tabla 17. Resultados de la validación del método carbono orgánico

Valor esperado	39.99 % dextrosa
Valor obtenido (n= 19)	39.38 % dextrosa
Desviación estándar	1.69
C.V. (coeficiente de variación)	4.30
% de recuperación	98.48
Rango de porcentaje de recuperación valido	97-103

n = tamaño de muestra

Para la validación se pesaron 0.1 gramos de dextrosa, para 10 repeticiones, se colocó la dextrosa en matraces, se le añadió lo doble de lo que se le había adicionado a las muestras, se dejó reposar 30 minutos. Posteriormente, se agregó agua bidestilada hasta llegar a la marca de 250 mL, se adicionaron 10 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4) y 0.2 gramos de fluoruro de sodio (NaF). Para titular se utilizó sulfato ferrosos amoniacal ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$) al 0.5 N y se añadieron unas gotas de la difenilamina. Se prepararon 5 blancos los cuales no contenían muestra. Se obtuvo el 98.48 % de recuperación en promedio con 19 muestras las efectuadas (Tabla 17).

IV.2.C.5. Determinación de metales en sedimento

La determinación se realiza por espectroscopia de absorción atómica para elementos traza y por fluorescencia de rayos X para elementos mayoritarios.

Elementos mayoritarios

El análisis se realizó en el Instituto de Geología, en el laboratorio de Fluorescencia de Rayos X-LUGIs. La fluorescencia de rayos X (FRX) es un método ampliamente utilizado para la identificación cuantitativa y cualitativa de los elementos que tienen los números atómicos mayores que los del oxígeno.

Tabla 18. Trazabilidad del estándar AGV-1 para los elementos mayoritarios.

Elementos	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ †*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PxC**	Suma
Valor (%)	58.82	1.04	16.67	6.77	0.09	1.54	4.94	4.18	2.95	0.51	0	97.51

*Total

**PxC= Pérdida por calcinación.

Para validar al método se usó el estándar AGV-1, del cual se realizó la trazabilidad. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 22, donde la suma de cada parte debe llegar el 100%.

Elementos "traza"

A) Extracción de metales

De acuerdo a Loring y Rantala (1992), los métodos para la descomposición total de sedimentos requieren el uso de ácido fluorhídrico en combinación con ácidos oxidantes concentrados tal como el agua regia, ya que el ácido fluorhídrico es el único ácido que disuelve completamente las estructuras minerales de los silicatos y libera los metales asociados como aluminio, hierro y litio.

PROCESO:

La extracción de las muestras se realizó de dos formas diferentes una fue para leer por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito y la otra para leer por espectrofotometría de absorción atómica con flama.

Tabla 19. Métodos de extracción de metales en sedimentos empleados en este estudio (Loring y Rantala, 1992).

DIGESTIÓN	MEZCLA DE REACTIVOS.	CONDICIONES EN EL EQUIPO.
Para leer en espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito.	2 mL de ácido fluorhídrico y 2 mL de agua regia (HNO ₃ - HCl 1:3 v/v)	6 minutos con 10 bombas, 100% power, 630 W, sin presión.
Para leer en espectrofotómetro de absorción atómica de flama.	10 mL de agua, 5 mL de ácido nítrico, 4 mL de ácido fluorhídrico y 1 mL de ácido clorhídrico	50 minutos con 10 bombas, 80% power, 630 W, con presión (2 tiempos de 25 y presión de 80 y 100 psi, respectivamente).

Para leer por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, se pesaron 0.02 gramos de sedimento y se pasó a la bomba de teflón, donde se adicionaron los reactivos (tabla 19) y se colocaron las bombas en el microondas (Tabla 19). Después, se dejaron enfriar las muestras, se traspasaron a un matraz de vidrio aforado de 10 mL y se aforaron con agua tipo I, posteriormente se almacenaron. En las muestras para leer por espectrofotómetro de absorción atómica por flama se pesaron 0.25 gramos de sedimento, se procedió de la misma manera (Tabla 19) con la diferencia de que se aforó a 25 mL.

En la estandarización del método se utilizaron dos estándares certificados: el estándar certificado MESS-3 y el estándar certificado HISS-1, de los cuales se pesaron 10 muestras de 0.2 g y 0.4 g, para ambos respectivamente, esto en el caso del análisis por flama. Para el análisis por horno de grafito se pesaron 0.02g del estándar MESS-3 y 0.05g del estándar HISS-1, además se prepararon 10 blancos para cada análisis, bajo las mismas condiciones de análisis que en las muestras (Tabla 19).

B) Análisis de metales "traza"

PROCESO:

Para el análisis se utilizaron el espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito SpectrAA-10 Plus Varian y el espectrofotómetro de absorción de flama. SpectrAA-100, GTA 100

Varian. Se realizaron los programas para el análisis de cada metal, según las condiciones de trabajo recomendadas en el manual Varian del espectrofotómetro de absorción atómica para los metales (Tabla 20). Se prepararon estándares del metal en estudio y se usó el modificador cuando fue necesario, sólo en el caso del plomo y níquel se utilizó el EAAHG.

Tabla 20. Condiciones del programa para el análisis de metales en sedimentos (Varian, 1988 y 1989).

Elemento	Cromo	Cobre	Níquel	Plomo	Vanadio	Zinc
Concentración del estándar	**	**	100 µg/L	100 µg/L	**	**
Curva	0.25, 0.5, 1, 2, 4 mg/L	0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25 mg/L	30, 60, 90 µg/L	30, 60, 90 µg/L	1, 2, 3, 4, mg/L	0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.2 mg/L
Modificador	-	-	Paladio	Paladio	-	-
Corrector interno	No	No	Si	Si	No	Si
Gases	Aire- acetileno	Aire- acetileno	Mezcla* y argón	Mezcla * y argón	Óxido nitroso-acetileno	Aire- acetileno
Longitud de onda	357.9 nm	324.7 nm	232 nm	217 nm	318.5 nm	213.9 nm
Slit	0.2 nm	0.5 nm	0.2 nm	1.0 nm	0.5 nm	1.0 nm
Temperatura de calcinación (°C)	-	-	900	1000	-	-
Temperatura de atomización (°C)	-	-	2550	2150	-	-

*Hidrógeno-Argón.

** Se realizó por flama por lo que las condiciones no están determinadas.

Tabla 21. Límites de detección estimados para sedimentos.

Elemento	Límite de detección (mg/L)
Cobre	0.014
Cromo	0.050
Níquel	0.001
Plomo	0.005
Vanadio	0.019
Zinc	0.013

Además, se determinó el límite de detección (tabla 21) con agua tipo I, considerando que en ella se tiene una cantidad muy baja de metales, casi nula, esto para el espectrofotómetro de absorción atómica por horno de grafito y se elaboraron 2 estándares más bajos para su

determinación por flama. Se hicieron los cálculos pertinentes y se interpretaron los resultados (Tabla 22).

Tabla 22. Validación del método por absorción atómica por flama y horno de grafito (níquel y plomo) para el análisis de metales en sedimentos.

Elemento	MESS-3				HISS-1			
	Valor certificado (mg/Kg)	Valor obtenido (mg/Kg) $\bar{X} \pm \sigma$	% de recobro	C. V. (coeficiente de variación)	Valor certificado (mg/Kg)	Valor obtenido (mg/Kg) $\bar{X} \pm \sigma$	% de recobro	C. V. (coeficiente de variación)
Cobre	33.9 ± 1.6	33.7 ± 0.9	99.55	2.67 (n=20)	2.29 ± 0.37	2.36 ± 0.29	103.06	12.5 (n=16)
Cromo	105 ± 4	105.6 ± 2.2	100.59	2.10 (n=16)	30.0 ± 6.80	16.45 ± 2.25	54.83	13.7 (n=20)
Níquel	46.9 ± 2.2	46.2 ± 3.1	98.53	6.75 (n=20)	2.16 ± 0.29	2.04 ± 0.22	94.44	10.9 (13n=)
Plomo	21.1 ± 0.7	22.15 ± 2.69	104.9	12.13 (n=9)	3.13 ± 0.40	2.97 ± 0.21	94.89	7.07 (n=11)
Vanadio	243 ± 10	246 ± 8.14	101.23	3.30 (n=10)	6.80 ± 0.78	6.88 ± 0.63	101.18	9.22 (n=9)
Zinc	159 ± 8	155.91 ± 6.12	97.56	3.93 (n=20)	4.94 ± 0.79	4.97 ± 0.04	100.61	0.75 (n=16)

n = tamaño de muestra

IV.3. TRABAJO DE GABINETE

Para el tratamiento de los resultados se utilizó la estadística descriptiva, el software SURFER 8.0 y STATISTICA 6.0, se determinó el límite de detección y el factor de enriquecimiento que a continuación se describirán.

IV.3.A. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Se realizó la estadística descriptiva, calculando el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación (Tabla 23) (Valcárcel, 1999), los cuales fueron empleados para conocer la precisión de las técnicas usadas. Asimismo se calculó el porcentaje de recuperación de materiales certificados o estándares internos.

Tabla 23. Fórmulas estadísticas (Valcárcel, 1999).

Nombre	Fórmulas
Promedio	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$
Desviación estándar	$CV = \frac{\sigma * 100}{\bar{X}}$
Coeficiente de variación	$\sigma = S = \text{Desviación Estándar}$ $CV = \frac{\sigma * 100}{\bar{X}}$

Donde S o σ son desviación estándar

La precisión se define como la concordancia mutua entre los valores numéricos de dos o más medidas replicados o medidas que se han realizado de la misma forma. Los parámetros de calidad de la precisión son la desviación estándar, el coeficiente de variación y la varianza (Valcárcel, 1999), donde para este estudio se usó el primero. La exactitud describe si el resultado experimental es el correcto (Valcárcel, 1999; Skoog et al., 2001), donde para fines de este trabajo se utilizó el porcentaje de recuperación, el cual se determinó de la forma siguiente:

$$\% \text{Recuperación} = \frac{\text{Valor obtenido}}{\text{Valor esperado}} \times 100$$

Valor obtenido: concentración del estándar determinado experimentalmente.

Valor esperado: concentración del estándar certificado

Así mismo, como se mencionó anteriormente, se obtuvieron los límites de detección de las técnicas (cabe mencionar que el límite de detección fue del equipo, por lo que en todos los casos las unidades están dadas por masa-volumen), los cuales se realizaron corriendo 10 veces la muestra y la curva de calibración se realizó por triplicado. Posteriormente se calculó el promedio y la desviación estándar de las absorbancias que se registraron.

$$\text{Límite de detección} = \text{L.D.} = \bar{X} + 3\sigma \text{ donde:}$$

\bar{X} =promedio de las absorbancias.

σ =desviación estándar de las absorbancias.

Para obtener el límite de detección en unidades de concentración se tomaron los datos de la curva en que se corrió el agua. Con la ecuación de regresión lineal, donde el límite de detección calculado anteriormente es "y", "b" la ordenada al origen y "m" la pendiente; fue despejada "x" la cual, como el valor está en $\mu\text{g/L}$ se divide entre 1000 para obtener unidades de mg/L , estas unidades eran las deseadas por nosotros.

$$y = mx + b$$

$$x = y - b/m$$

$$x/1000 = \text{L.D. (mg/L)}$$

IV.3.B. DISTRIBUCIÓN DE LAS VARIABLES

Para mostrar la información obtenida a manera de mapas se utilizó el software llamado SURFER versión 8, este programa se basa en una serie de gráficos, en el cual interpola la irregularidad del espacio XYZ (Surfer, 1999). A su vez, proporcionó la información del tipo de distribución que existe en el área, para ello se realizó una matriz conformada de tres ejes, en este caso fueron llamados latitud, longitud y concentración; latitud ocupó el eje de las ordenadas y la longitud el eje de las abscisas. Posteriormente, fue seleccionada una variable Z, en este caso las concentraciones de metales en el área de estudio. Para este trabajo, se seleccionó el método Kriging, ya que proporcionó un mapa más claro y sencillo de explicar, se utilizaron los contornos para identificar los valores máximos.

También se utilizó el software llamado STATISTICA versión 6.0, para ver cómo se organizaban las estaciones, por lo que se usó una técnica exploratoria llamada análisis de cluster o diagrama de árbol (dendograma), en el cual se realizan conglomerados.

IV.3.C. NORMALIZACIÓN

En geoquímica es común el empleo del método de normalización para tratar a los datos de sedimentos, el cual implica la utilización de los elementos conservativos. A los elementos conservativos se les asume que tienen un origen uniforme en las rocas de la corteza, las cuales son erosionadas hasta la depositación (Horowitz, 1991). Además; se considera el tamaño de partícula, ya que es uno de los factores más importantes en controlar la distribución de los metales "traza" naturales en sedimentos. Los elementos que se han usado para estos fines son el aluminio, el titanio, cesio y el litio. Este tipo de normalización se determina con una simple relación empleando elementos conservativos (Horowitz, 1991):

$$\text{(Concentración del elemento traza)} / \text{(Concentración del elemento conservativo)}$$

Sin embargo, la normalización con los elementos conservativos puede significar alterar los datos y algunas veces aclara los patrones de distribución.

Los procesos de normalización se dividen en dos: normalización simple y normalización matemática (Loring y Rantala, 1992), en ambos se usa un factor de referencia. El factor de referencia se debe estimar por: la equivalencia entre el promedio de las concentraciones del metal con la textura de los sedimentos, esto de acuerdo a antecedentes; mediciones directas de las concentraciones del metal en sedimentos de regiones conocidas y antiguas; y mediciones directas en núcleos (Loring, 1991; Loring y Rantala, 1992).

Normalización simple. Es considerada la más sencilla y poco costosa, proporciona información relacionada con las características actuales de los sedimentos y la presencia o ausencia de contaminación en el área. Es una aproximación de los datos geoquímicos, donde el tamaño de partícula es comparado con las concentraciones totales del metal de muestras tomadas en los núcleos superficiales (Loring y Rantala, 1992).

Normalización matemática. Este tipo de normalización implica el uso del tamaño de grano, esto para reducir o eliminar el efecto que tiene el tamaño de partícula sobre los metales en los

sedimentos y un metal de referencia que sería conservativo. En este caso es una normalización lineal, por lo que está dada por la ecuación $y=mx+b$. En ésta se utiliza a un metal de referencia y la fracción fina.

Para el presente estudio se usó el método matemático que involucra un modelo lineal, la correlación. El tipo más ampliamente utilizado de coeficiente de correlación es Pearson r , también llamado correlación lineal o del producto-momento. El coeficiente de correlación determina el grado en el cual los valores de dos variables son "proporcionales" el uno al otro. Para este estudio se utilizó el programa STATISTICA 6.0, se realizó una matriz general donde se colocó el número de casos y variables, se utilizó la función de correlación de matrices del programa. De acuerdo con los resultados, la mejor tendencia la presentó el aluminio por lo que éste fue usado como el metal de referencia.

Debido a que es difícil determinar el grado de contaminación en estudios ambientales, se apoyan en algunos métodos como son el factor de enriquecimiento, el cual es una técnica en el área de los aerosoles atmosféricos, sedimentos, suelos y residuos sólidos, para determinar el grado de modificación de su composición (Pekey, 2006). La relación que se usó fue:

$$EF = \frac{\left(\frac{M}{MC}\right)_{MUESTRA}}{\left(\frac{M}{MC}\right)_{REFERENCIA}}$$

Donde EF es el factor de enriquecimiento, $\left(\frac{M}{MC}\right)_{MUESTRA}$ es la relación del metal y el elemento conservativo de la muestra y $\left(\frac{M}{MC}\right)_{REFERENCIA}$ es la relación del metal y el elemento conservativo de la muestra de referencia (Ghrefat et al., 2006).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se realizaron dos muestreos que se llamaron: Gallega y Galleguilla 1 correspondiente a la época de nortes (23 de febrero del 2005), y Gallega y Galleguilla 2 que corresponde a la época de lluvias (17-18 junio 2005). El área de estudio presenta algunas características particulares como son: la poca homogeneidad, la ubicación de dos arrecifes que sirven de barrera y las corrientes que se presentan son distintas en el área, ya que cada parte tiene su propia corriente (corriente local, del lado este de los arrecifes es una y del lado oeste es otra); sin embargo, se tienen direcciones similares en las corrientes de las dos épocas, ya que en febrero se presentó una corriente de 4.58 m/min de este a oeste y ligeramente hacia el sur; y en junio se presentó una corriente de 14.11 m/min; con un movimiento de norte a sur. En general, esto refleja la dinámica del área.

En el mes de febrero se observaron valores de profundidad de 5.79 m (no se tomó en cuenta la estación N8, ya que no se muestreó en junio, debido a la poca profundidad del área) hasta 21.03 m y en junio de 5.79 m a 21 m (Tabla 24). Los cambios más significativos se presentaron en la estación N3 que durante el mes de febrero, cuando fuertes vientos del norte afectan el área; presentó profundidades significativamente más altas (17.98 m en febrero contra 12.2 m en junio); en tanto las estaciones N5 y N7 presentaron profundidades de 2.6 m y 3.3 m de diferencia siendo más bajas en febrero que en junio; por lo que aparentemente los vientos del norte desplazan las masas de agua produciendo estas diferencias. Cabe señalar las irregularidades del terreno donde se tiene una batimetría totalmente heterogénea (Tabla 24); además, el horario del muestreo no fue constante y el GPS tiene una precisión del 95%.

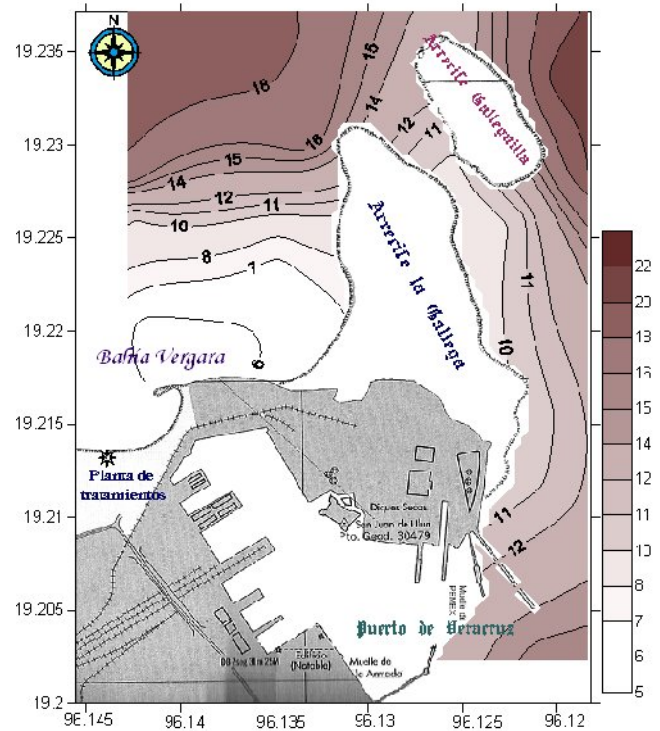
Tabla 24. Batimetría del área de estudio

Estación	Febrero			Estación	Junio		
	Latitud norte(°)	Longitud oeste(°)	Profundidad (m)		Latitud norte(°)	Longitud oeste(°)	Profundidad (m)
N1	19.2108	96.1198	11.28	N1	19.2113	96.1200	11.28
N2	19.2153	96.1200	12.80	N2	19.2157	96.1202	10.97
N3	19.2208	96.1200	17.98	N3	19.2210	96.1200	12.19
N4	19.2258	96.1218	10.97	N4	19.2260	96.1220	10.36
N5	19.2288	96.1182	17.37	N5	19.2287	96.1183	20.00
N6	19.2333	96.1195	21.03	N6	19.2337	96.1198	21.00
N7	19.2262	96.1240	6.71	N7	19.2303	96.1250	10.06
N8	19.2287	96.1237	1.52	N8	s/m	s/m	s/m
N9	19.2370	96.1253	11.89	N9	19.2372	96.1252	12.80
N10	19.2358	96.1337	20.42	N10	19.2360	96.1342	18.29
N11	19.2305	96.1333	17.07	N11	19.2303	96.1333	17.07
N12	19.2248	96.1348	7.62	N12	19.2247	96.1348	7.32
N13	19.2205	96.1420	5.79	N13	19.2203	96.1420	5.79
N14	19.2263	96.1422	10.36	N14	19.2263	96.1425	10.36
N15	19.2320	96.1420	17.68	N15	19.2285	96.1428	17.68
B1	19.2000	96.1200	15.24	S1	19.2023	96.1210	15.54
	Promedio*		13.61		Promedio		13.07
	Desviación estándar*		4.91		Desviación estándar		4.63
	Coefficiente de variación*		36.05		Coefficiente de variación		35.40
	Máximo*		21.03		Máximo		21.00
	Mínimo*		5.79		Mínimo		5.79

s/m: sin muestra ND: no determinado

* No se tomó en cuenta la estación N8 para las operaciones.

En la distribución de profundidad, se pudo observar que las estaciones más profundas fueron las que se ubicaron más lejos de la costa (Figura 10). Además, se observó que las estaciones fueron equivalentes entre una época y otra. En el caso de las estaciones B1 y S1 fueron equivalentes por lo que para el resto de los resultados se utilizó la nomenclatura de S1.



a) Febrero

b) Junio

Figura 10. Distribución de la batimetría (m) en el área de estudio

A continuación se presentan los resultados recabados de acuerdo a cada estrato: agua de mar, material suspendido y sedimento.

V.1 AGUA DE MAR

El agua de mar es una solución en la que principalmente se encuentran disueltos gases y sales, particularmente el cloruro de sodio; tales componentes determinan las características fisicoquímicas del medio. La importancia del agua de mar radica en su influencia en el desarrollo de los organismos, tanto los movimientos como su misma composición han influido en la morfología y evolución de los organismos (Sevilla y Guadarrama, 2005).

Durante los muestreos se obtuvieron muestras del agua del fondo y de la superficie, determinando parámetros importantes como fueron el oxígeno disuelto, temperatura y salinidad, entre otros; posteriormente se determinaron algunos metales.

V.1.A. PARÁMETROS FISIQUÍMICOS

V.1.A.1. Salinidad, conductividad y sólidos totales disueltos

La salinidad del agua de mar representa la cantidad de sólidos disueltos en un kilogramo de agua; este factor, junto con la temperatura y la concentración de oxígeno disuelto en el agua, determinan la distribución de los organismos marinos, sobre todo en la zona litoral, donde por la influencia continental este parámetro suele presentar mayor variación (Sevilla et al., 2005).

Tabla 25. Salinidad de febrero y junio en las aguas del área de estudio

	Febrero		Junio	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Promedio	30.74	33.58	33.42	34.95
Desviación estándar	0.37	1.01	0.30	0.71
Coefficiente de variación (C.V.)	1.20	3.01	0.90	2.02
Máximo	31.60	34.80	33.80	36.2
Mínimo	30.20	31.60	32.50	34.00

Tabla 26. Prueba de t para la salinidad

	Superficie	Fondo	Febrero	Junio
$t_{\text{calculada}}$	-6.441	-1.035	-5.786	-1.130
Valor de tablas $\alpha=0.05$	2.045	2.045	2.042	2.048
Rechaza H_0 si $t > 2.045$ si $t < -2.045$	Si	No	Si	No

En el este estudio, la salinidad en el mes de febrero se presentó en un intervalo de 30.2 a 31.2 en la superficie y de 31.6 a 34.8 en el fondo (Tabla 25). Durante junio la salinidad fue de 32.50 a 33.80 en la superficie y de 34 a 36.2 en el fondo (Tabla 25). Se observó en ambas épocas un intervalo de salinidad más baja en la superficie, debido a la influencia de las descargas continentales. En general, los valores de salinidad en el área fueron más altos en junio, lo cual tal

vez se asocia a una mayor evaporación, debido a que junio corresponde a la época con mayor temperatura en la cuenca, además la columna de agua es más homogénea. En la superficie se obtuvo una diferencia significativa entre una época y otra (Tabla 26).

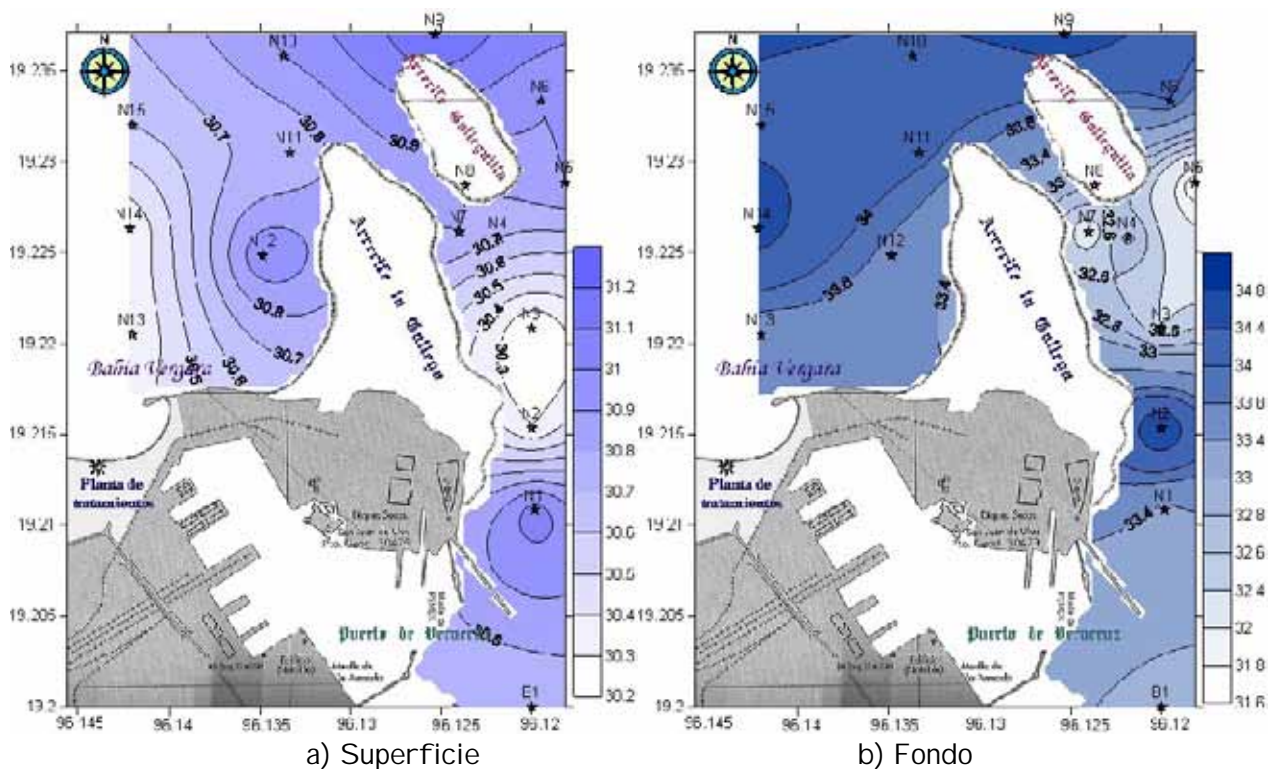


Figura 11. Salinidad de las aguas del área de estudio en febrero

Durante febrero, las estaciones N13 y N14 presentaron los valores más bajos de salinidad (Figura 11), sugiriendo el aporte de una descarga continental en esta zona, ya que se encuentra la planta de tratamientos muy cercana al área. En junio, la estación S1 obtuvo el valor más bajo de salinidad (Figura 12), localizada muy cerca a la entrada del Puerto de Veracruz, por lo que parecería que hay un aporte de las descargas en el puerto.

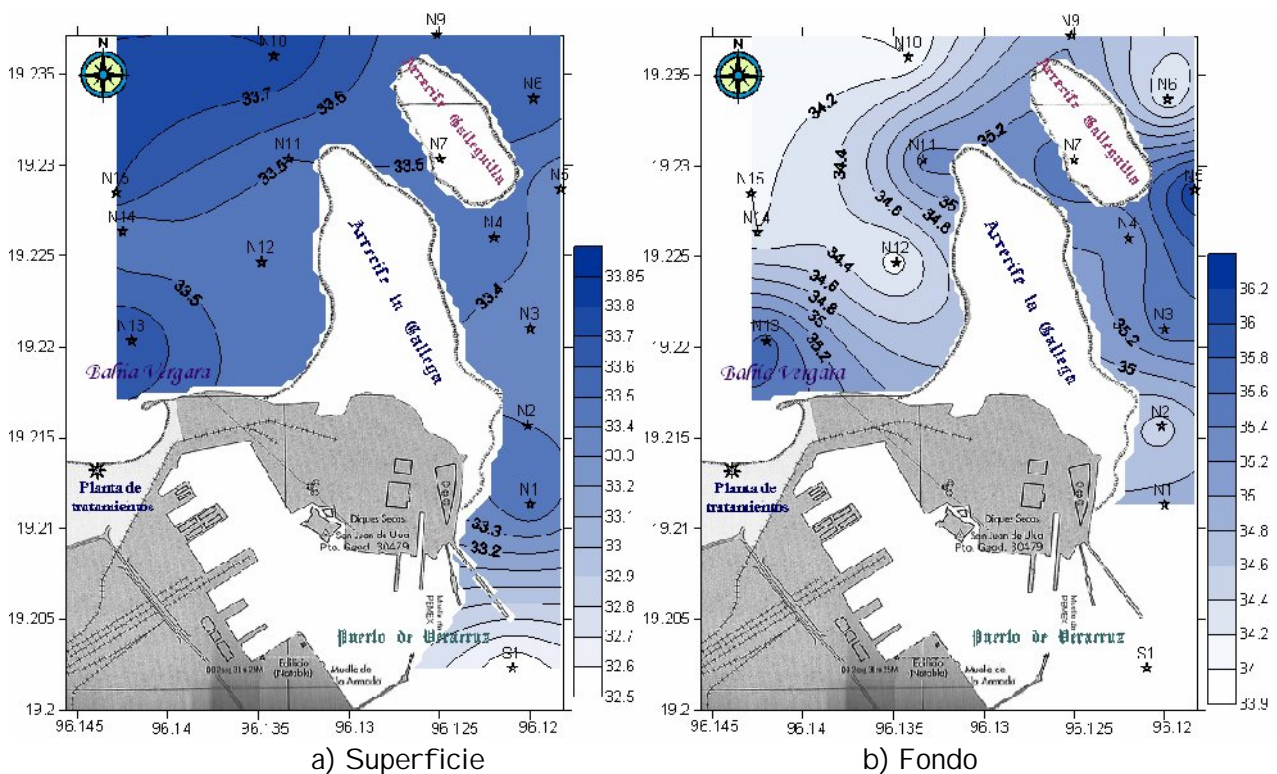


Figura 12. Salinidad de las aguas del área de estudio en junio

Otros parámetros que se midieron fueron la conductividad y los sólidos totales disueltos que tienen una relación muy fuerte con la salinidad.

Durante el mes de febrero se pudo observar que tanto en la conductividad y los sólidos totales los valores fueron altos en el fondo comparados con la superficie (Tabla 27). En junio fueron ligeramente más bajos los valores de los sólidos totales disueltos (Tabla 27). Durante el mes de febrero, se encontró poca variación en los valores en cuanto a la conductividad y los sólidos totales. Al parecer, un factor importante en la variación de los datos fue que el área no es batimétricamente homogénea, siendo la estación más profunda de 21.03 metros y la más somera de 1.52 metros; ya que se pudo observar más de variabilidad en los datos del fondo (Tabla 27).

Tabla 27. Sólidos totales disueltos y conductividad en el área de estudio

Estaciones	TDS				Conductividad			
	Febrero		Junio		Febrero		Junio	
	Sup.	Fondo	Sup.	Fondo	Sup.	Fondo	Sup.	Fondo
N1	30.81	32.38	32.62	34.05	48.08	50.60	50.97	54.09
N2	29.81	29.90	32.36	33.94	46.58	46.82	50.61	53.42
N3	29.79	31.49	32.55	34.17	46.55	49.21	50.70	53.95
N4	30.13	31.95	32.58	33.95	47.06	49.75	50.88	53.06
N5	30.27	30.81	32.40	33.81	47.24	48.14	50.63	52.74
N6	30.27	37.70	32.72	33.18	47.41	51.98	51.07	51.84
N7	30.24	32.56	32.60	35.96	47.25	49.10	50.95	50.02
N8	30.28	36.64	s/m	s/m	47.31	50.02	s/m	s/m
N9	30.59	33.49	32.56	38.65	47.83	52.33	50.90	62.90
N10	30.32	40.27	32.82	33.04	47.49	52.31	51.36	51.59
N11	30.15	35.33	32.59	34.06	47.12	51.75	50.91	53.13
N12	30.44	38.39	32.61	33.11	47.42	51.27	50.96	51.77
N13	29.79	41.82	32.77	33.55	46.73	54.70	51.20	54.37
N14	27.79	39.30	32.54	33.23	46.60	52.30	50.80	57.86
N15	30.06	34.28	32.72	33.23	46.97	54.90	51.21	51.94
S1	30.17	32.06	31.73	ND	47.15	50.09	49.55	ND
Promedio	30.06	34.90	32.54	34.14	47.17	50.95	50.84	53.76
Desviación estándar	0.66	3.68	0.26	1.49	0.43	2.19	0.42	3.19
C.V.	2.19	10.5	0.80	4.38	0.91	4.29	0.82	5.93
Máximo	30.81	41.82	32.82	38.65	48.08	54.90	51.36	62.90
Mínimo	27.79	29.90	31.73	33.04	46.55	46.82	49.55	50.02

s/m: sin muestra

V.1.A.2. Temperatura de las aguas del área de estudio

La temperatura tiene gran importancia debido a que afecta a los procesos químicos que se realizan tanto en tejidos animales como vegetales, además de algunas características fisicoquímicas del medio, como el caso de la viscosidad, la solubilidad y la salinidad. La viscosidad de los líquidos y la solubilidad de los gases aumentan cuando disminuye la temperatura, y la salinidad se comporta con cierta proporcionalidad de acuerdo a la temperatura. En las zonas templadas la temperatura superficial del agua varía de 10 a 18 °C y en las zonas tropicales oscila entre 25 y 30 °C (Sevilla y Guadarrama, 2005).

Tabla 28. Temperatura de las aguas del área de estudio

	Febrero		Junio	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Promedio	24.23	22.98	27.72	26.99
Desviación estándar	0.42	0.64	0.42	1.03
Coefficiente de variación	1.73	2.78	1.51	3.82
Máximo	25.15	24.20	28.93	27.81

Mínimo 23.60 21.77 27.32 23.66

En el presente estudio, en el caso de la temperatura, se registraron temperaturas superficiales del agua de 24.23 a 25.15 °C en febrero y en junio de 27.32 a 28.93 °C (Tabla 28); mientras que para las temperaturas en el fondo fueron de 21.77 a 24.20 °C, en febrero y en junio oscilaron de 23.66 a 27.81 °C (Tabla 28); solo un poco más variable en el fondo. Sin embargo, es claro que el mes de junio es más caluroso (Tabla 28), lo cual tiene que ver con las características del verano. De acuerdo con Sevilla y Guadarrama (2005), el área de estudio es considerada tropical.

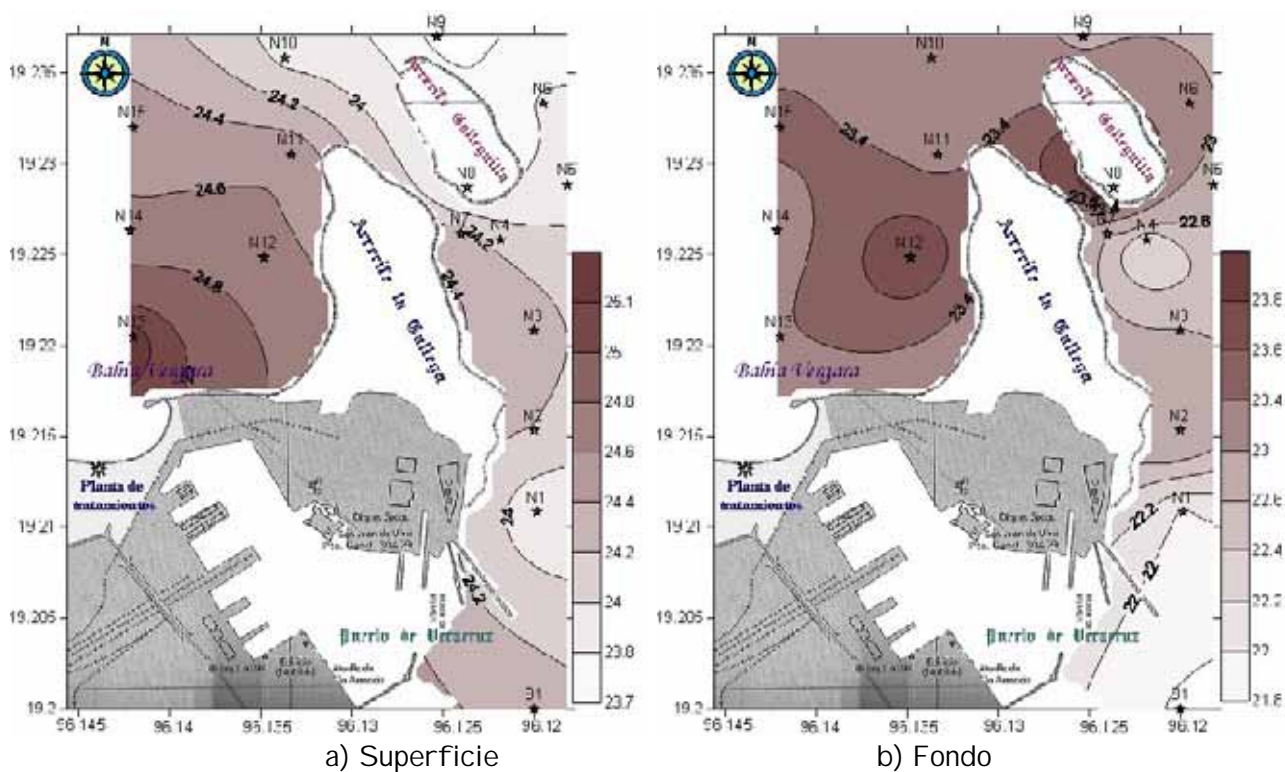


Figura 13. Temperatura de las aguas del área de estudio en febrero

En cuanto a los patrones de distribución, las temperaturas más elevadas se presentaron alrededor del continente (Figura 13 y 14b); exceptuando en la distribución superficial durante junio (Figura 14a), donde se pudo observar que la temperatura fue baja alrededor del continente, probablemente se debió a las descargas en el área y al dinamismo que ejercen sobre el área costera, en comparación con el área lejana al continente la cual podría ser de baja dinámica.

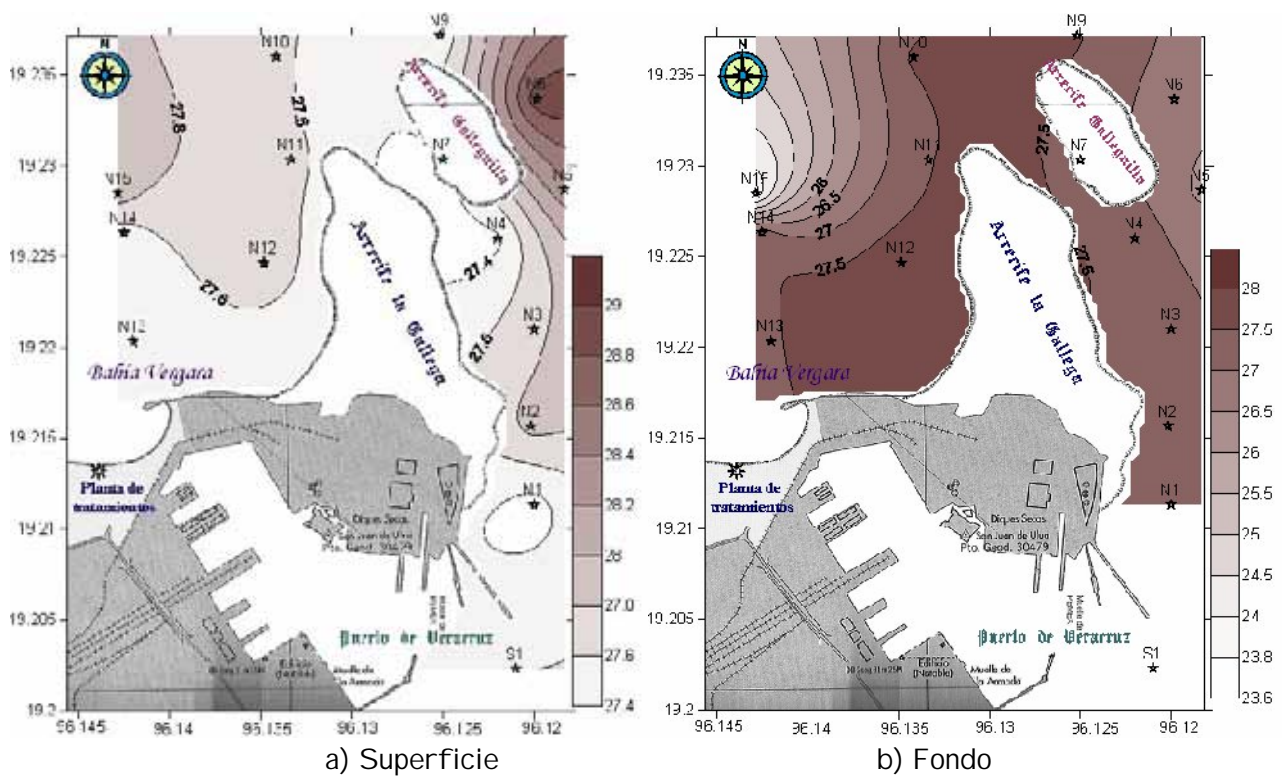


Figura 14. Temperatura de las aguas del área de estudio en junio

V.1.A.3. pH de las aguas del área de estudio

En cuanto al pH, éste es la relación entre la concentración de iones hidronio (H^+) y oxhidrilos (OH^-) que le confiere las características de basicidad o de acidez a una solución. El agua oceánica es ligeramente alcali y va desde 7.5 a 8.4 y varía en función de la temperatura de manera inversa; también puede variar en función de la salinidad, de la presión y la profundidad (Cifuentes et al., 2002).

Tabla 29. pH de las aguas del área de estudio

Estaciones	Febrero		Junio	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
N1	7.99	7.95	7.77	7.71
N2	8.16	8.06	7.68	7.65
N3	8.12	8.02	7.61	7.71
N4	8.11	8.07	7.65	7.73
N5	8.13	8.11	7.70	7.71
N6	8.13	8.06	7.75	7.70
N7	8.12	8.10	7.64	7.72

N8	8.12	8.10	s/m	s/m
N9	8.12	8.05	7.71	7.72
N10	8.13	8.09	7.71	7.70
N11	8.28	8.04	7.70	7.73
N12	8.31	8.11	7.72	7.73
N13	8.53	8.13	7.71	7.70
N14	8.32	8.09	7.67	7.72
N15	8.33	8.09	7.71	7.69
S1	8.17	8.12	7.69	ND
Promedio	8.19	8.07	7.69	7.71
Desviación estándar	0.13	0.05	0.04	0.02
Coefficiente de variación	1.59	0.62	0.52	0.26
Máximo	8.53	8.13	7.77	7.73
Mínimo	7.99	7.95	7.61	7.65
s/m: sin muestra				ND: no detectado

En el estudio, los valores de pH en las aguas superficiales, durante el mes de febrero, se encontraron en un rango de 7.99 a 8.53; en el mes de junio los valores iban de 7.61 a 7.77 (Tabla 29), concordando con lo documentado (Cifuentes et al., 2002). En el caso del fondo los valores para febrero fueron de 7.95 a 8.13 y en junio fueron de 7.65 a 7.73 (Tabla 29); los valores más bajos se encontraron en el fondo. El pH se distribuyó de forma gradual de oeste a este, reportándose los valores más bajos al este del área de estudio. Además, los valores no variaron mucho, como se vio en sus coeficientes de variación (Tabla 30). A pesar de que los valores de pH se mostraron homogéneos, hay una diferencia significativa de una época a otra (Tabla 30).

Tabla 30. Prueba de t para el pH

	Superficie	Fondo	Febrero	Junio
$t_{\text{calculada}}$	2.748	5.822	0.656	-0.227
Valor de tablas $\alpha=0.05$	2.045	2.045	2.042	2.048
Rechaza H_0 si $t > 2.045$ si $t < -2.045$	Si	Si	No	No

V.1.A.4. Oxígeno disuelto de las aguas del área de estudio

El oxígeno disuelto es importante, ya que es una variable que proporciona información respecto: a la productividad primaria y a los procesos de remineralización de carbono; se asocia a las

interacciones atmósfera-océano y a los movimientos de las masas de agua, de las cuales depende su distribución (Gao y Song, 2008). En la superficie, el oxígeno está en equilibrio con la atmósfera siendo sus valores altos, mientras que en las capas profunda la cantidad de oxígeno depende de la temperatura de las aguas. El oxígeno puede variar de 0 a 8.5 mL/L. Por debajo de los 2000 metros la concentración de oxígeno apenas varía, manteniéndose entre 3.4 y 6.6 mL/L en el Atlántico (Cifuentes et al., 2002). El oxígeno del mar puede tener dos procedencias: puede venir de la atmósfera o puede ser producido por la actividad fotosintética de los organismos fotosintéticos que viven en las capas superficiales, donde penetra una conveniente cantidad de luz.

Tabla 31. Oxígeno disuelto (mL/L) de las aguas del área de estudio

	Febrero		Junio	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Promedio	5.92	4.70	4.97	4.85
Desviación estándar	1.32	0.99	0.59	1.07
Coefficiente de variación	22.30	21.06	11.87	22.10
Máximo	9.55	7.56	6.20	6.65
Mínimo	4.36	3.38	3.91	1.89

Para el mes de febrero, el oxígeno disuelto superficial se encontró en cantidades que iban de 4.36 a 9.55 mL/L (Tabla 31), y el fondo presentó concentraciones que iban de 3.38 a 7.56 mL/L (Tabla 31), estas concentraciones son más bajas que en la superficie, porque en el caso de la superficie hay una interacción directa con la atmósfera contrario al fondo.

Tabla 32. Prueba de t para el oxígeno disuelto.

	Superficie	Fondo	Febrero	Junio
$t_{\text{calculada}}$	0.485	-0.122	0.654	0.112
Valor de tablas $\alpha=0.05$	2.045	2.045	2.042	2.048
Rechaza H_0 si $t > 2.045$ si $t < -2.045$	No	No	No	No

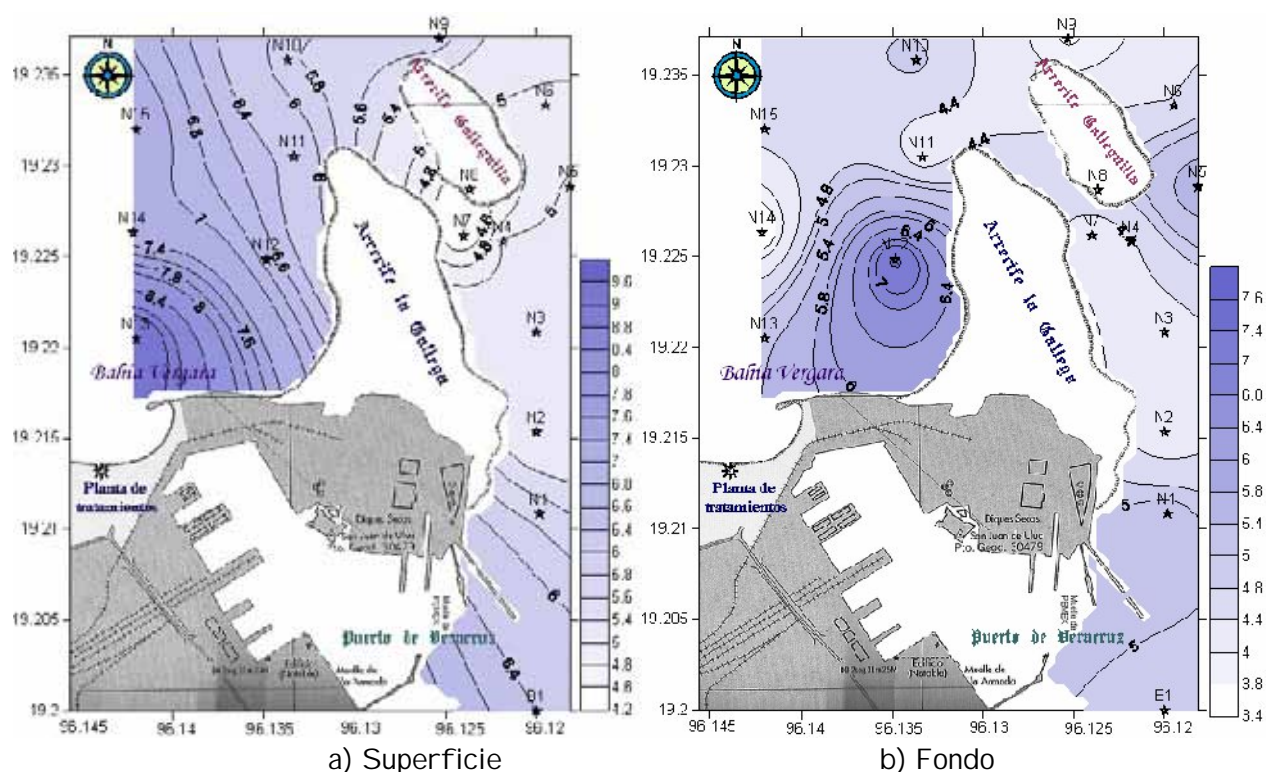


Figura 15. Oxígeno disuelto (mL/L) en las aguas del área de estudio en febrero

Para el mes de junio el oxígeno disuelto en la superficie se encontró en cantidades que iban de 3.91 a 6.20 mL/L y en el fondo de 1.89 a 6.65 mL/L (Tabla 31), donde se pudo observar que son más bajas las concentraciones en junio en comparación con febrero. Además, se observó que hay un valor que indica hipoxia (menor a 2 mL/L; estación S1, durante junio) (Tabla 31), que corresponde a la estación que se encontraba justamente en la entrada del puerto (Figura 16b). A pesar de que parecería que hubo una diferencia entre épocas y superficie y fondo de una misma época, no se encontró una diferencia significativa (Tabla 32).

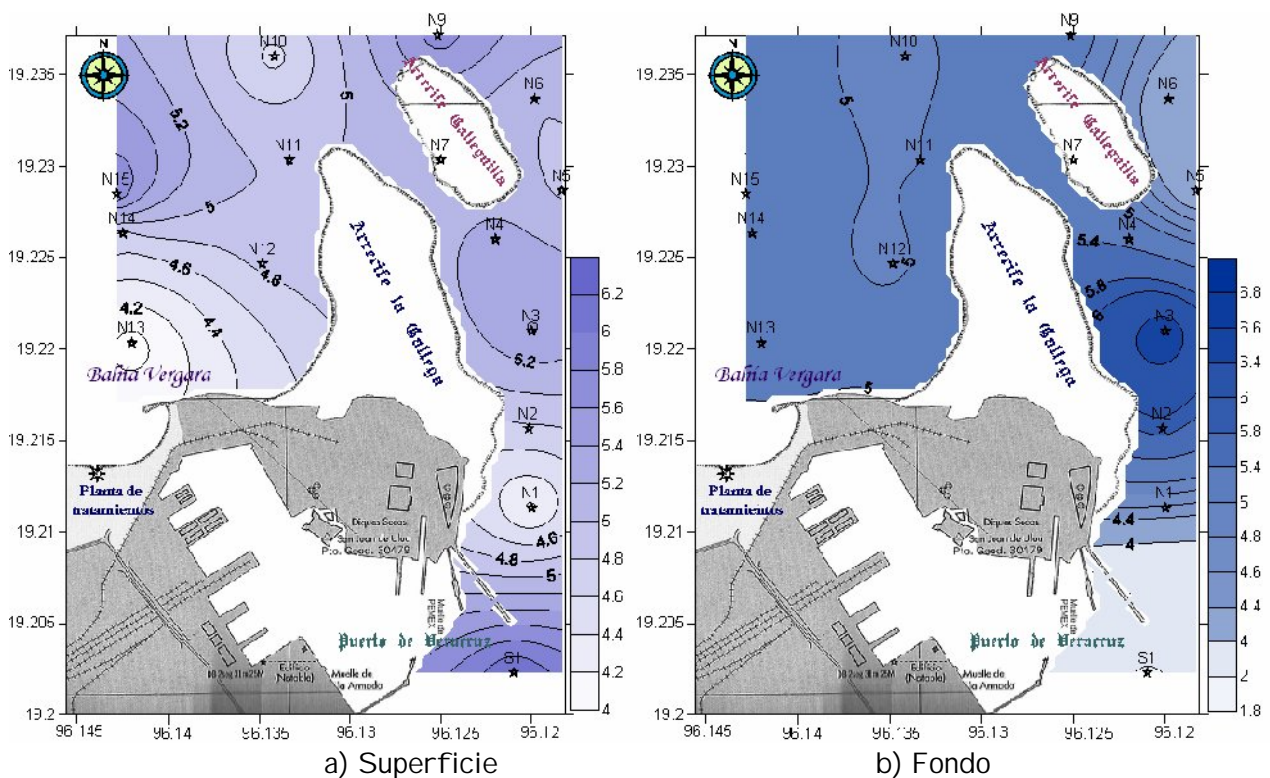


Figura 16. Oxígeno disuelto (mL/L) en las aguas del área de estudio en junio

De acuerdo con los patrones de distribución de febrero, mostraron que una gran parte de oxígeno se concentró en la zona de Playa Norte (Bahía Vergara), esta distribución iba de este a oeste; cabe recalcar que en la distribución superficial la estación N13 obtuvo un valor de 9.55 estando fuera de lo normal (de acuerdo a Cifuentes et al. (2002), se han registrado concentraciones de oxígeno disuelto de 0 a 8.5 mL/L), dicha estación se ubicó cerca de playa norte en donde se localiza la planta de tratamientos (Figura 15a). La distribución de oxígeno presentó un gradiente desde el canal entre los arrecifes hacia la costa, es posible que haya este comportamiento por la actividad biológica (la biodiversidad que se encuentra en los arrecifes de coral) que existe en la zona.

Además, se pudo observar que en la superficie tanto en febrero como junio se vieron niveles más elevados de oxígeno disuelto en la sección de Bahía Vergara, al oeste del área de estudio, mostrando patrones similares. En los patrones de distribución del fondo, para las dos épocas,

presentaron patrones un poco diferentes, en el caso de junio, como ya se ha mencionado anteriormente se tiene una zona de hipoxia al sureste del área (Figura 16).

V.1.A.5. Carbono orgánico total (TOC) en las aguas del área de estudio

En el mar hay cierta cantidad de materia orgánica particulada, así como sustancias orgánicas disueltas que pueden ser empleadas por bacterias, hongos, protozoarios y otros organismos. La presencia de materia orgánica disuelta en el mar se considera originada por las siguientes fuentes: aportes continentales, desintegración de organismos muertos, productos de excreción de zooplancton, metabolitos extracelulares de algas y animales en general. Los materiales orgánicos solubles de origen terrestre llegan al mar tanto a través de corrientes efluentes, como arrastrados por el viento; estos aportes se concentran en la zona costera y sistemas estuarinos (Sevilla y Guadarrama, 2005).

Tabla 33. Carbono orgánico total (ppm) de las aguas del área de estudio

	TOC (ppm)			
	Febrero		Junio	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Promedio	1.95	1.53	1.45	1.50
Desviación estándar	0.51	0.42	0.39	0.26
Coefficiente de variación	26.06	27.55	26.80	17.40
Máximo	2.71	2.26	2.59	2.36
Mínimo	1.11	0.59	1.12	1.20

Para el mes de febrero se obtuvieron valores que oscilaron de 1.11 a 2.71 ppm y de 0.59 a 2.26, en la superficie y en el fondo (Tabla 33), respectivamente. Para el mes de junio las concentraciones fueron de 1.12 a 2.59 ppm y de 1.20 a 2.36 ppm en superficie y fondo respectivamente (Tabla 33).

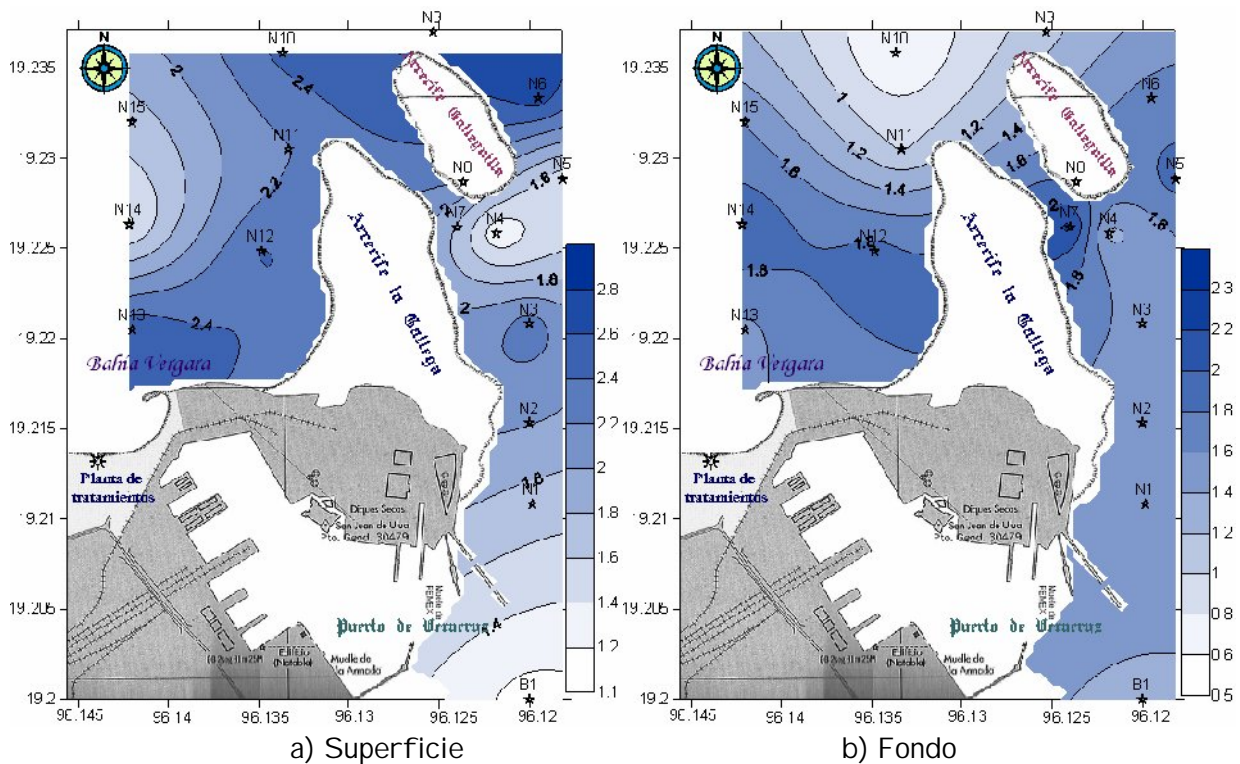


Figura 17. Carbono orgánico total (ppm) en las aguas del área de estudio en febrero

En promedio, los valores más altos de TOC se encontraron en superficie durante el mes de febrero, entre las estaciones con valores más altos se hallaron N13, N12, N11 y N10 que formaron un transecto localizado frente a la planta de tratamiento (Figura 17a). En junio, el valor más alto se observó en la estación N15, en superficie, y N10, en fondo, localizadas hacia el extremo de Bahía Vergara (Figura 18). Como se pudo observar, en el mes de junio se vio un patrón similar al de febrero, que como ya se mencionó anteriormente, la distribución se concentró al noroeste del área.

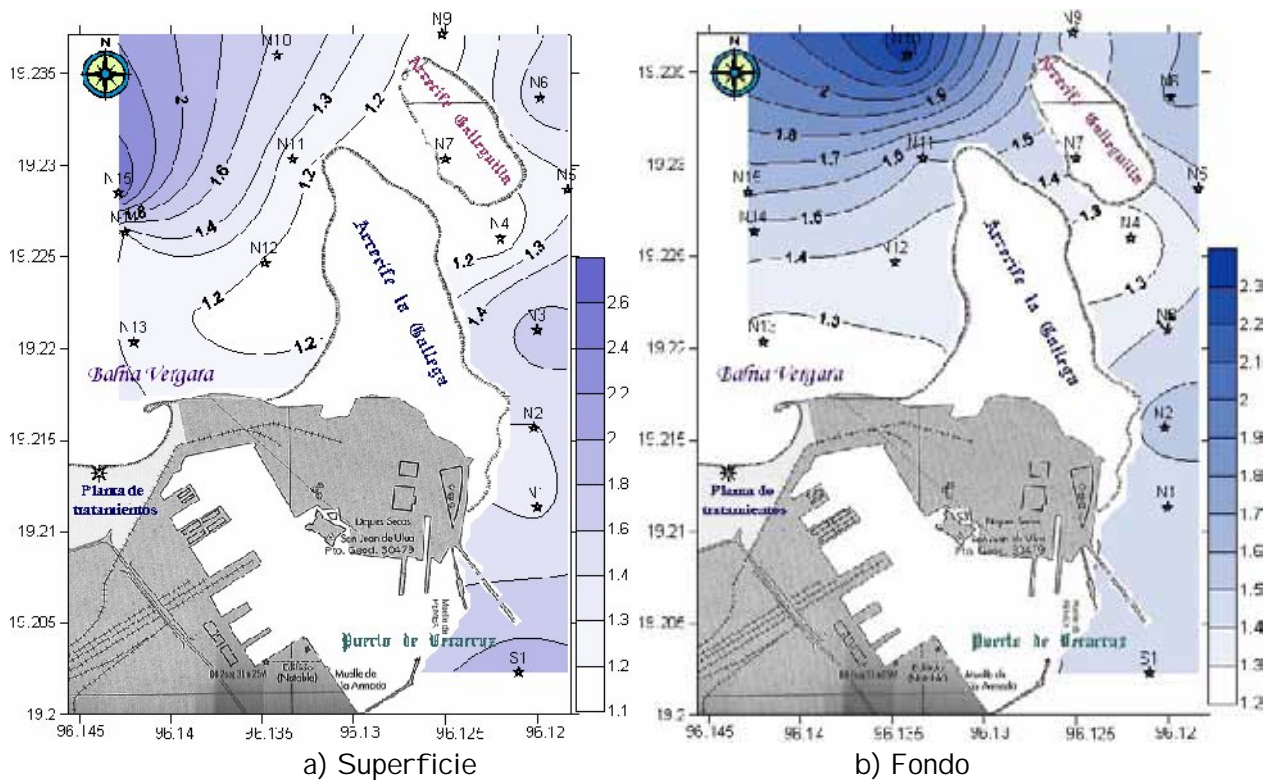


Figura 18. Carbono orgánico total (ppm) en las aguas del área de estudio en junio

V. 1. B. METALES "TRAZA" EN AGUA DE MAR

Dependiendo de sus niveles de concentración, los metales disueltos pueden ser desde inofensivos hasta tóxicos para los organismos marinos. Lo anterior hace cada vez más importante el estudio de metales disueltos en los sistemas acuáticos, donde a través del estudio de su distribución en el medio es posible inferir su origen. En el este estudio se determinaron las concentraciones de cobre, cromo, níquel, plomo, hierro y vanadio, aclarando que los valores de cromo, hierro y níquel, sólo se usaron para conocer las tendencias en la distribución, ya que no fueron validados en su totalidad.

V. 1. B. 1. Cobre disuelto

El cobre disuelto presentó concentraciones elevadas durante el mes de febrero, donde para la superficie se tuvo en promedio 6.67 $\mu\text{g/L}$ y en el fondo de 13.82 $\mu\text{g/L}$, en comparación con el mes de junio (Tabla 34). Aunque los datos presentaron mucha variabilidad, se pudo observar menor variabilidad durante el mes de febrero que se caracteriza por vientos fuertes, lo que causaría una ligera homogenización en la zona, por ello es posible que no haya mucha variación. Mientras que en junio se presentaron concentraciones más bajas tanto en superficie (5.53 $\mu\text{g/L}$) como en fondo (6.06 $\mu\text{g/L}$); también, esta época se caracteriza por la alta precipitación fluvial y la elevada temperatura en este mes (Tabla 34). De acuerdo a los datos de salinidad la columna de agua es mas homogénea en junio.

Tabla 34. Concentración de cobre disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio

	Cobre			
	Febrero		Junio	
	Sup.	Fondo	Sup.	Fondo
Promedio	6.67	13.82	5.53	6.06
Desviación estándar	4.82	11.39	5.88	5.18
Coefficiente de variación	72.23	82.39	106.18	85.48
Máximo	17.47	42.26	19.92	20.35
Mínimo	1.34	0.14	0.29	0.60

En el mapa de distribución de febrero, en la superficie, parecería que hubo una fuerte influencia de Bahía Vergara contribuyendo en la aportación de éste metal (Figura 19a); observándose al oeste del área de estudio la formación de un gradiente de concentración, a partir de la zona donde se ubica la planta de tratamiento, (Figura 19). Por otro lado, durante junio parecería que las descargas en el puerto fueron un factor importante que influyó más fuertemente, puesto que las concentraciones de cobre disuelto en las cercanías del puerto son mayores en comparación con la zona de Bahía Vergara (Figura 19b).

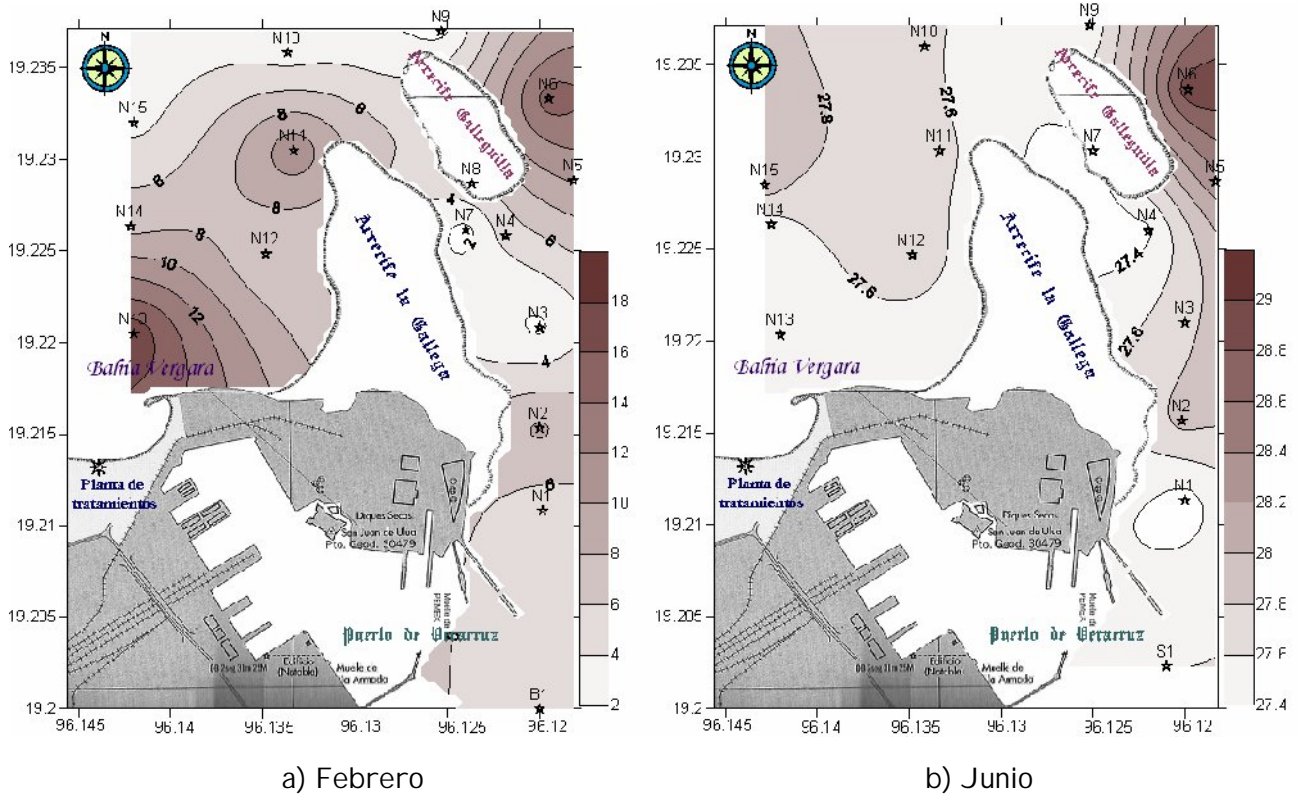


Figura 19. Concentraciones del cobre disuelto (ppb) en las aguas superficiales del área de estudio

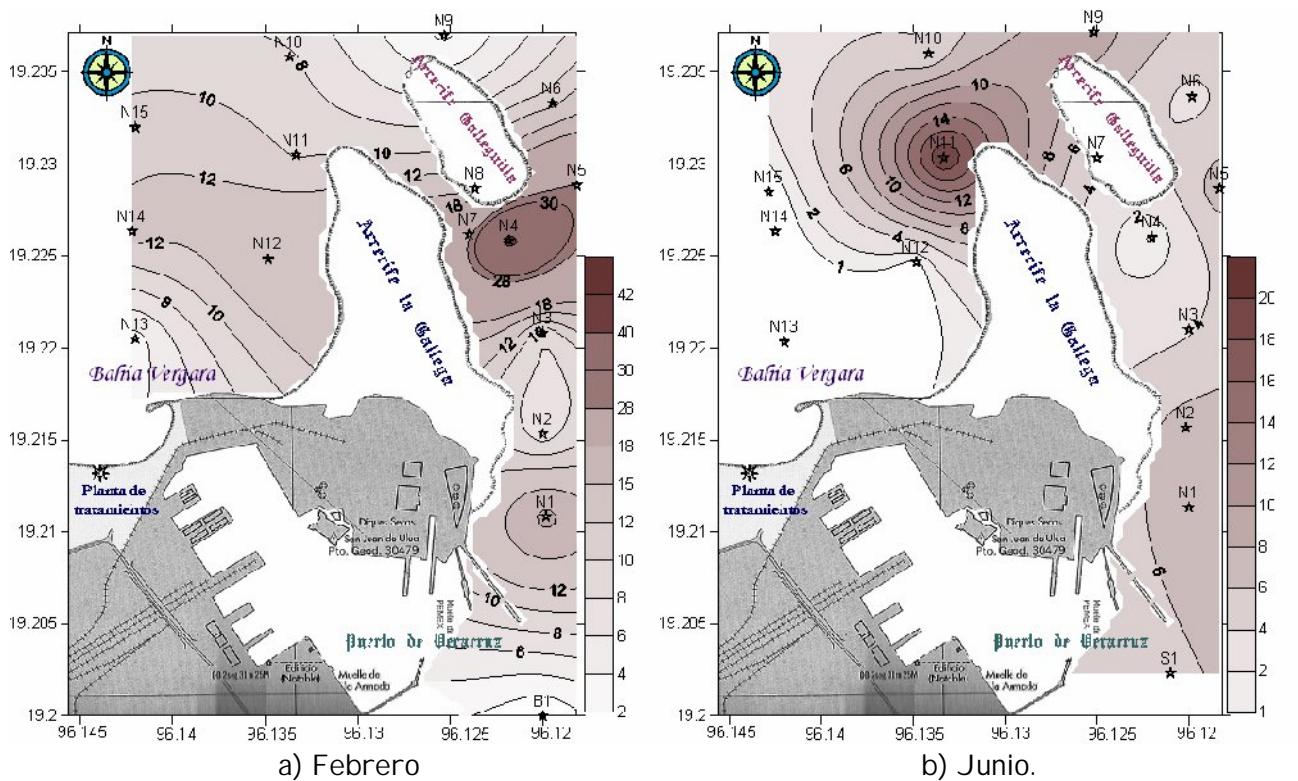


Figura 20. Concentraciones del cobre disuelto (ppb) en las aguas del fondo del área de estudio

En cuanto al cobre disuelto en el fondo, durante febrero presentó una distribución, donde se vio un aumento gradual de los niveles de concentración que iba de suroeste a noreste, sugiriendo la influencia de Bahía Vergara (Figura 20); también se observó un ligero predominio por parte del puerto. Por otro lado, se observó un valor elevado en la estación N4 (Figura 20a), es probable que las masas de agua se vean empujadas de sur a norte y por ello sean acumuladas las concentraciones de cobre en esta área, debido a la presencia de los arrecifes. Durante junio, se vieron unos patrones de distribución con un gradiente de concentración que iban del suroeste al noreste. Además, el metal se distribuyó a lo largo del este del área de estudio, pudiéndose inferir que hay influencia por parte del puerto y del continente, en la entrada del metal (Figura 20b); asimismo, se encontró un valor máximo (N11) que denota una acumulación de este metal.

V. 1. B. 2. Cromo disuelto

En el caso del cromo, para el mes de febrero, los niveles de concentración fueron ligeramente más elevadas que en el mes de junio, siendo un poco más variables en la superficie. En general, las concentraciones se comportaron homogéneamente; probablemente se deba a los vientos de febrero que influyeron en la variabilidad de los niveles de concentración, aunque no hubo una gran diferencia en los datos (Tabla 35). Sin embargo, las concentraciones de este metal durante el mes de febrero no fueron muy variables en comparación con junio (Tabla 35).

Tabla 35. Concentración de cromo disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio.

	Cromo			
	Febrero		Junio	
	Sup.	Fondo	Sup.	Fondo
Promedio	0.08	0.06	0.05	0.05
Desviación estándar	0.08	0.02	0.02	0.02
Coefficiente de variación	108.85	34.26	31.10	38.99
Máximo	0.37	0.11	0.09	0.09
Mínimo	0.04	0.03	0.03	0.02

Los patrones de distribución, para el mes de febrero, sugieren la influencia por parte del puerto; ya que se logró apreciar un aumento de concentración en la estación N5, en la superficie

(Figura 21a), y en la estación N1, en el fondo, que se ubicaron cerca del área portuaria. La superficie y el fondo mostraron una distribución homogénea alrededor del continente (Figura 21).

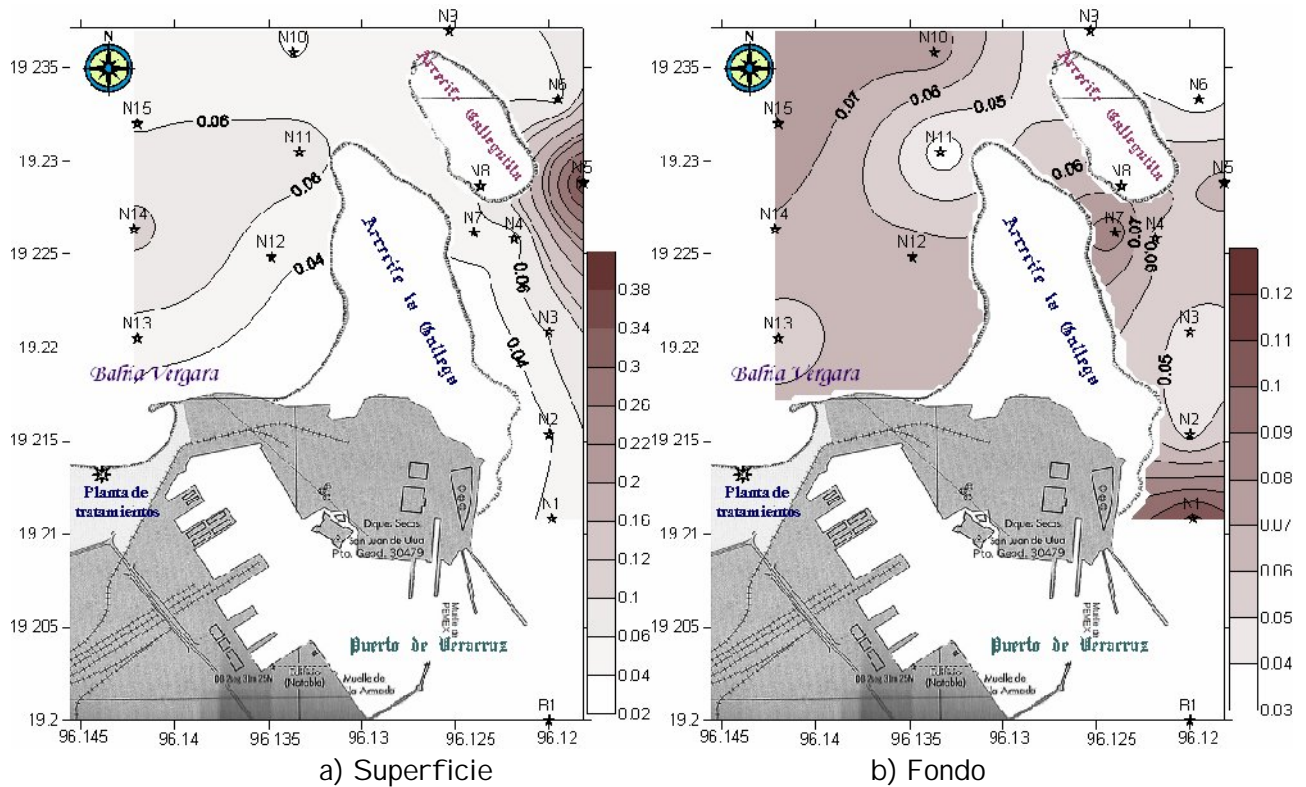


Figura 21. Concentraciones de cromo disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en febrero

Los patrones de distribución, del mes de junio, mostraron una distribución diferente a la del mes de febrero (Figura 21 y 22). El cromo superficial parecería ser influido por la zona de Bahía Vergara y las concentraciones más elevadas se presentaron cerca de la zona de descarga de la planta de tratamientos y en el canal existente entre los dos arrecifes (Figura 22a), sugiriendo la influencia de las actividades costeras. En el caso del fondo, se observó como las concentraciones más elevadas se encontraron alrededor de los arrecifes, sugiriendo que este metal se acumuló en la zona de menor energía (Figura 22b).

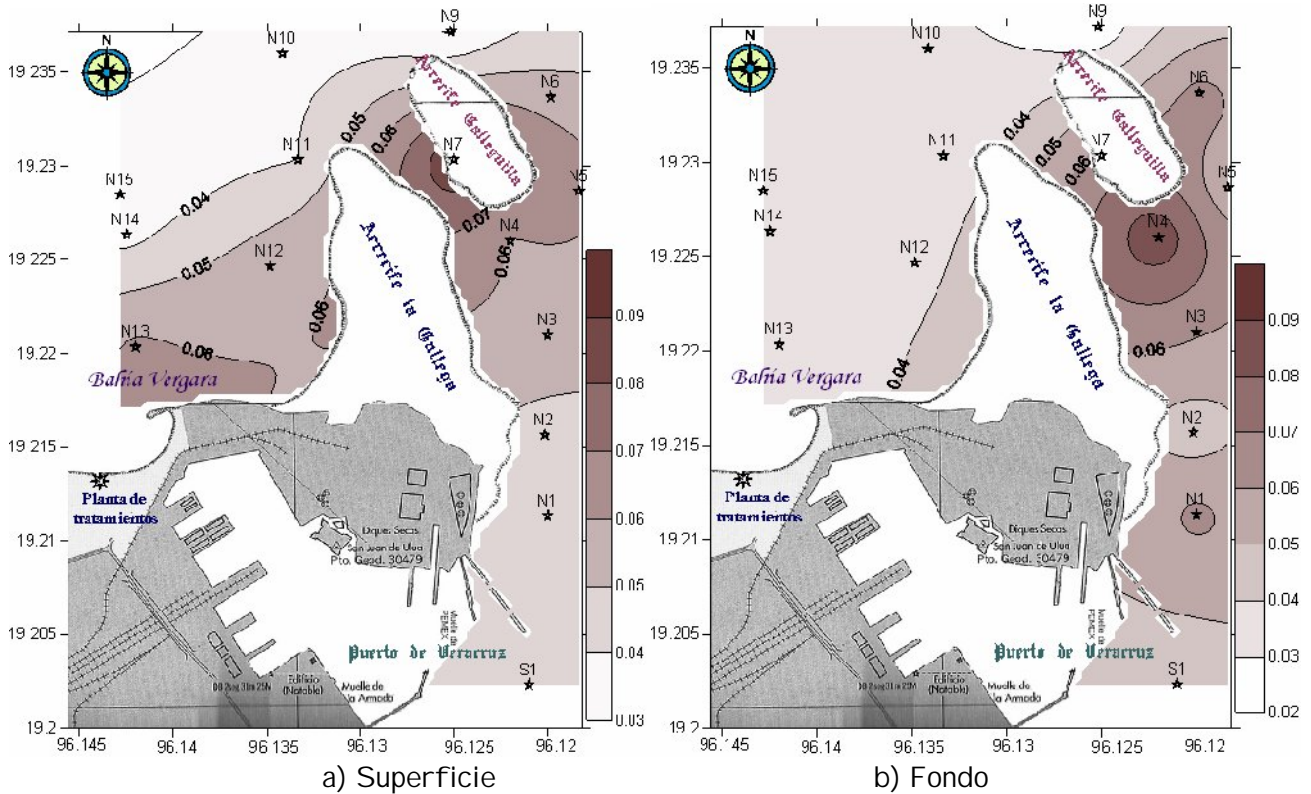


Figura 22. Concentraciones de cromo disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en junio

V.1.B.3. Hierro disuelto

En el caso del hierro se presentaron variaciones muy elevadas (por arriba de un coeficiente de variación de 140). En el mes de febrero se observó mayor concentración y mayor variación, en el fondo, que probablemente se debió a los vientos que homogenizan a una parte del área y al terreno heterogéneo del área. Para junio se obtuvieron en promedio mayores niveles de concentración y mayor variación en la superficie, contrario a la otra época. Ambas épocas presentaron diferencias entre sí. Por lo que este metal no se comporta de forma homogénea; por lo que quizás está afectado por las precipitaciones de la temporada así como el viento (Tabla 36).

Los patrones de distribución para el mes de febrero mostraron gradientes de concentración inversos entre superficie y fondo (Figura 23). En la superficie, las concentraciones elevadas de hierro se presentaron alrededor del continente, disminuyendo conforme se alejaba de la costa,

las concentraciones más elevadas se ubicaron cerca del puerto en las estaciones N1 y N2 (Figura 23a); lo que sugiere la influencia de las actividades portuarias de este metal. En el caso del fondo, se pudo observar que las concentraciones del metal iban en aumento conforme se alejaba del continente; el máximo de concentración se registró en la estación N15, esta conducta sugiere que hay dos masas de agua (Figura 23b).

Tabla 36. Concentración de hierro disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio.

	Hierro			
	Febrero		Junio	
	Sup.	Fondo	Sup.	Fondo
Promedio	17.98	32.36	31.97	23.61
Desviación estándar	25.74	69.18	64.09	40.97
Coefficiente de variación	143.16	213.81	200.49	173.55
Máximo	82.29	281.27	259.78	166.11
Mínimo	1.00	0.11	3.10	1.80

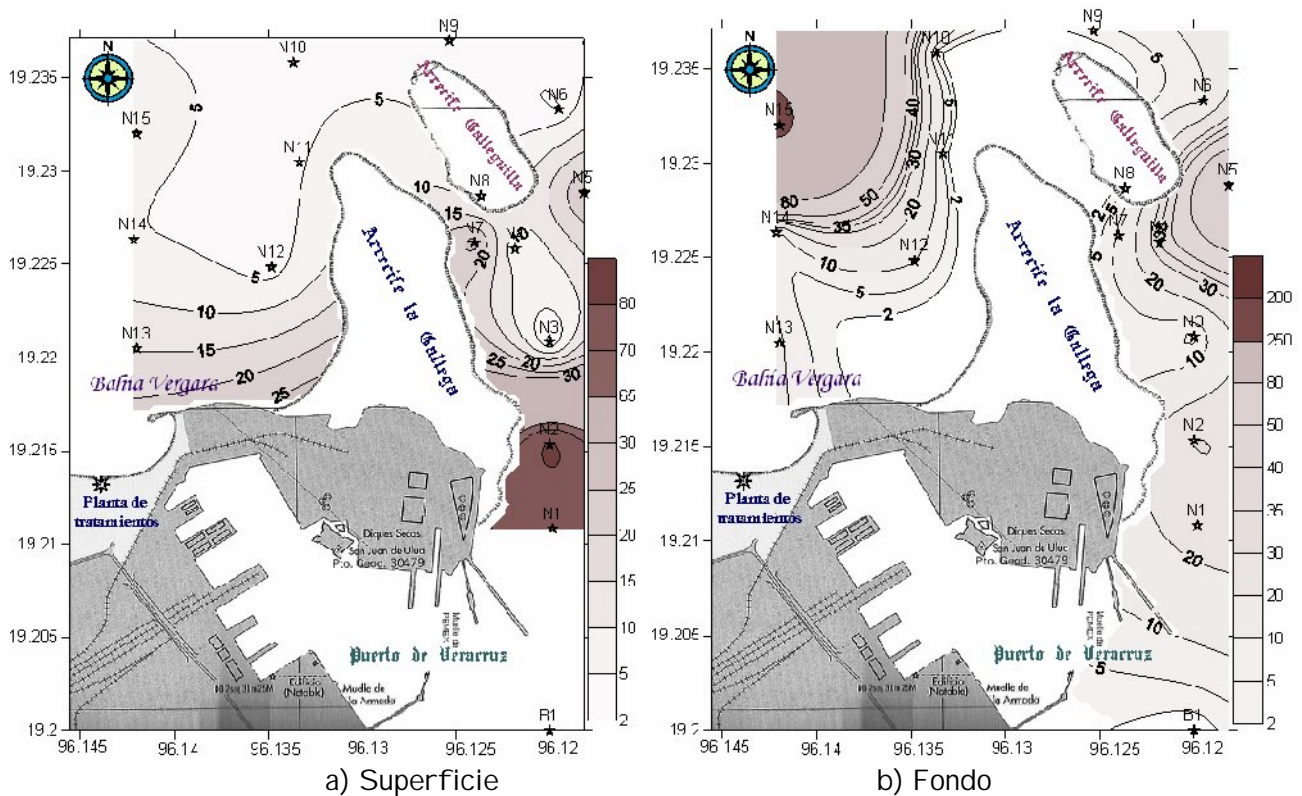


Figura 23. Concentración de hierro disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en febrero. En el caso del mes de junio las concentraciones elevadas se ubicaron al este del área de estudio (Figura 24). Además, se observó que este metal fue influenciado por las descargas

urbanas y el aumento de éstas en la época, ya que se logró apreciar como iban aumentando los niveles de hierro gradualmente conforme se alejaba del continente, mostrando un gradiente tanto en superficie como en fondo (Figura 24), esta disminución sugiere que las descargas diluyen al metal.

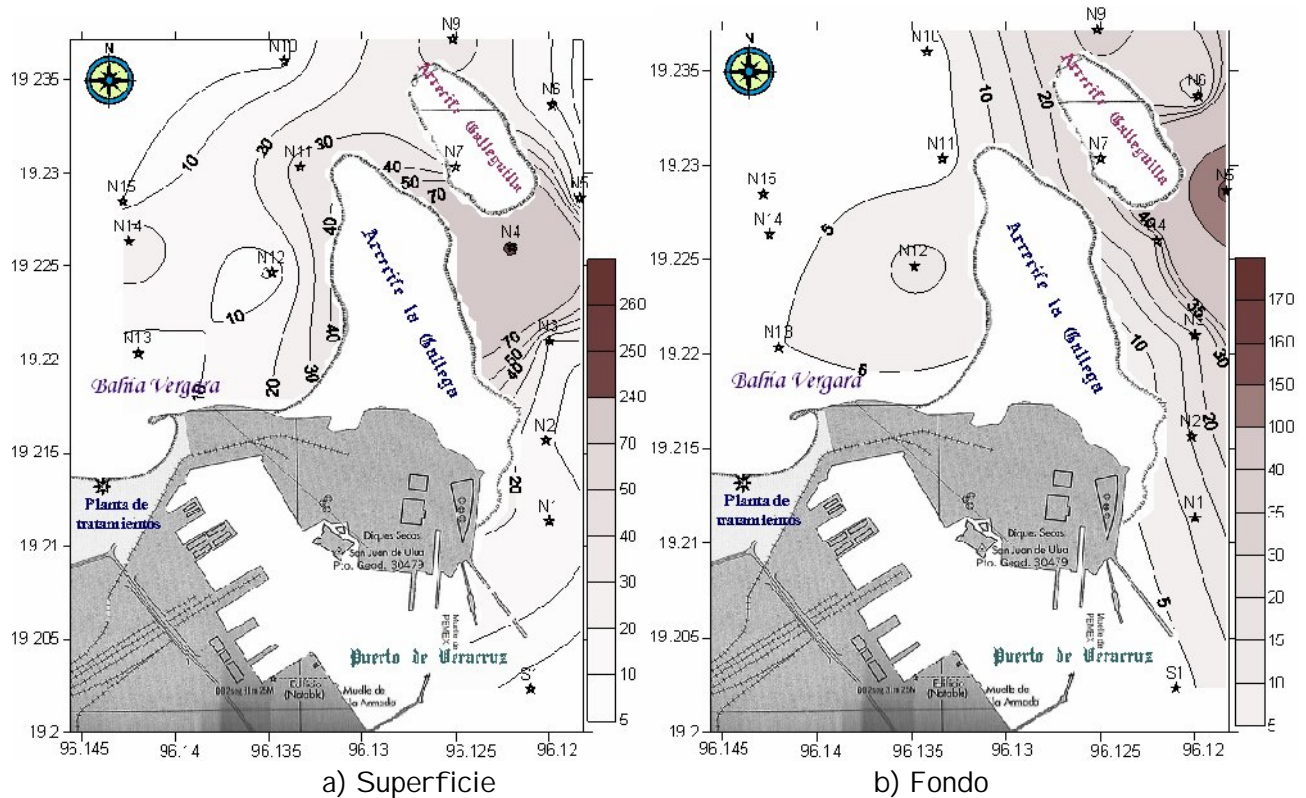


Figura 24. Concentraciones de hierro disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en junio

V.1.B.4. Níquel disuelto

Para níquel, en el mes de febrero se encontraron concentraciones muy variables (C.V.= 213.81), además de que fueron elevadas (Tabla 37); sin embargo, en la superficie se observó la variación más drástica por una sola estación (N1). Para el fondo, se observó que las concentraciones de níquel fueron menos variables, por lo que parecería que se encuentra más estable, tal vez debido a la profundidad. En el mes de junio, las concentraciones fueron más bajas y menos variables, es posible que las fuertes precipitaciones de la época influyan en la cantidad del metal. Además, se

observó que en la superficie, para ambas épocas, se encontraron las concentraciones más elevadas (Tabla 37), por lo que su entrada podría deberse a las descargas del puerto.

Tabla 37. Concentración de níquel disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio

	Níquel			
	Febrero		Junio	
	Sup.	Fondo	Sup.	Fondo
Promedio	22.04	5.08	2.12	1.16
Desviación estándar	70.77	10.39	2.81	0.77
Coefficiente de variación	321.17	204.65	132.60	65.87
Máximo	284.09	37.64	9.74	3.52
Mínimo	0.04	0.35	0.43	0.41

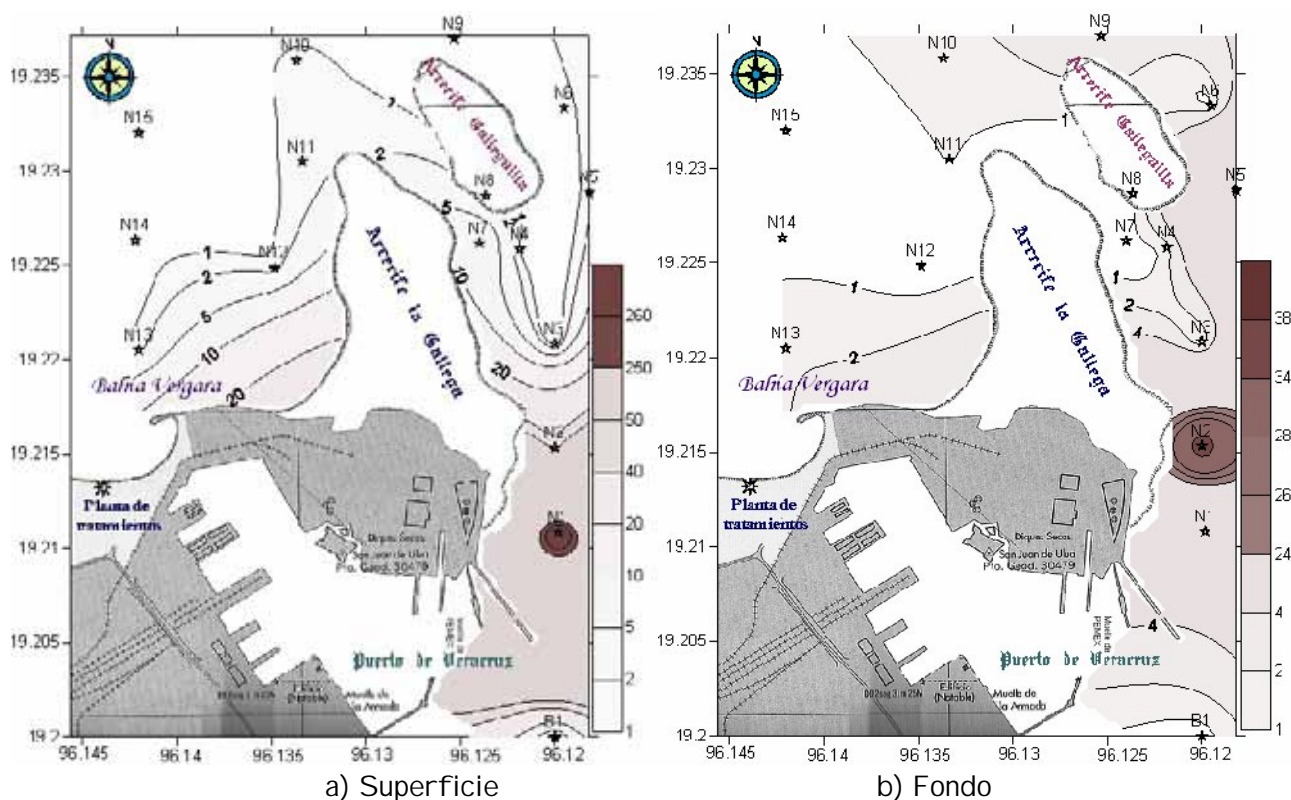


Figura 25. Concentraciones de níquel disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en febrero

En cuanto a su distribución, durante el mes de febrero presentó una distribución homogénea en la superficie; sin embargo, como ya se había mencionado, hubo una estación que presentó un valor alto de este metal (Figura 25a); aunado a ello la distribución se concentró en la zona noreste del arrecife Galleguilla, al parecer influida por las corrientes, ya que éstas iban de norte a sur y de este a oeste; habiendo otra acumulación en el área de bahía Vergara, es probable

que haya un aporte por parte del continente. También, en el fondo se registró una estación (N2) con un nivel elevado de níquel (Figura 25b). Las estaciones N1 de la superficie y N2 del fondo se ubicaron muy cerca una de otra y cerca del puerto, sugiriendo que ambas están relacionadas y que el metal va descendiendo por la columna de agua y a su vez se va moviendo las masas de agua.

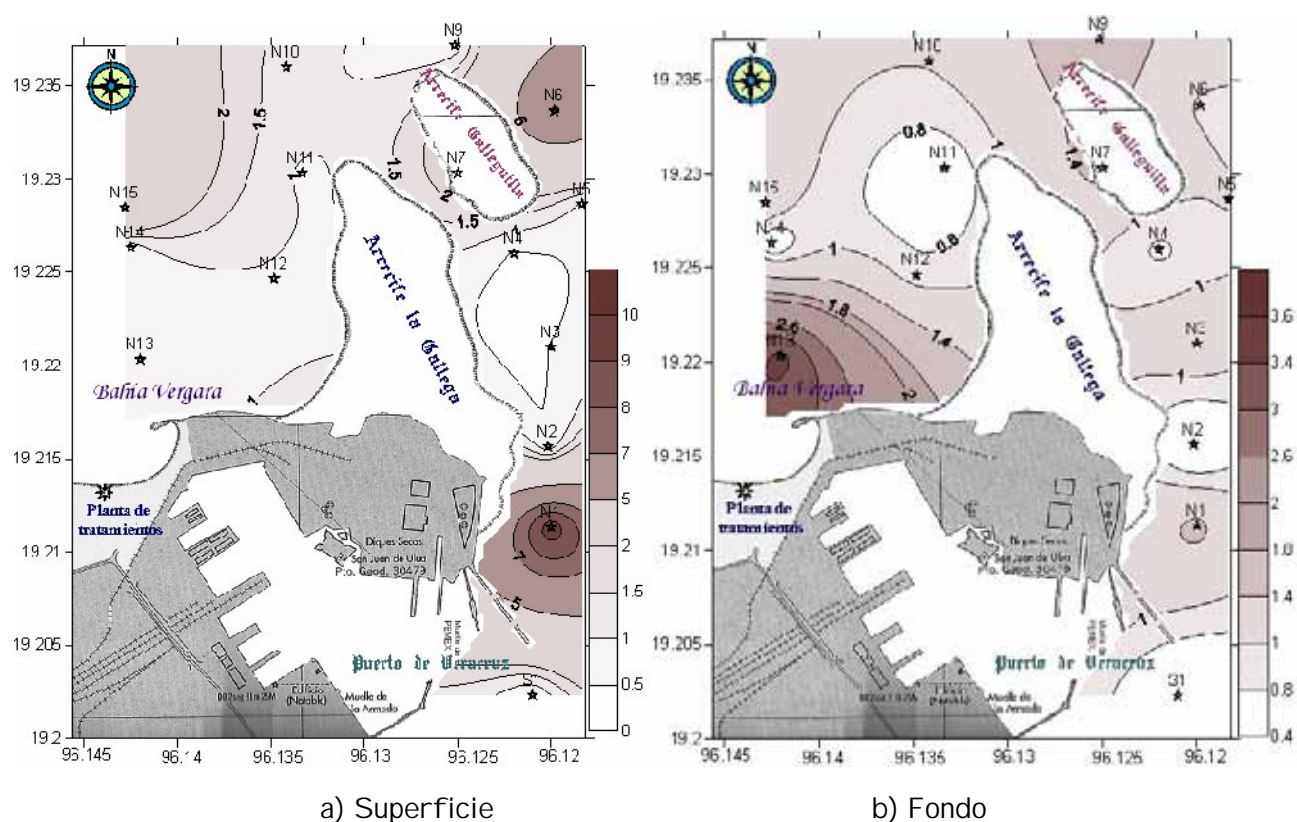


Figura 26. Concentraciones de níquel disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en junio

Durante el mes de junio al igual que en febrero, la concentración más elevada se presentó cerca del puerto, en la estación N1 y al noreste del área (Figura 26); esta acumulación del níquel, tal vez se debió a la influencia de las corrientes que se presentaron en ambas épocas de este a oeste. En el caso del fondo, la concentración más elevada se ubicó al suroeste del área de estudio (Figura 26b), observándose la influencia de Bahía Vergara.

V. 1. B. 5. Plomo disuelto

Tanto el plomo como el vanadio, básicamente, se atribuyen a las actividades antropogénicas, por lo que son muy usados como parámetro de contaminación sobre todo el plomo, el cual es un metal tóxico.

El plomo, en el mes febrero se comportó de forma homogénea; ya que no hubo mucha diferencia tanto en superficie como fondo (Tabla 38). Para el mes de junio, en la superficie se ubicaron los niveles de concentración más bajos durante los muestreos, esto es quizás por las altas precipitaciones que se registran durante la temporada, al igual que en febrero se registraron altos niveles de plomo cerca del puerto. En el fondo se pudo observar que la estación N6 presentó la concentración más alta de plomo (Tabla 38).

Tabla 38. Concentración de plomo disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio

Estaciones	Plomo			
	Febrero		Junio	
	Sup.	Fondo	Sup.	Fondo
Promedio	1.34	1.30	0.61	1.39
Desviación estándar	1.05	1.06	0.52	3.27
Coefficiente de variación	78.76	81.68	84.47	235.75
Máximo	3.61	3.57	1.74	13.18
Mínimo	0.25	0.09	0.02	0.17

De acuerdo a los patrones de distribución, en febrero, en la superficie se encontró al plomo distribuido al este del área de estudio (Figura 27a); tal vez por la ubicación del arrecife La Gallega se acumulen los metales, funcionando como barrera. El gradiente de concentración iba descendiendo de suroeste a noreste; además, se pudo observar como se distribuyó alrededor de la porción continental y el arrecife la Gallega (Figura 27a). En el fondo, se pudo observar que el plomo se concentró al oeste del área de estudio y el máximo se ubicó al noroeste (Figura 27b), sugiriendo que su aporte no es totalmente continental, por la lejanía de la estación quizás su entrada sea atmosférica o por la influencia del río la Antigua.

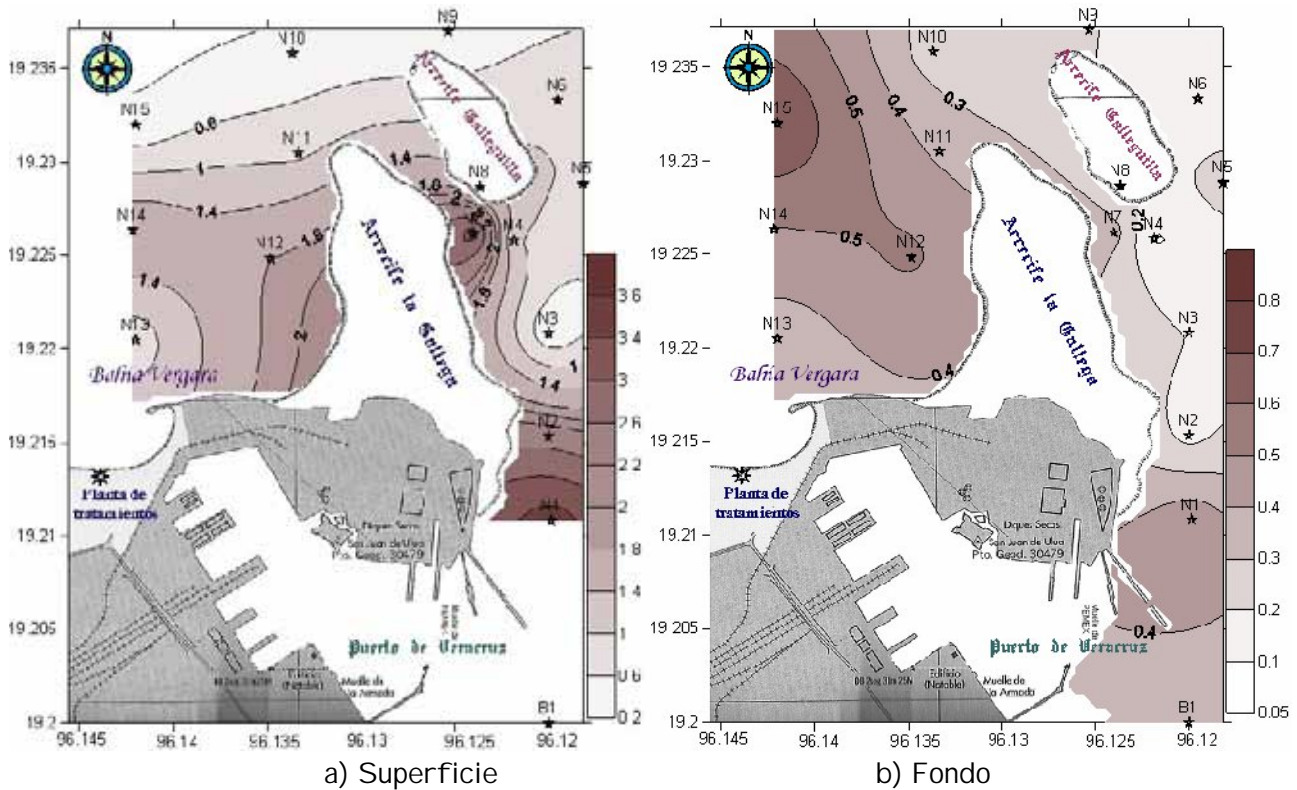


Figura 27. Concentraciones de plomo disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en febrero

En los patrones de distribución del mes de junio, se pudo observar un comportamiento diferente, ya que en la distribución superficial presentó un patrón similar a la distribución de plomo en febrero y en el fondo (Figura 27b, Figura 28a), donde las masas de agua son empujadas hacia el norte y probablemente el aumento de las descargas diluyan al metal. En el fondo, se observó que el metal se distribuye homogéneamente alrededor del continente y del arrecife la Gallega, el gradiente de concentración iba de menor a mayor (Figura 28b). La estación N6, ubicada al noreste del área, presentó el valor máximo de concentración; tal vez se deba a que hay alguna fuente diferente que este aportando metales en el área. Presentándose el mismo caso en otros metales tales como el cobre y níquel, además en otros metales se presentó este comportamiento en la estación N5 que se ubicó muy cerca de la estación N6 (Figura 28b).

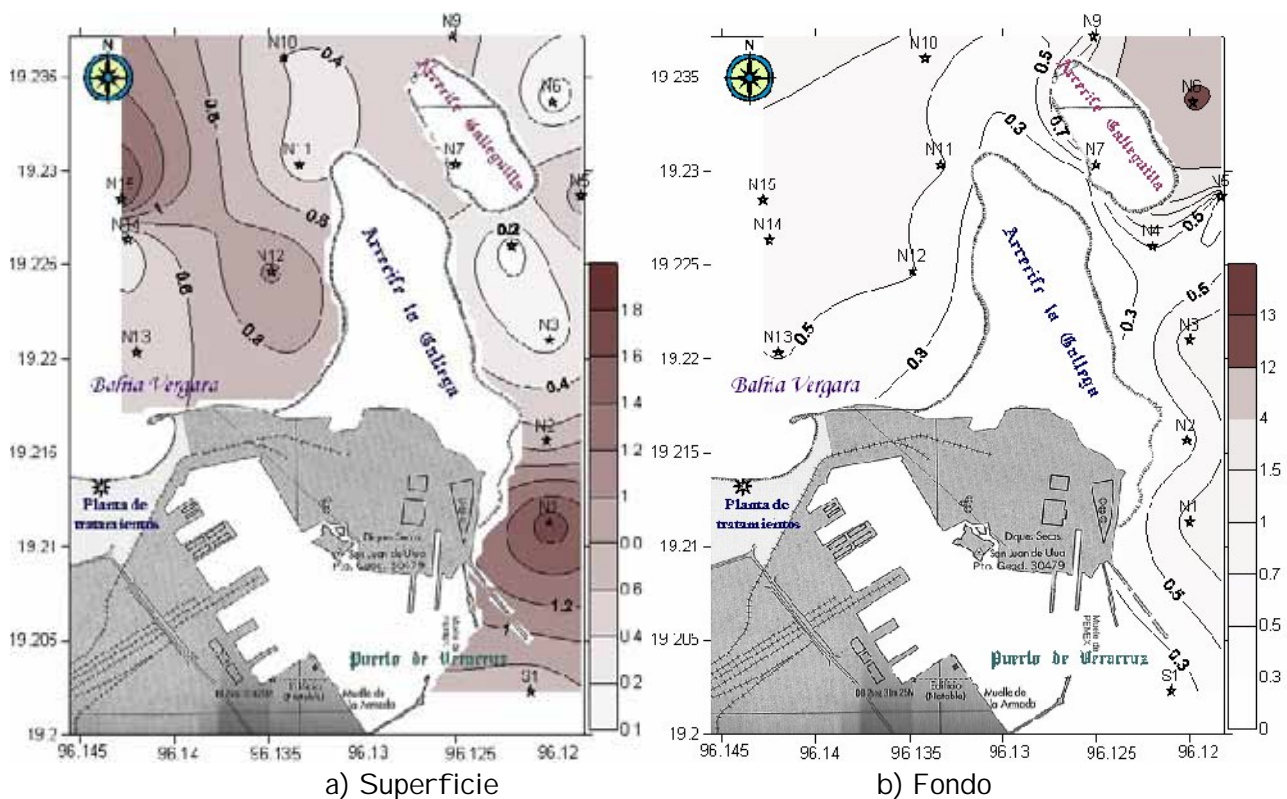


Figura 28. Concentraciones de plomo disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en junio

V. 1. B. 6. Vanadio disuelto

En el caso del vanadio, tanto en febrero como en junio se presentaron concentraciones similares, en promedio. Durante el mes de febrero, se obtuvieron las concentraciones más altas en comparación a junio, por lo que probablemente influya la temporalidad (Tabla 39).

En cuanto a los patrones de distribución, del mes de febrero, sugieren que el metal fue aportado por la entrada del puerto; ya que presentó un valor máximo en la estación S1 en la superficie y en el fondo en las estaciones N1 y N2 (Figura 29), ubicadas en el área portuaria. Además, en el fondo parecería que hay descargas por parte de la planta de tratamientos, por los niveles de concentración elevados en la estación N13 y N14 (Figura 30b).

Tabla 39. Concentración de vanadio disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio
Vanadio

	Febrero		Junio	
	Sup.	Fondo	Sup.	Fondo
Promedio	0.28	0.30	0.30	0.22
Desviación estándar	0.22	0.17	0.19	0.19
Coefficiente de variación	80.64	56.69	63.03	84.87
Máximo	0.98	0.71	0.69	0.75
Mínimo	0.08	0.09	0.02	0.02

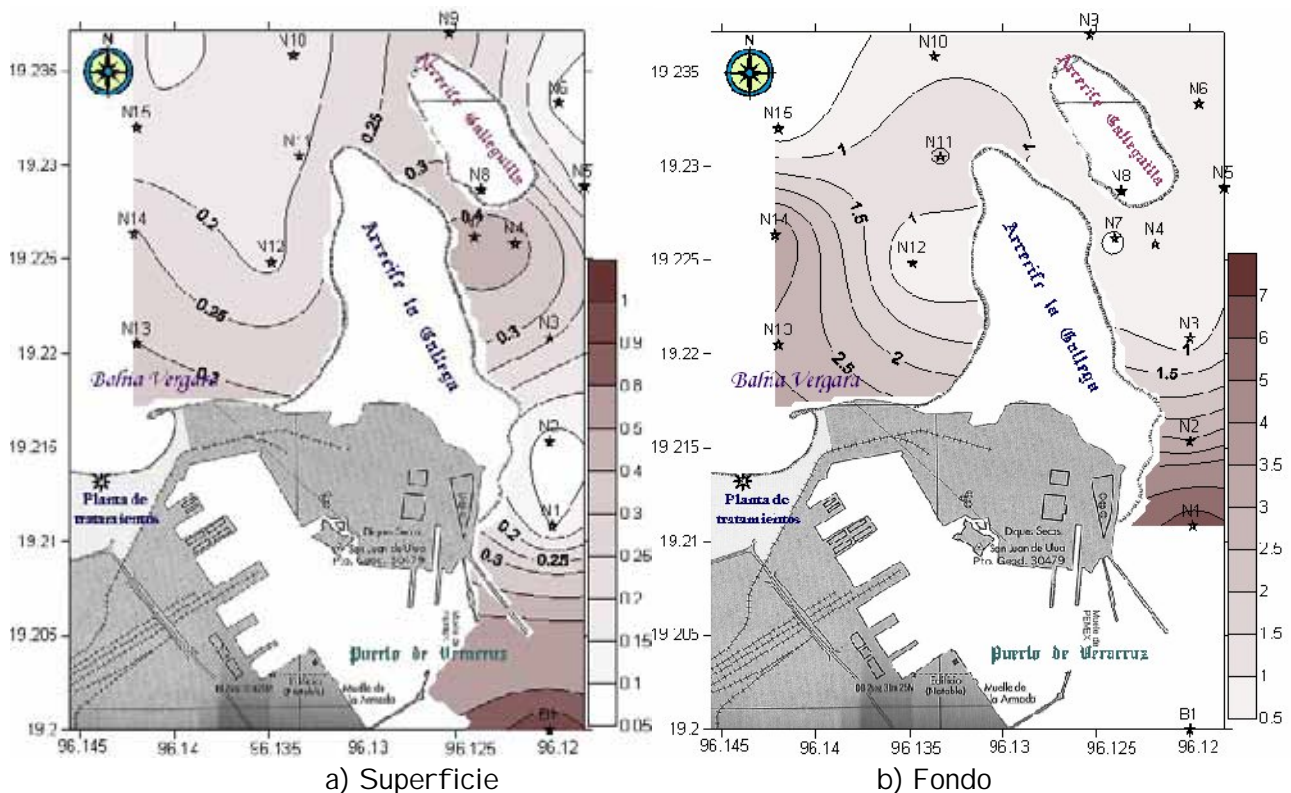


Figura 29. Concentraciones de vanadio disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en febrero

En los patrones de distribución de junio en la superficie y fondo, el vanadio se distribuyó y se concentró alrededor del continente (Figura 30); por lo que sugiere que es más importante la descarga del continente en la temporada. Asimismo, en la superficie se encontró nuevamente un máximo de concentración en la estación N6 (Figura 30a) y en el fondo entre los arrecifes en la estación N7 (Figura 30b). Durante el mes de junio, la superficie tuvo una tendencia similar como el fondo del mes de febrero, donde se encontraron los niveles de concentración elevados en la zona de Playa Norte y en el puerto (estaciones N12, N13, N14, N15, S1, N1 y N2). En el agua del

fondo se observó que los máximos de concentración se registraron en la entrada al puerto y en los arrecifes (estaciones S1, N1, N2 y N7) (Figura 30b).

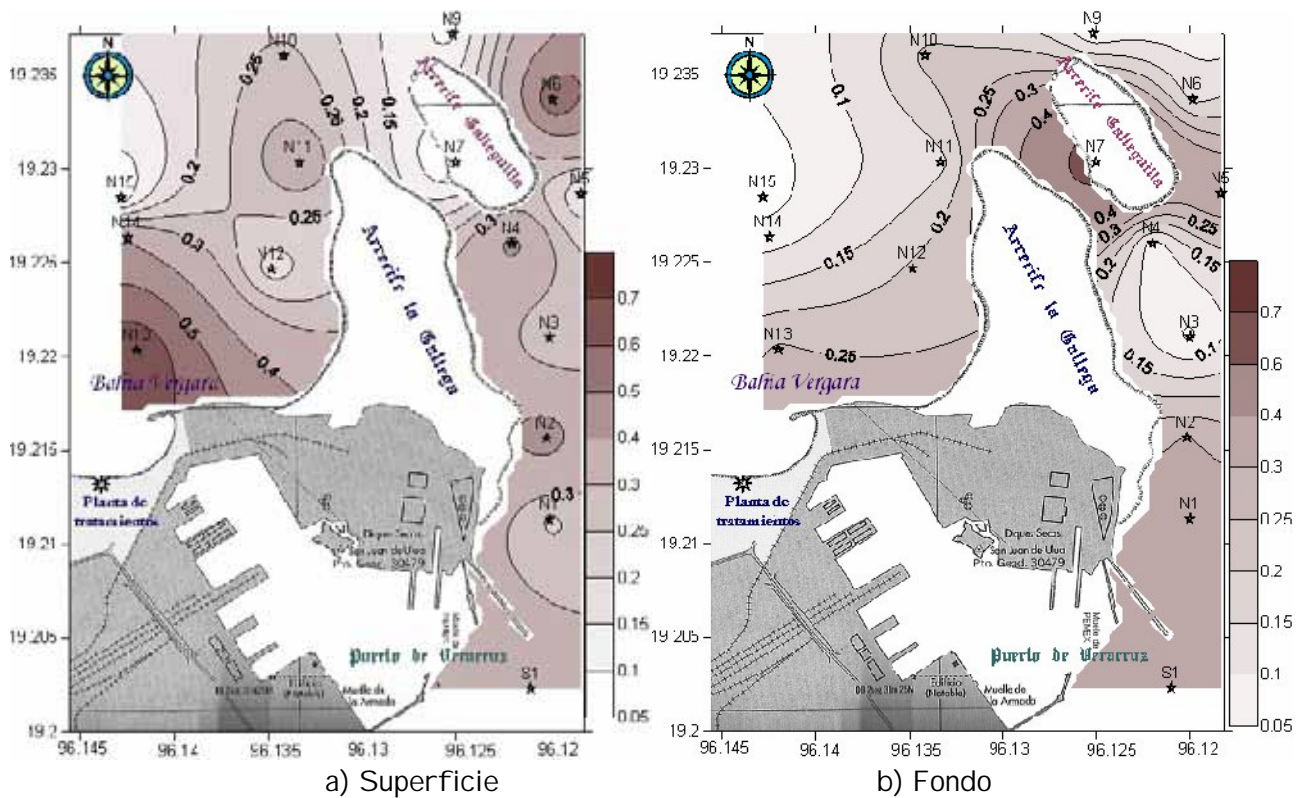


Figura 30. Concentraciones de vanadio disuelto (ppb) en las aguas del área de estudio en junio

V. 2. MATERIAL SUSPENDIDO

En este trabajo se hizo la debida cuantificación del material particulado y se determinó la concentración de los metales: aluminio, calcio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo y vanadio. Esta sección se dividió en la cuantificación y el análisis de metales en el material particulado.

V.2.A. CUANTIFICACIÓN DEL MATERIAL SUSPENDIDO

Durante el mes de febrero, se obtuvo menos cantidad del material particulado en la superficie (en promedio 1.46 mg/L) en comparación con el fondo (3.13 mg/L); además, la superficie se comportó más homogénea, debido a que su coeficiente de variación fue menor (Tabla 40).

Tabla 40. Concentración del material suspendido en las aguas del área de estudio

	Material suspendido (mg/L)					
	Febrero			Junio		
	Sup.	Fondo	Estación	Sup.	Fondo	
Promedio	1.46	3.13	Promedio	3.78	2.44	
Desviación estándar	0.97	3.52	Desviación estándar	5.17	1.62	
Coefficiente de variación	66.38	112.31	Coefficiente de variación	136.47	66.30	
Máximo	4.50	15.50	Máximo	21.30	6.20	
Mínimo	0.60	0.20	Mínimo	1.10	0.40	

En el caso del mes de junio se obtuvo, en promedio, mayor concentración en la superficie (3.78 mg/L) en comparación con el fondo (2.44 mg/L); siendo menos homogénea la superficie, ya que se obtuvo un coeficiente de variación de 136.47 (Tabla 40). De acuerdo a los resultados, hay mayor cantidad de material suspendido durante junio, siendo la época de mayor precipitación; infiriendo que el aumento de las partículas suspendidas, fue debido a la entrada del agua de lluvia y por los intensos movimientos en la zona. En general, el mes febrero presentó mayor material suspendido en el fondo, y en junio se encontraron cantidades elevadas en la superficie (Tabla 40).

Las concentraciones del material suspendido fueron similares de temporada a temporada. Para evaluar la existencia de diferencia entre los valores, se realizó la prueba *t* de student, donde no se obtuvo una diferencia significativa (Tabla 41); se hizo lo mismo para los datos de una misma época, es decir, durante el mes de febrero se hizo la prueba de student para la superficie y fondo donde no se tuvo una diferencia significativa, e igualmente para junio.

Tabla 41. Prueba de *t* para el material suspendido

	Superficie	Fondo	Febrero	Junio
<i>t</i> calculada	1.77	0.69	1.83	0.96
Valor de tablas	$\alpha=0.05$	2.045	2.048	2.056
Rechaza H_0	si $t > 2.045$	si $t < -2.045$	No	No

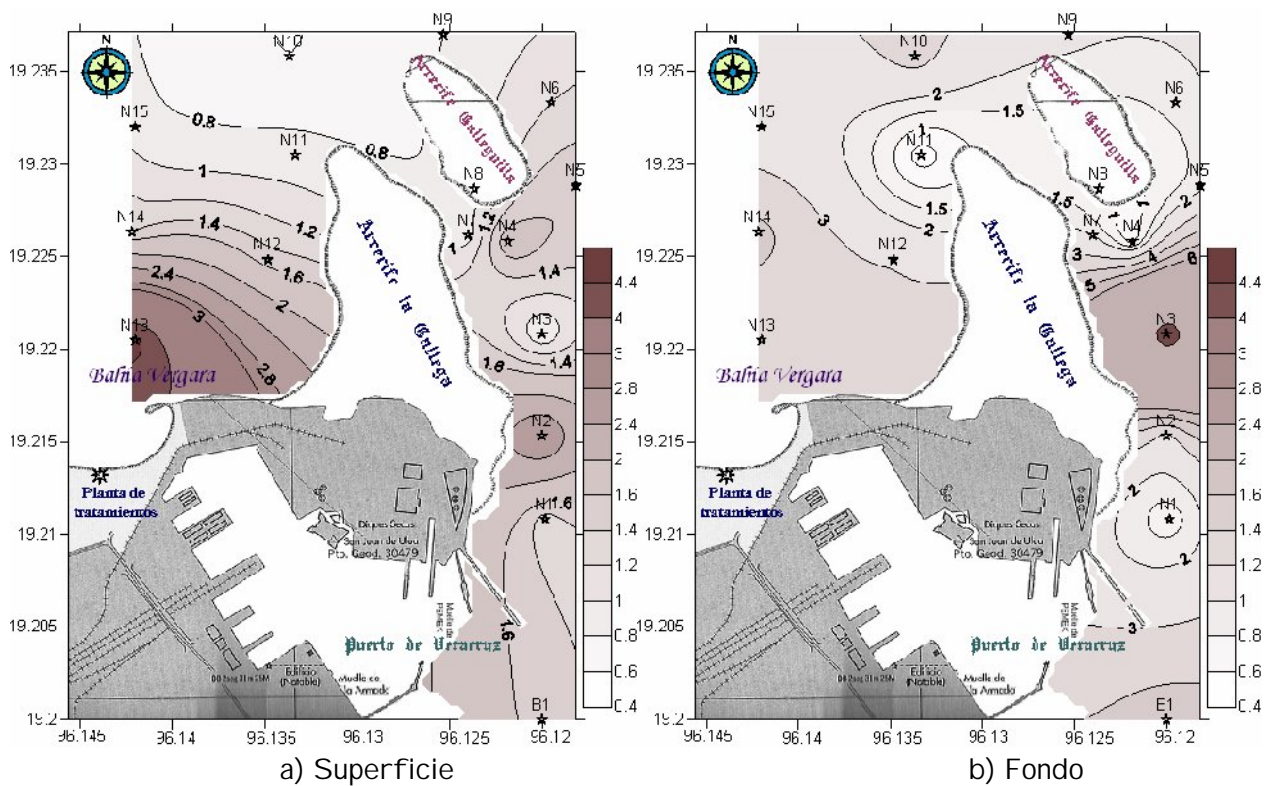


Figura 31. Material suspendido (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero

La distribución del material suspendido, durante el mes de Febrero, mostró una tendencia más uniforme en el área, donde el material se vio distribuido a lo largo del continente, tanto en la zona de Bahía Vergara como en la parte del puerto (Figura 31). En la superficie se observó mayor material suspendido cerca de Bahía Vergara, donde se ubica Playa Norte (Figura 31a). En el fondo hubo menos material suspendido cerca del puerto en comparación con Bahía Vergara.

En el mes de Junio, en la superficie hubo mayor cantidad de material suspendido al este del área de estudio, aparentemente el material es aportado por el puerto (Figura 32a). En el fondo se observó una mejor distribución a lo largo del área de estudio (Figura 32b).

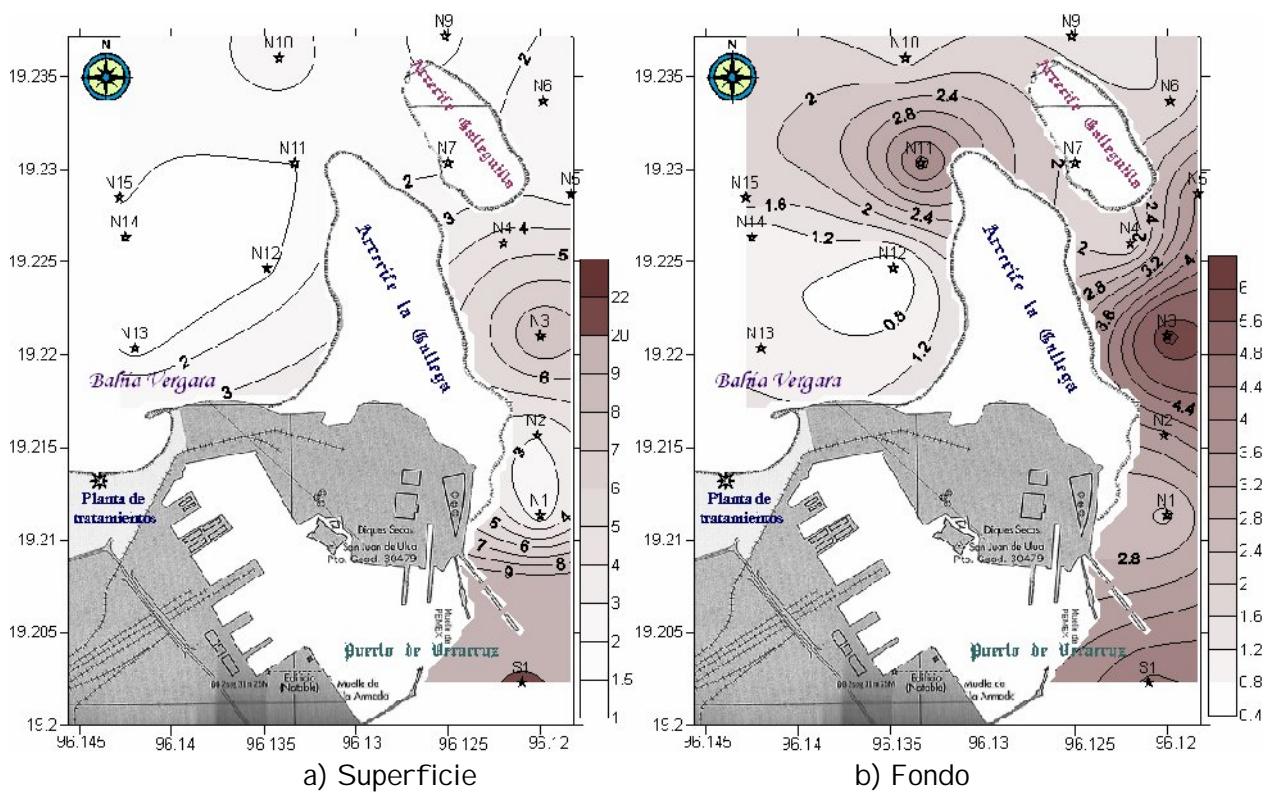


Figura 32. Material suspendido (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio

Por lo que se observó, tanto en febrero como en junio, hubo un aumento de la cantidad del material particulado frente al puerto de Veracruz, donde las estaciones S1, N1, N2 y N3 presentaron los niveles más elevados de concentración (Figura 31 y 32). Además, en febrero, principalmente en el fondo se vieron aumentadas las cantidades de material suspendido en las cercanías de la planta de tratamientos, ubicada en Playa Norte. Por otro lado, las cantidades más bajas se ubicaron entre las estaciones que se encuentran en la brecha que hay entre los arrecifes y al norte de ellos (Figura 31 y 32).

En general, la estación N3 presentó cantidades elevadas de material suspendido, excepto para la superficie del mes de febrero. Esta estación se ubicó al este del Arrecife la Gallega y puede ser que en ese punto se vea más afectada por las corrientes. Otra estación con cantidades elevadas de material suspendido fue S1 ubicada cerca del puerto (Figura 31 y 32).

V.2.B. ELEMENTOS MAYORITARIOS Y "TRAZA" EN MATERIAL SUSPENDIDO

La interacción de elementos traza con las partículas suspendidas en el agua de mar es un factor determinante en la distribución y concentración de elementos en el océano; siendo fundamental conocer los elementos asociados al material suspendido.

En el material suspendido se midieron los elementos: aluminio, calcio, hierro, manganeso, cobre, cromo, níquel, plomo y vanadio, con el objeto de conocer su distribución de estos metales en el sistema.

V.2.B.1. Aluminio en material suspendido

El aluminio es generalmente de origen terrígeno, ya que se encuentra asociado con las arcillas como aluminosilicatos; además de ser aportado a los sistemas acuáticos por las descargas industriales. (Barak et al, 1997).

Tabla 42. Aluminio particulado en el área de estudio

	Aluminio (mg/L)			
	Febrero		Junio	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Promedio	0.36	0.33	0.28	0.23
Desviación estándar	0.30	0.24	0.14	0.12
Coefficiente de variación	83.09	72.48	48.60	49.61
Máximo	1.22	0.81	0.67	0.45
Mínimo	0.07	0.03	0.09	0.08

Tabla 43. Prueba de t para el aluminio particulado.

	Superficie	Fondo	Febrero	Junio
$t_{calculada}$	0.192	0.291	0.064	0.138
Valor de tablas $\alpha=0.05$	2.045	2.045	2.042	2.048
Rechaza H_0 si $t > 2.045$ si $t < -2.045$	No	No	No	No

En este estudio, las concentraciones de aluminio se comportaron homogéneamente de una época a otra. En el mes de febrero, en la superficie, se encontró un promedio de 0.36 mg/L y en el fondo 0.33 mg/L (Tabla 42), comportándose en general muy homogéneo; por otro lado su

variación fue parecida tanto para la superficie (CV= 83.09) como para el fondo (72.48). Las concentraciones más altas de aluminio se agruparon cerca del puerto (S1, N1) y al norte de los arrecifes (N9, N11).

Durante el mes de junio, fueron más bajas las concentraciones en superficie (0.28 mg/L) y fondo (0.23 mg/L) (Tabla 42), esto se debe a las precipitaciones fluviales, abundantes en esta época que diluyen al aluminio particulado. Además las concentraciones fueron menos variables y más bajas en comparación con el mes de febrero y los coeficientes de variación fueron más bajos, esto es posible debido a la influencia temporal por los fuertes vientos y la precipitación en la zona. Cabe mencionar que este comportamiento no presentó una diferencia significativa (Tabla 43).

En los patrones de distribución, se mostró que en el mes de febrero se tuvo una mayor influencia por parte del puerto (Figura 33); concentrándose el metal en esta área. Las concentraciones más bajas se encontraron alrededor de los arrecifes (Figura 33), donde aparentemente el material terrígeno es diluido por el material carbonatado asociado a los arrecifes.

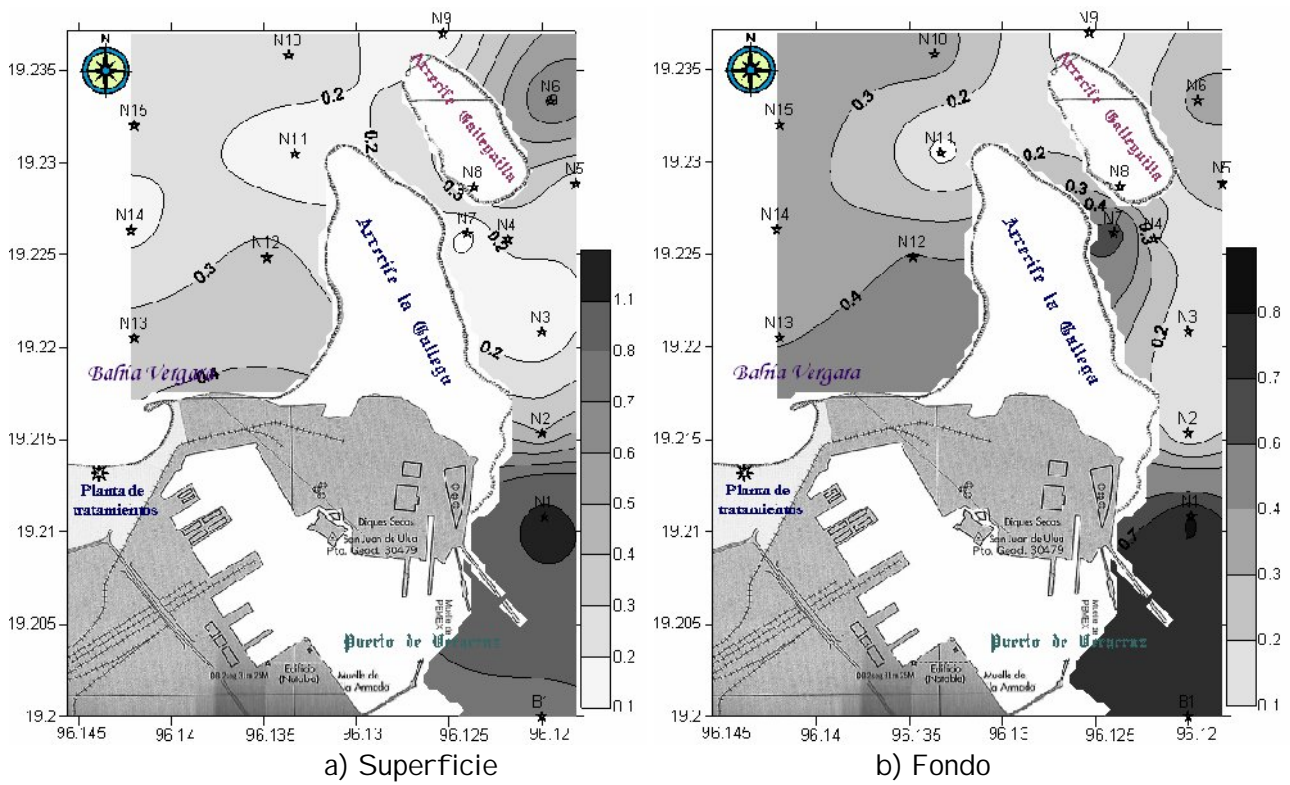


Figura 33. Aluminio particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero

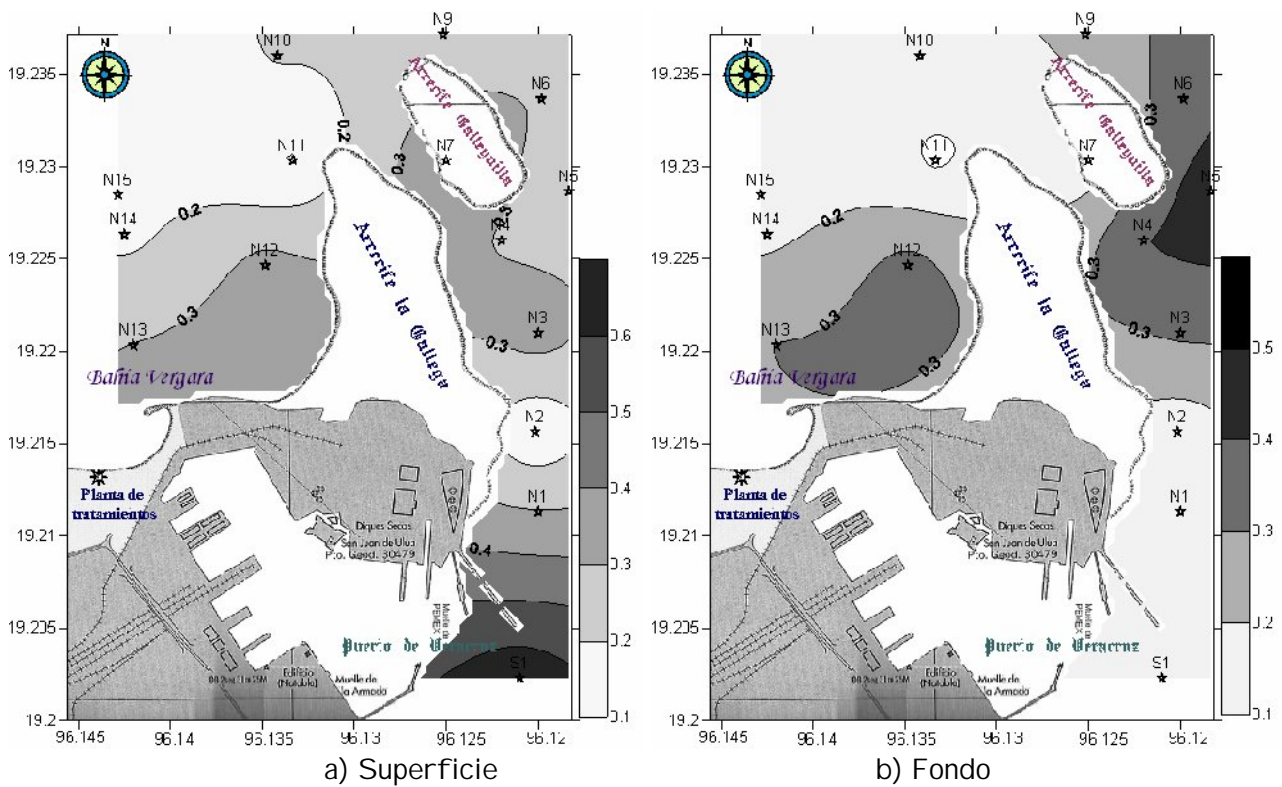


Figura 34. Aluminio particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio

Durante el mes de junio, los patrones de distribución se presentaron diferentes entre sí, en la superficie se tiene el mismo comportamiento que en el mes de febrero en ambos niveles, el metal se concentró alrededor del continente (Figura 34). Sin embargo, se tiene en la estación N2 poca cantidad de aluminio lo que sugiere una zona predominante de material biogénico. En el caso de las estaciones N11, N14 y N15 que tienen bajos niveles de aluminio (Figura 34), sugiriendo que el aluminio proviene del continente y se va diluyendo conforme se aleja del área continental. En el caso del fondo se concentra el aluminio en la zona de Bahía Vergara y al noreste del área de estudio (Figura 34), sugiriendo que tenemos dos masas de agua que se mueven en distinta forma.

V.2.B.2 Calcio en material suspendido

El área de estudio se caracteriza por el predominio del carbonato de calcio; debido a los arrecifes que conforman el área. El calcio puede ser de origen biogénico asociado a los carbonatos o bien puede ser asociado a los aluminosilicatos en forma de anortita de origen terrígeno, así como a la presencia de cuarzo (SiO_2).

Tabla 44. Calcio particulado en el área de estudio

	Calcio (mg/L)			
	Febrero		Junio	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Promedio	38.59	85.84	106.68	78.68
Desviación estándar	26.53	56.20	155.08	103.43
Coefficiente de variación	68.75	65.47	145.37	131.46
Máximo	113.40	197.40	537.60	411.60
Mínimo	8.40	29.40	8.40	8.40

Durante el mes de febrero, en la superficie, se encontraron en promedio las concentraciones más bajas (38.59 mg/L) y en el fondo fueron más altas (85.84 mg/L) (Tabla 44). En general, para junio se registraron concentraciones más elevadas en superficie (106.68 mg/L) y fondo (78.65 mg/L). Aunque se presentaron variaciones en las concentraciones, no se encontró una diferencia significativa ni por nivel ni por época (Tabla 45).

Tabla 45. Prueba de t para el calcio particulado

	Superficie	Fondo	Febrero	Junio
t calculada	-1.27	0.09	-1.19	0.33
Valor de tablas $\alpha=0.05$	2.045	2.045	2.042	2.048
Rechaza H_0 si $t > 2.045$ si $t < -2.045$	No	No	No	No

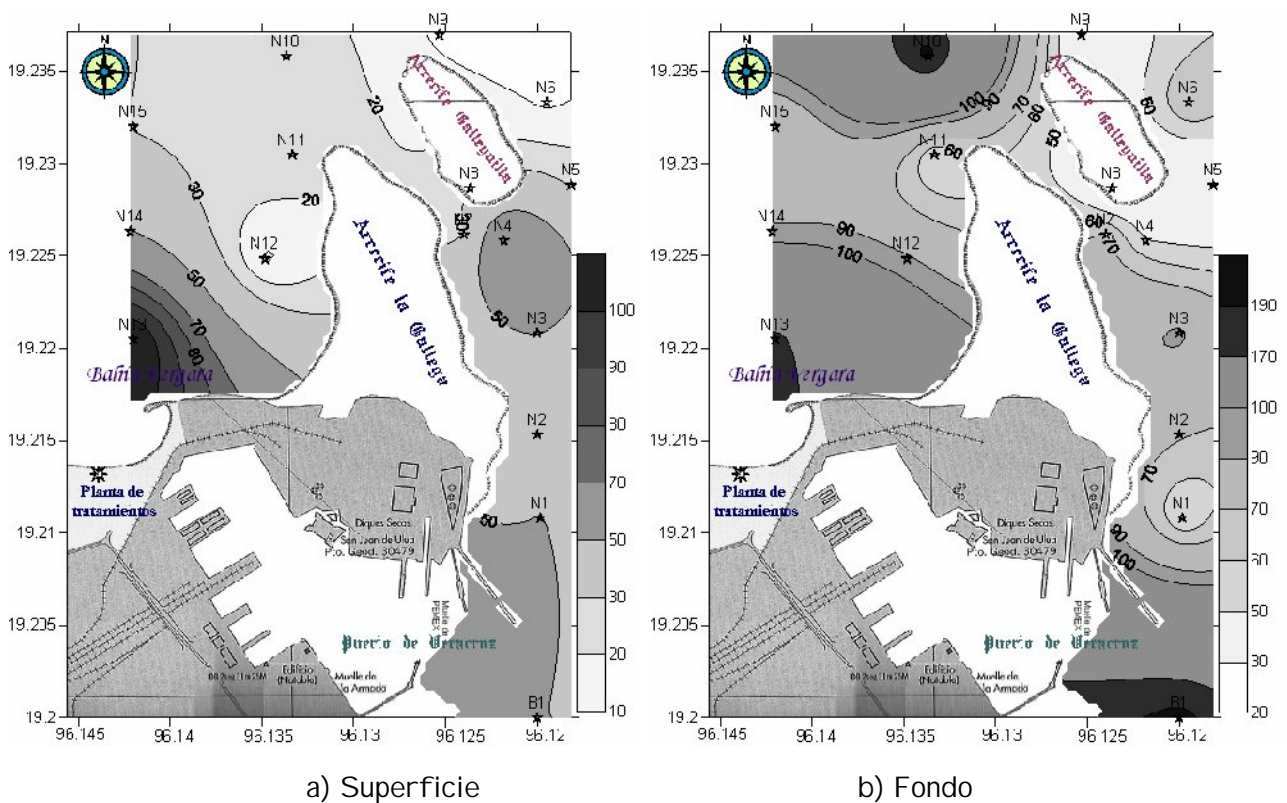


Figura 35. Calcio particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero

En cuanto a la distribución se confirmó que los valores más altos de calcio se ubicaron en la parte este del área de estudio, en las estaciones S1, N1, N2, N3 y N4 (Figura 35), en todas las épocas y a lo largo de la columna de agua, y en la estación N13 que se ubica en Bahía Vergara siendo la estación más cercana al continente. Los valores máximos de concentración se encontraron en el fondo, en febrero (Figura 35b), y en el mes de junio en la superficie (Figura

36a). En febrero, la distribución se comportó más homogéneamente en la columna de agua, tal vez se debió a que los fuertes vientos asociados a la época revuelven a la columna (Figura 35).

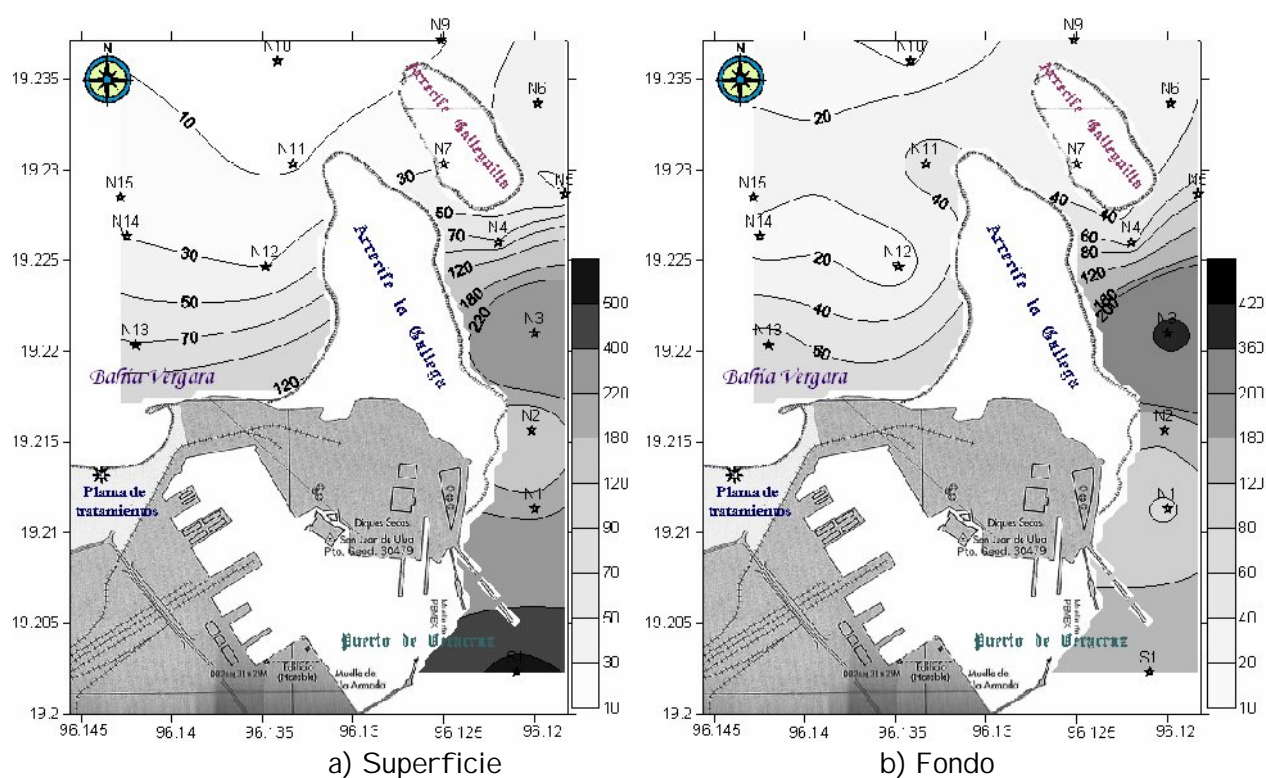


Figura 36. Calcio particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio

Curiosamente, la distribución del metal mostró patrones parecidos a los de otros metales como el hierro, donde los metales se concentraron en Bahía Vergara y cerca del puerto, durante febrero. En el mes de junio, el calcio se acumuló en el área portuaria (contrario a lo que se pensaría, distribuyéndose alrededor de la zona arrecifal); de acuerdo con este comportamiento, en febrero los metales se concentraron en Bahía Vergara, sugiriendo el movimiento de masas de norte a sur haciendo una acumulación (Figura 35). En junio, parece que las masas de agua se movieron de este a oeste a los metales acumulándolos al este del área arrecifal (Figura 36).

V.2.B.3. Hierro en material suspendido

En febrero, las concentraciones promedio en la superficie fueron de 21.94 mg/L y en el fondo de 50.09 mg/L, siendo menos variables que en junio (Tabla 46). Para este último, las concentraciones fueron más elevadas tanto en superficie (76.97 mg/L) como en fondo (46.23 mg/L) y se observó la diferencia más grande (Tabla 46).

Tabla 46. Hierro particulado en el área de estudio

	Hierro (mg/L)			
	Febrero		Junio	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Promedio	21.94	50.09	76.97	46.23
Desviación estándar	9.44	32.36	154.70	37.00
Coefficiente de variación	43.01	64.59	201.00	80.02
Máximo	52.50	110.00	624.50	155.00
Mínimo	12.50	17.00	14.00	16.50

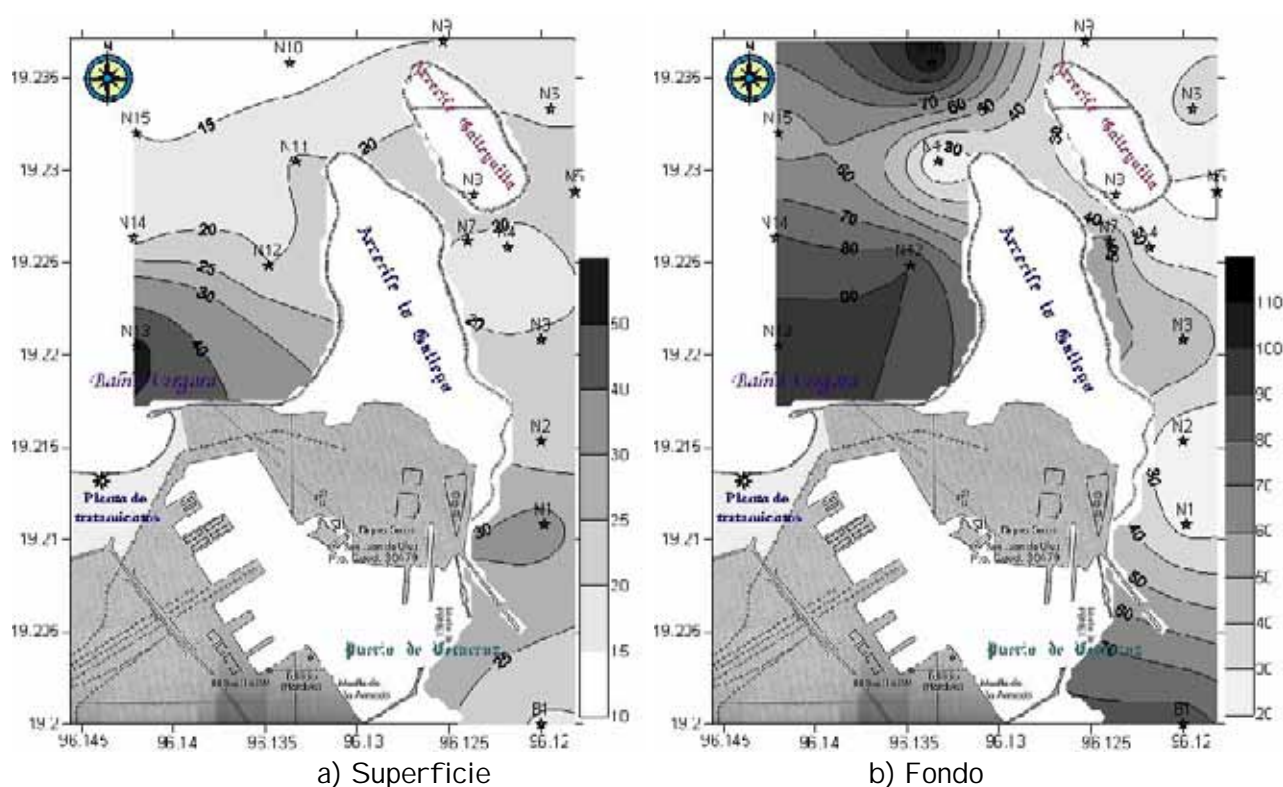


Figura 37. Hierro particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero

En los patrones de distribución, el hierro se concentró cerca del continente. En el mes de febrero parece que hay una mayor influencia por parte del área de Bahía Vergara (Figura 37) y en

junio hay mayor influencia por parte del puerto (Figura 38). Las concentraciones más bajas se presentaron en las diferentes regiones donde se ubican los arrecifes (Figuras 37 y 38).

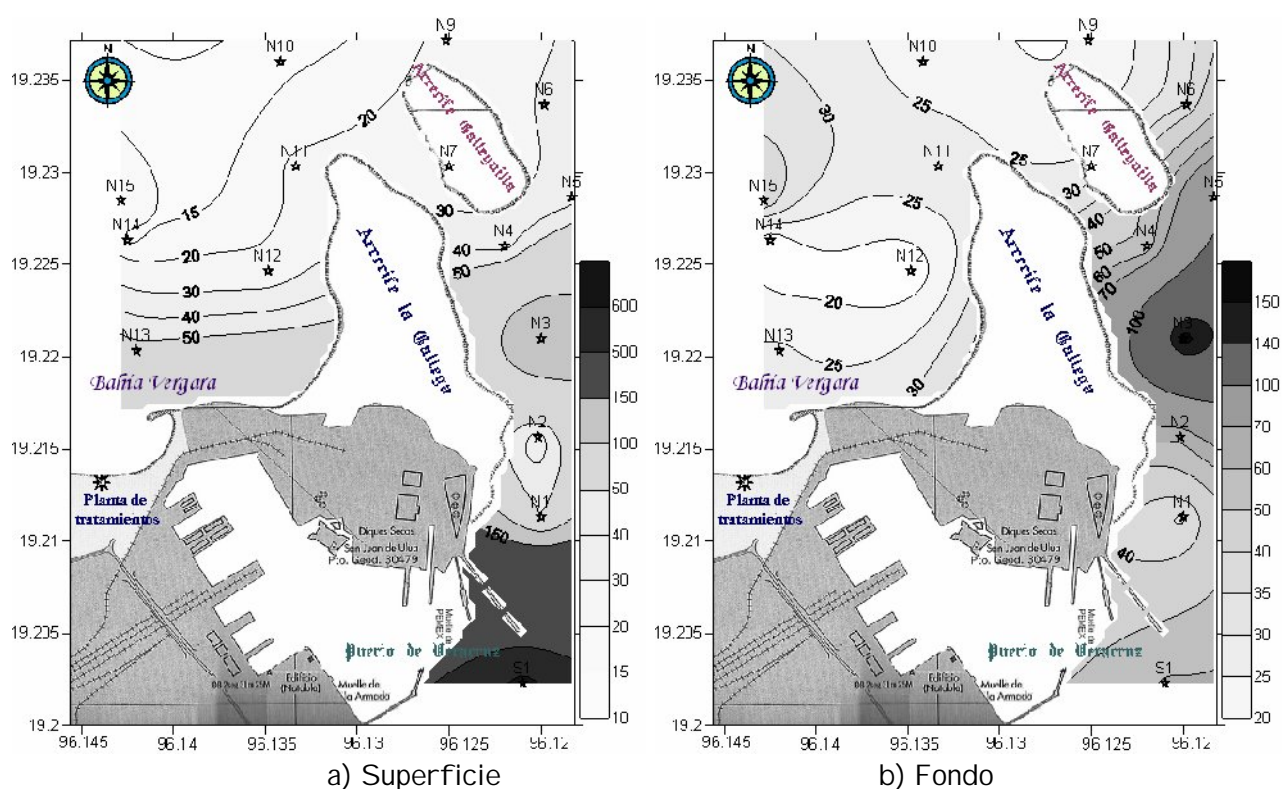


Figura 38. Hierro particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio

Cabe hacer notar que la concentración más alta en la superficie, durante junio, se registró en la estación S1 la cual se ubicó en la boca del puerto de Veracruz, si no se tomará en cuenta esa estación sería más bajo el promedio de las concentraciones (37.86 mg/L) y habría menos variación (CV=86.21).

Los patrones de distribución fueron similares a los del calcio donde se encontró un bajo nivel de hierro al norte del área, sugiriendo que hay mayor influencia del continente.

V.2.B.4. Manganeso en material suspendido

El manganeso tiene fuentes similares a las del hierro. Este metal puede ser de origen litogénico o antropogénico (Prego et al., 2003).

Tabla 47. Manganeso particulado en el área de estudio

Estaciones	Manganeso (mg/L)			
	Febrero		Junio	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Promedio	0.12	0.14	0.44	0.15
Desviación estándar	0.05	0.07	1.04	0.10
Coefficiente de variación	43.14	50.78	239.59	69.24
Máximo	0.22	0.24	4.19	0.41
Mínimo	0.05	0.05	0.05	0.04

En el mes de febrero se registraron concentraciones similares tanto en superficie (en promedio 0.12 mg/L) y fondo (0.14 mg/L), siendo menos variables en esta época (Tabla 47). Durante junio, se registraron las concentraciones más altas afectando la variación de los datos, principalmente en la superficie hubo mayor variación por la estación S1 (Tabla 47). En general, el manganeso se comportó estable.

En cuanto a la distribución del manganeso, ésta fue similar a la del hierro, distribuyéndose alrededor del continente de la misma forma que el hierro. Por lo que se infiere que tanto el calcio y hierro se comportaron de la misma manera en el sistema (Figuras 39 y 40).

En el mes de febrero, el metal se distribuyó alrededor del continente, situando los máximos en Bahía Vergara al suroeste del área (Figura 39). En la superficie los máximos de concentración se ubicaron en la estación N13 (Figura 39a) y en el fondo se ubicaron en el área comprendida por las estaciones N12, N13 y N14 y al noroeste del área en la estación N10, donde probablemente estos patrones de distribución que se han presentado sean por la influencia del río la Antigua ubicado al noroeste del área (Figura 39b).

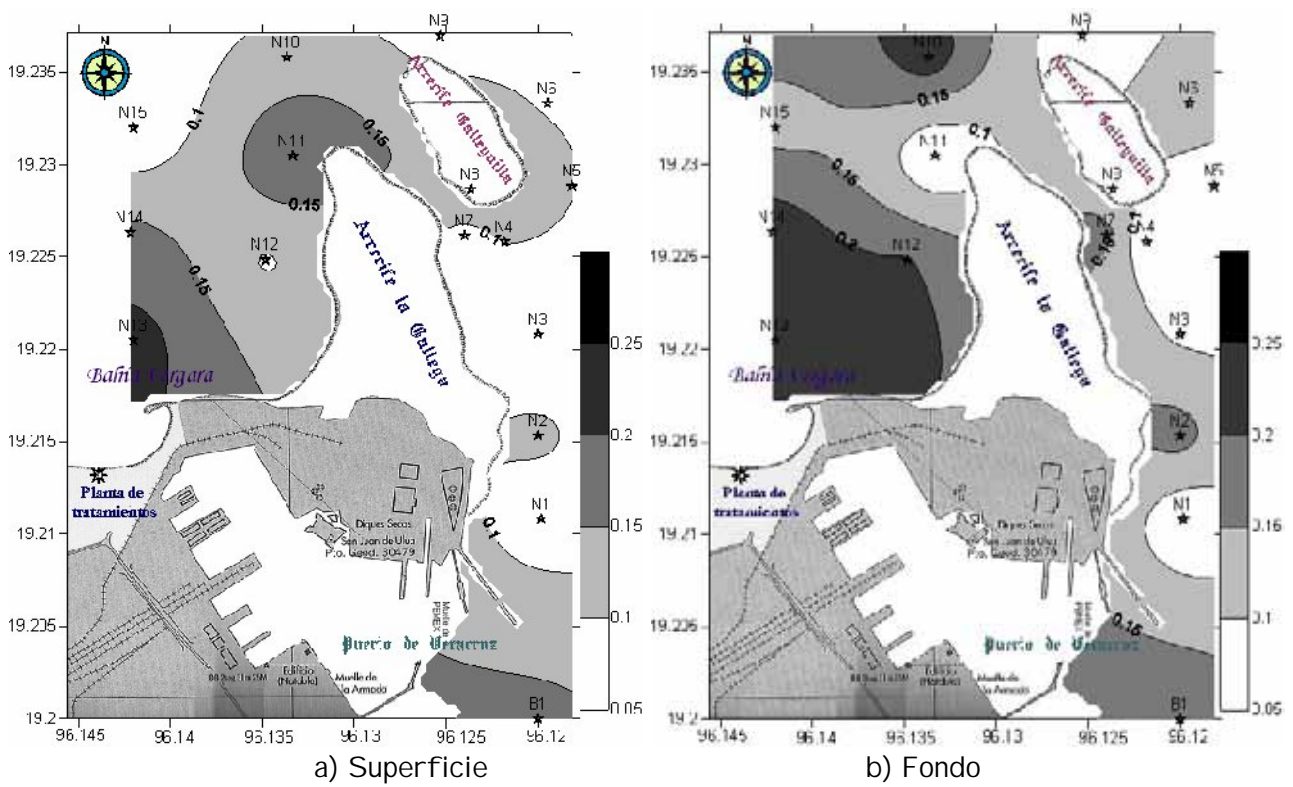


Figura 39. Manganeso particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero

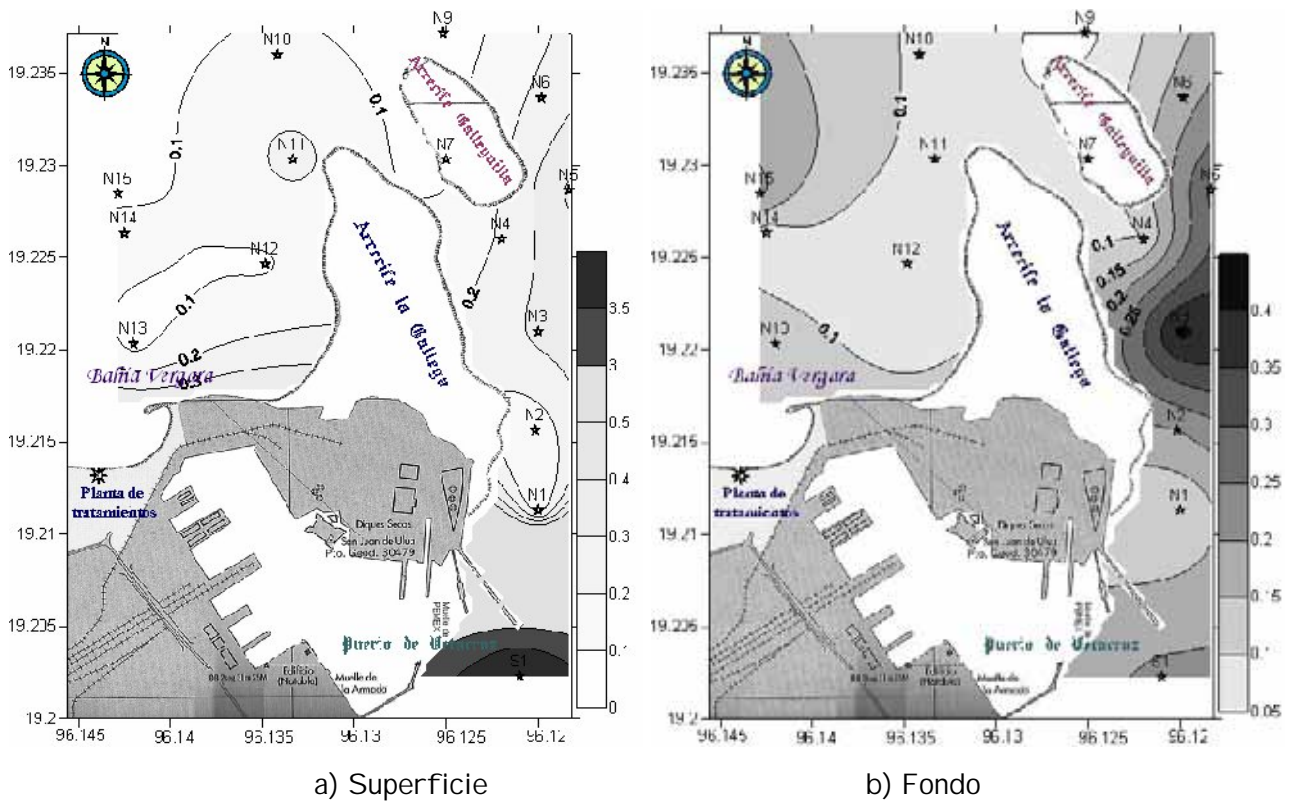


Figura 40. Manganeso particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio

En los patrones de distribución de junio, se observó que en la superficie el máximo se ubicó en la entrada al puerto (Figura 40a) y en el fondo, al este del área de estudio y al noroeste (Figura 40b), indicando que la dinámica del puerto influye en la distribución del elemento.

V.2.B.5. Cobre en material suspendido

En el estudio se detectaron concentraciones elevadas de cobre durante el mes de febrero; donde la superficie presentó concentraciones que iban de 0.01 mg/L a 0.53 mg/L, y en promedio una concentración de 0.25 mg/L; en el fondo fueron más elevadas las concentraciones, oscilando de 0.01 a 1.11 con un promedio de 0.33 mg/L (Tabla 48). Para el mes de junio fueron más bajas las concentraciones y más variables; en este caso, en la superficie se registraron concentraciones más altas que el fondo (Tabla 48). Es probable que la variación en el mes de junio se haya debido a la alta precipitación que caracteriza a la temporada, por lo que en junio se diluyó este elemento.

Tabla 48. Cobre particulado en el área de estudio

Estaciones	Cobre (mg/L)			
	Febrero		Junio	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Promedio	0.25	0.33	0.23	0.17
Desviación estándar	0.18	0.27	0.31	0.18
Coefficiente de variación	70.88	83.56	133.01	106.71
Máximo	0.53	1.11	1.08	0.60
Mínimo	0.01	0.01	2.00E-04	0.01

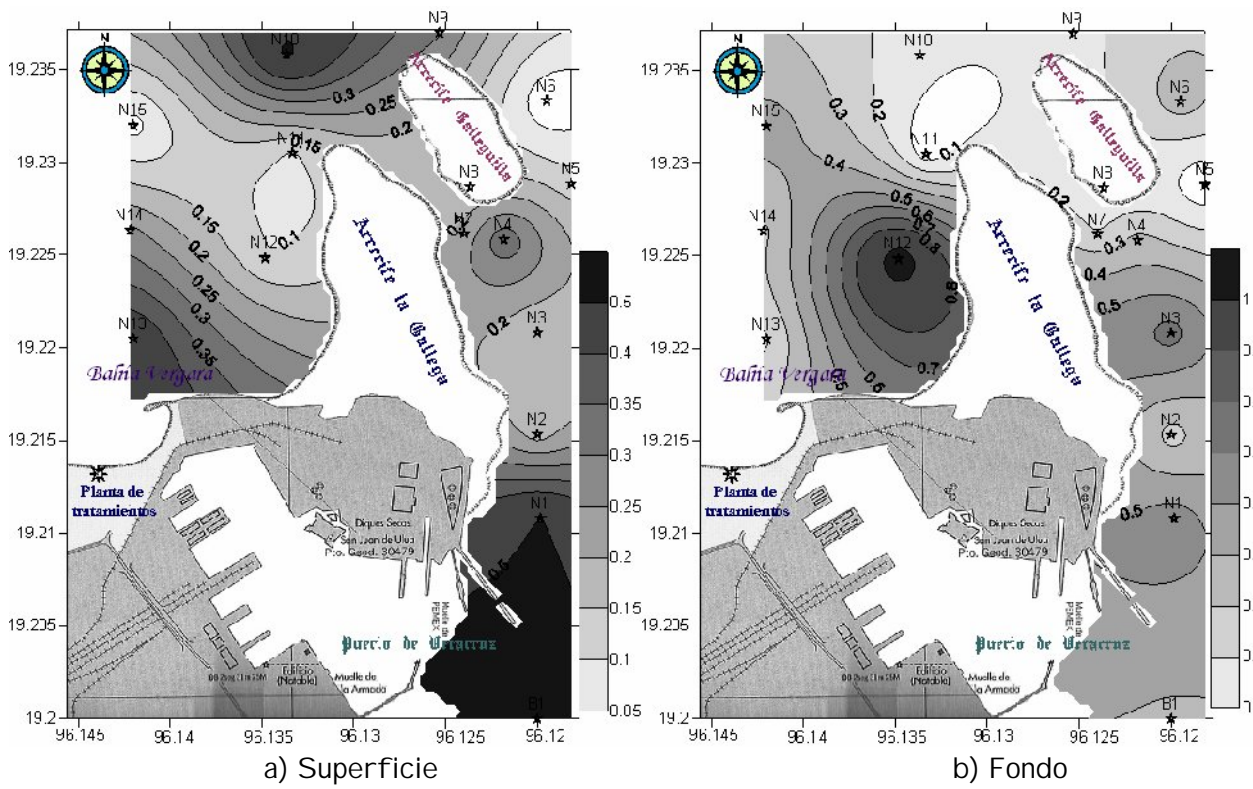


Figura 41. Cobre particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero

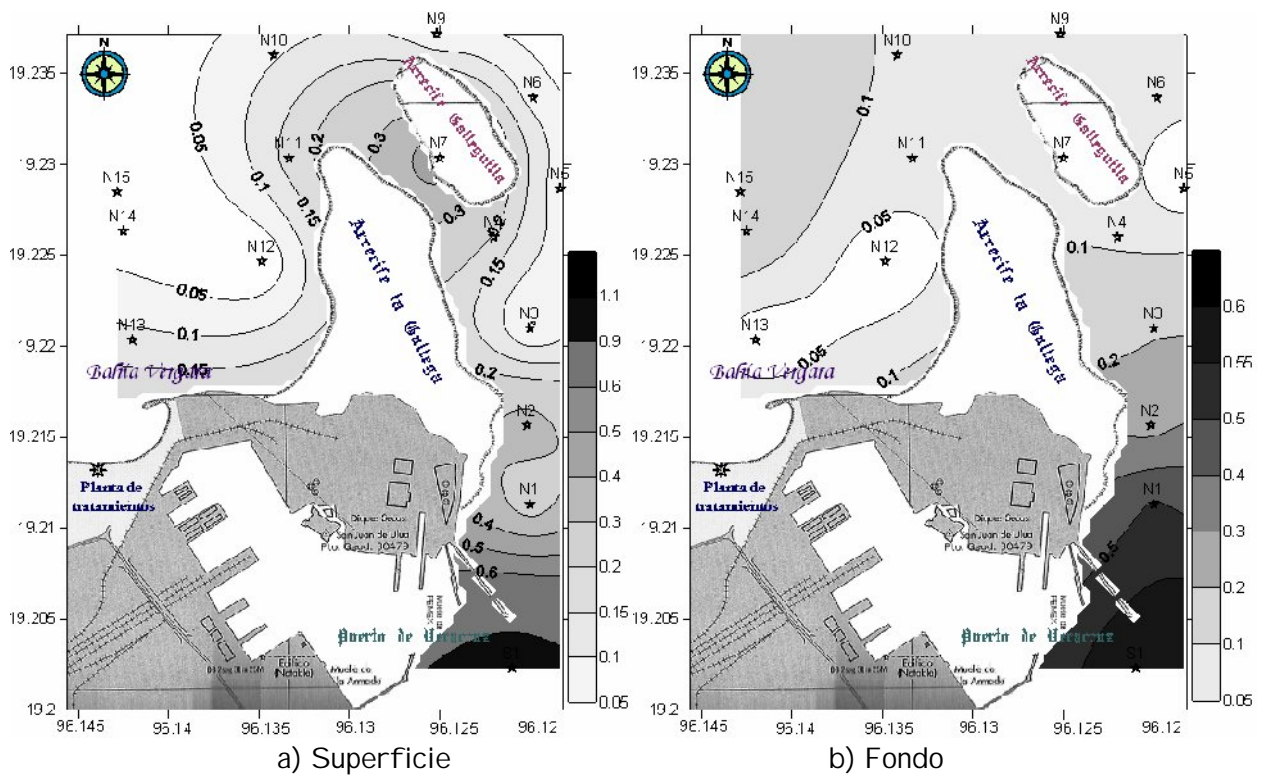


Figura 42. Cobre particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio

Los patrones de distribución del mes de febrero mostraron que el metal se distribuyó alrededor del continente en el material particulado superficial (Figura 41a), donde hay mayor influencia de Bahía Vergara y de las actividades portuarias. Además, al norte del área se observó una particular acumulación del metal en la estación N10, sugiriendo que proviene del río la Antigua (Figura 41a). El material suspendido del fondo mostró patrones definidos; presentando la acumulación del cobre al oeste del área de estudio; sugiriendo el movimiento del metal de oeste a este (Figura 41b).

En el mes de junio, el metal se distribuyó uniformemente en superficie y fondo, encontrándose el máximo de cobre en la zona portuaria (Figura 42); probablemente de alguna forma las actividades de la zona estén influyendo en el comportamiento del cobre. Cabe mencionar que en la superficie se encontraron unos patrones bien definidos del metal alrededor del continente (Figura 42a).

V.2.B.6. Cromo en material suspendido

Durante el mes de febrero se encontraron valores más elevados en el fondo. En junio, se presentaron valores más elevados en la superficie de la columna de agua, cabe destacar que en la estación S1 se presentó la concentración elevada (Tabla 49); sugiriendo una gran descarga de material suspendido por parte del puerto, donde se ubicó la estación.

Tabla 49. Cromo particulado en el área de estudio

Estaciones	Cromo (ppm)			
	Febrero		Junio	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Promedio	0.12	0.25	0.34	0.26
Desviación estándar	0.06	0.17	0.51	0.17
Coefficiente de variación	51.81	68.33	150.33	65.27
Máximo	0.26	0.65	2.10	0.61
Mínimo	0.02	0.01	0.04	0.02

En febrero, los patrones de distribución del cromo en la superficie mostraron una acumulación al este del área; en la estación N3 se concentró el metal, ésta se localizó cerca del

puerto; sugiriendo una ligera influencia del puerto (Figura 43a). En el caso del fondo presentó una mayor concentración la estación N13 viéndose la influencia de Playa Norte (Figura 43b); lo cual probablemente, se deba a la ubicación de la planta de tratamientos (Figura 43b), esta estación es la más cercana a la planta de tratamientos y donde en algunas ocasiones se ve involucrado en el proceso de las torres de enfriamiento.

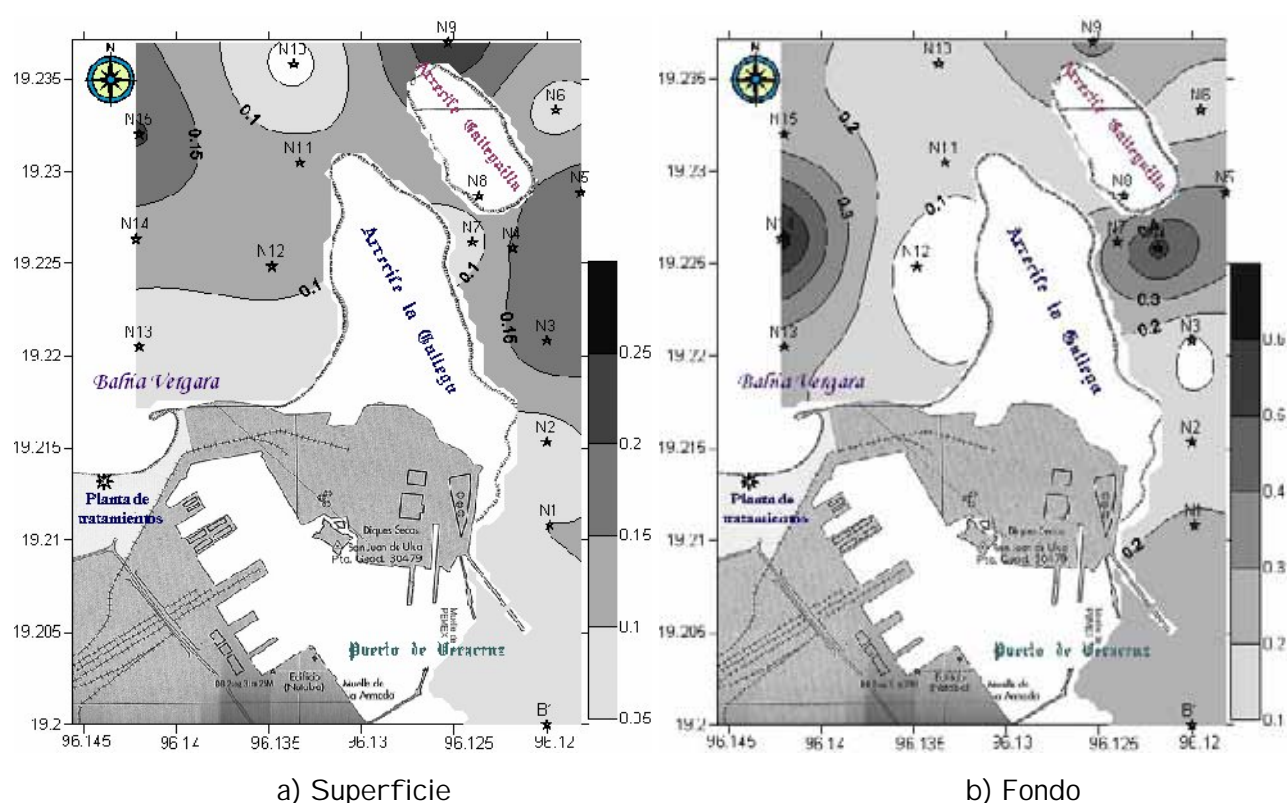


Figura 43. Cromo particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero

Durante el mes de junio, el cromo se comportó un poco distinto a febrero; en este caso el cromo se distribuyó a lo largo del este del área (Figura 44); lo que supone que en esta época influyó la morfología del área, así como los vientos procedentes de norte a sur y de este a oeste, registrándose un acumulación en el área. La estación S1 registró la concentración más alta, sugiriendo la influencia de las actividades portuarias, este mismo patrón lo presentaron los otros metales.

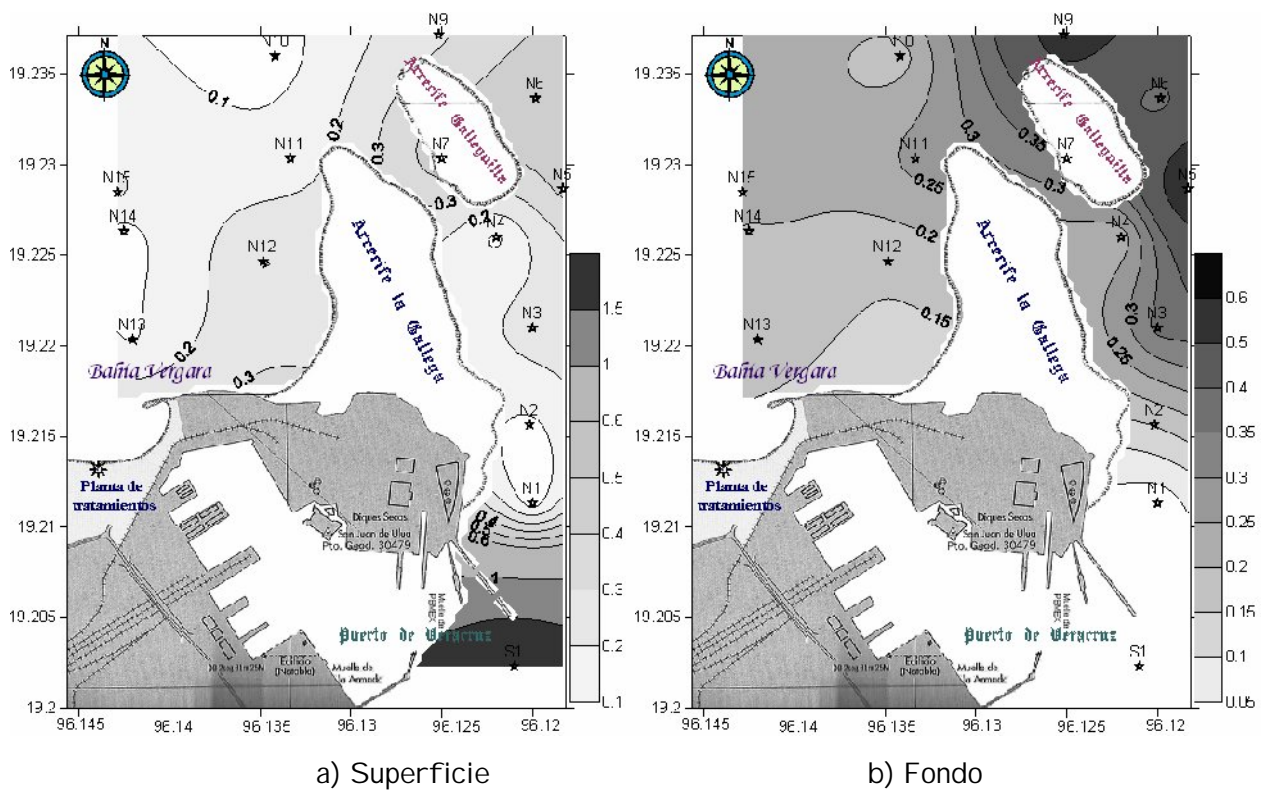


Figura 44. Cromo particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio

V.2.B.7. Níquel en material suspendido

En el mes de febrero, se registraron las concentraciones más bajas en la superficie; ya que oscilaron de 0.03 a 0.34 mg/L, en esta época se reportaron concentraciones bajas de material suspendido (Tabla 50). En el fondo se encontraron concentraciones en promedio similares a las del mes de junio, los valores fueron más variables (CV=125.09), lo cual podría estar asociado a los fuertes vientos presentes en esta época.

Durante el mes junio, las concentraciones fueron más elevadas en la superficie (Tabla 50), asociado al alto contenido de material suspendido presente en esta época. Considerando la elevada precipitación fluvial, probablemente el elemento sea aportado por la precipitación.

Tabla 50. Níquel particulado en el área de estudio

Níquel (ppm)

	Febrero		Junio	
Estaciones	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Promedio	0.17	0.36	0.47	0.33
Desviación estándar	0.11	0.45	0.32	0.15
Coefficiente de variación	64.20	125.09	67.91	45.78
Máximo	0.34	1.73	1.22	0.66
Mínimo	0.03	0.06	0.12	0.13

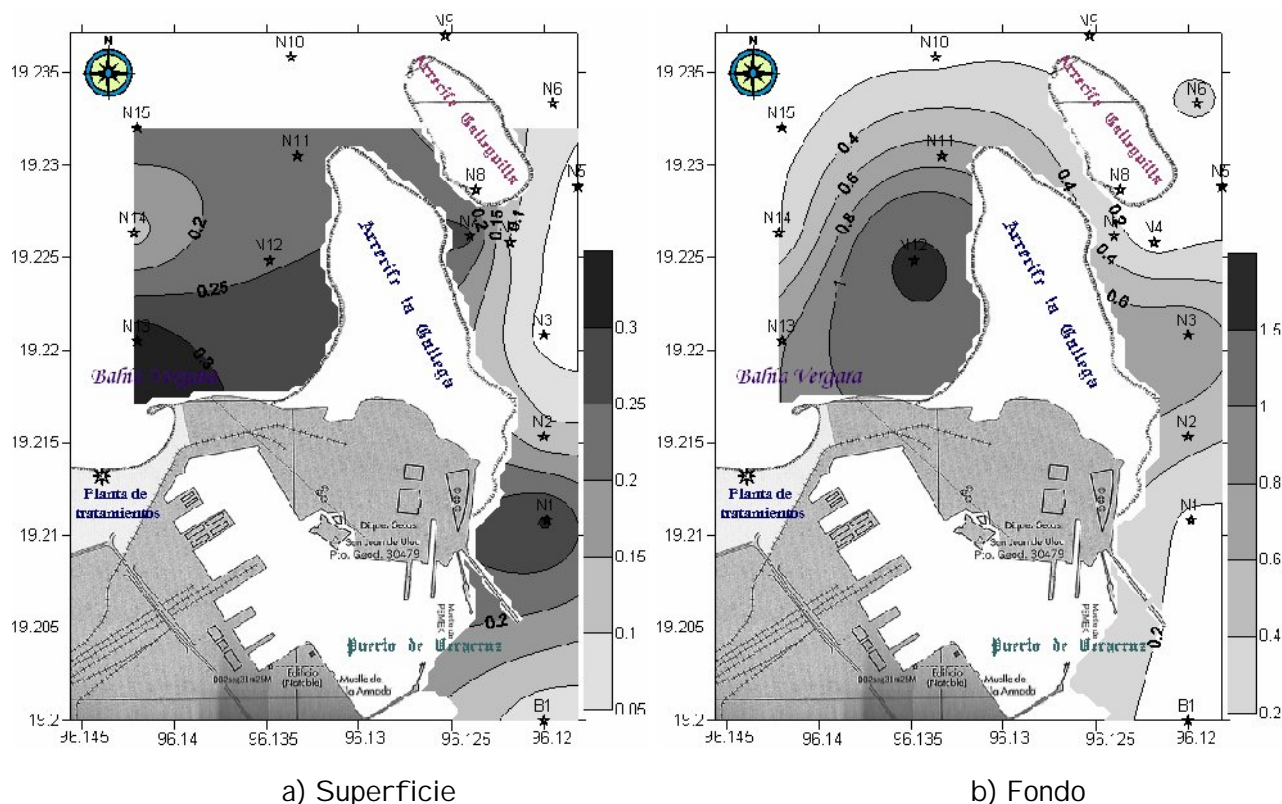


Figura 45. Níquel particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en febrero

Los patrones de distribución del níquel en el mes de febrero mostraron mayor influencia de Bahía Vergara, por los niveles máximos del metal observados en el área (Figura 45). Además, las concentraciones elevadas se localizaron en estaciones cercanas al continente; en la superficie se ubicaron en la estación N13 (Figura 45a) y en el fondo en la N12 (Figura 45b), sugiriendo que el metal se mueve de suroeste a noreste a lo largo de la columna de agua, es decir, cuando va descendiendo en la columna de agua.

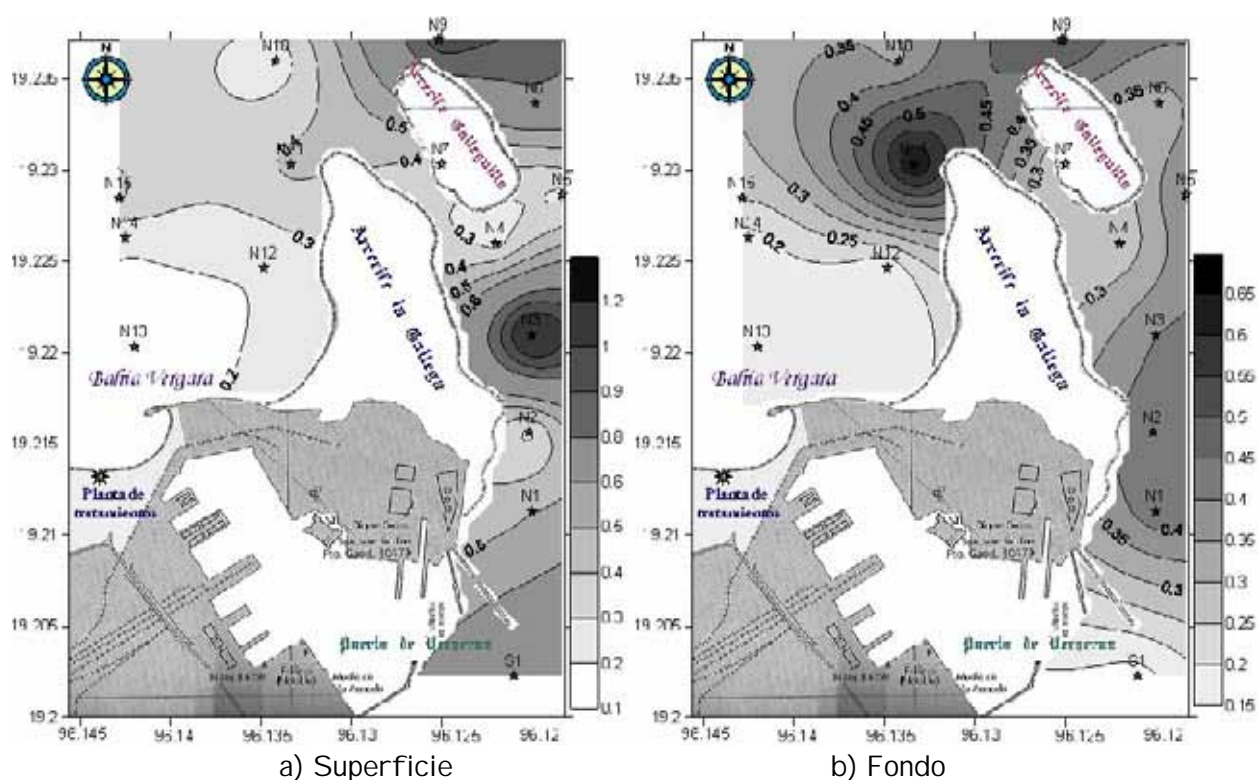


Figura 46. Níquel particulado (mg/L) en las aguas del área de estudio en junio

Los patrones de distribución del mes de junio mostraron que el níquel se distribuyó al este del área de estudio, en superficie y fondo (Figura 46). La distribución superficial, sugiere que el metal proviene del área portuaria y conforme desciende se va transportando el níquel de sur a norte, para que finalmente se encuentre una acumulación del metal al norte de los arrecifes que al parecer sirven como barrera.

V.2.B.8. Plomo en material suspendido

El plomo fue uno de los elementos traza que se encontró muy elevado, encontrándose concentraciones de hasta 8.97 mg/L (Tabla 51) durante junio. Las concentraciones en febrero fueron bajas y variables, en comparación con el mes de junio; al parecer influyó la temporalidad (Tabla 51). En junio, al parecer contribuye la precipitación en la entrada del metal al área (Tabla 51). Se ha reportado que hay un ingreso importante del plomo por vía atmosférica, indicando que la precipitación es uno de los factores importantes que influyen en las concentraciones.

Tabla 51. Plomo particulado en el área de estudio

	Plomo (ppm)			
	Febrero		Junio	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Promedio	0.52	0.66	2.26	2.42
Desviación estándar	0.77	0.89	2.35	2.35
Coefficiente de variación	146.47	133.88	104.00	97.05
Máximo	2.67	2.65	8.74	8.97
Mínimo	0.03	0.12	0.06	0.24

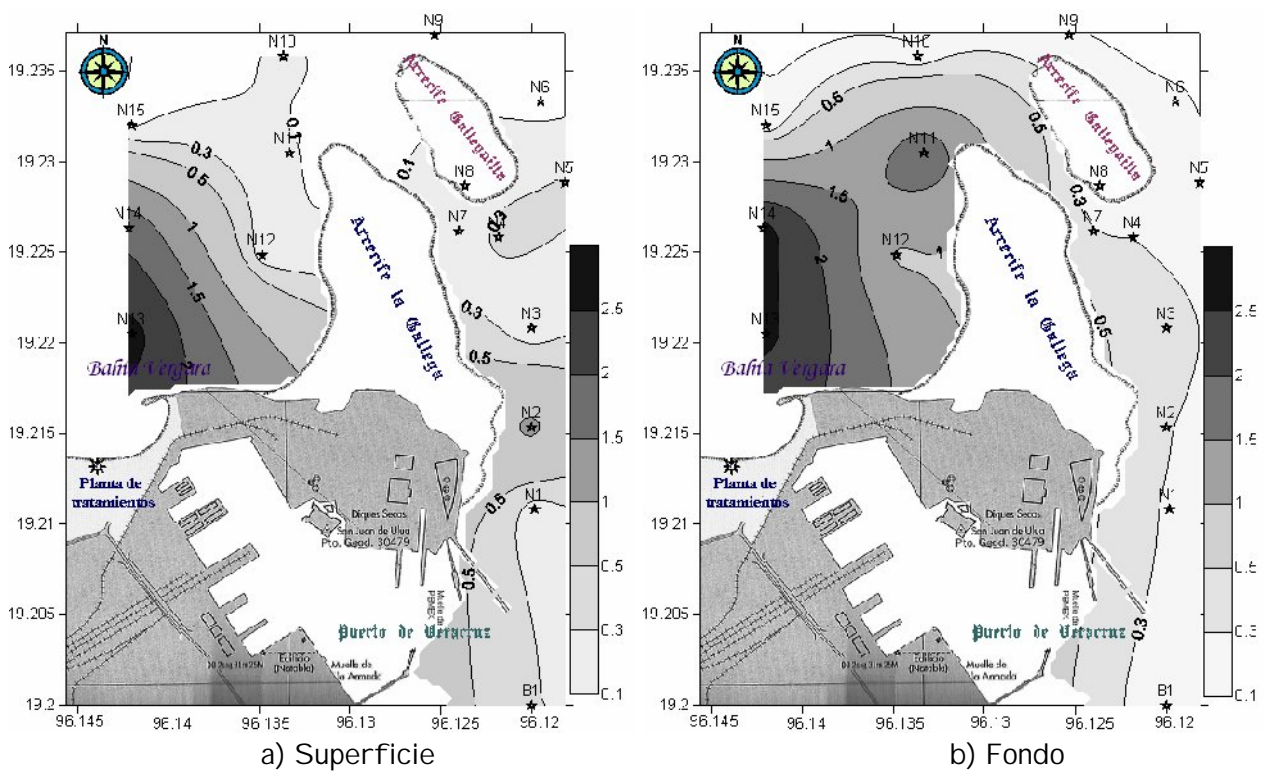


Figura 47. Plomo particulado (ppm) en las aguas del área de estudio en febrero

En cuanto a la distribución, durante el mes de febrero se mostró un patrón que va de sur a norte (Figura 47), encontrándose el máximo de la superficie y fondo en Bahía Vergara (Figura 47a); distribuyéndose de la misma forma con dirección de sur a norte (Figura 47b). Básicamente, el metal se distribuyó alrededor del continente, presentando mayor influencia por la dinámica o las actividades que se realizan en la zona de Bahía Vergara.

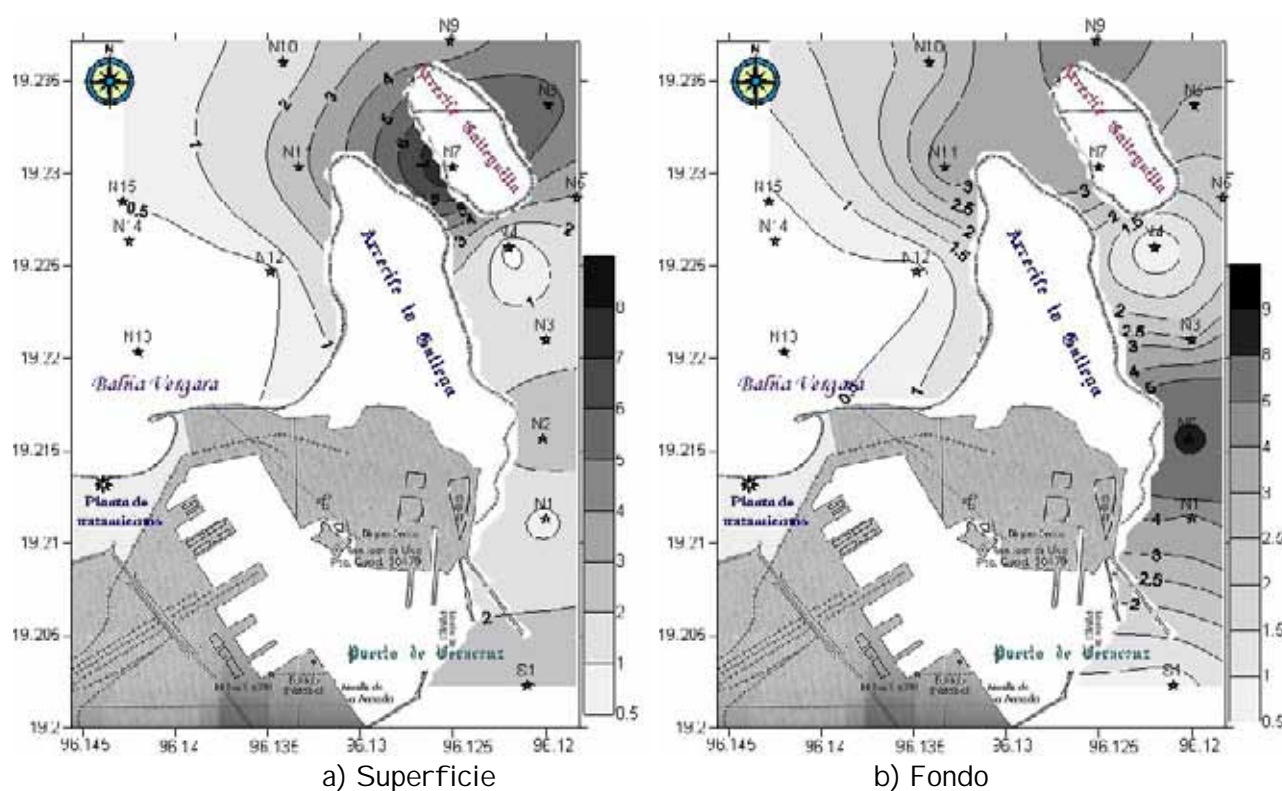


Figura 48. Plomo particulado (ppm) en las aguas del área de estudio en junio

Durante junio se presentó, igualmente, una distribución de sur a norte (Figura 48), concentrándose al norte del arrecife La Gallega (Figura 48). Al parecer se concentra de tal forma por el efecto de la corriente y las descargas continentales, estas últimas parecen ser las que influyen más en el área de Bahía Vergara.

V.2.B.9. Vanadio en material suspendido

En el mes de febrero se presentaron las concentraciones más bajas y poco variables (Tabla 52). En esta época, en la parte superficial se observaron las concentraciones más bajas de vanadio, donde se encontró un promedio de 0.07 mg/L de vanadio particulado; en el fondo se registraron las concentraciones más elevadas de la época (Tabla 52); así mismo, el vanadio se concentró en el área de Playa Norte (estaciones N12, N13 y N14).

En el mes de junio, las concentraciones fueron más elevadas y más variables en comparación con febrero (Tabla 52). En la superficie, las concentraciones fueron más elevadas (0.30 mg/L y 0.13 mg/L) y variables (CV). Por lo que se infiere que influye la alta precipitación fluvial de la época y las descargas del puerto, observándose los valores más altos en las estaciones B1, N1, N2 y N3, que se ubican cerca del puerto. Además, el vanadio fue de los elementos que se encontraron en menor proporción en comparación con el plomo.

Tabla 52. Vanadio particulado en el área de estudio

Estaciones	Vanadio (ppm)			
	Febrero		Junio	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Promedio	0.07	0.20	0.30	0.13
Desviación estándar	0.06	0.21	0.78	0.15
Coefficiente de variación	90.50	106.35	260.11	114.21
Máximo	0.21	0.75	2.96	0.58
Mínimo	4.00E-03	0.01	0.01	1.00E-03

Los patrones de distribución del vanadio fueron similares a los del plomo por lo que se infiere que provienen de la misma fuente comportándose del mismo modo (Figura 49 y 50).

Durante febrero, el vanadio particulado se concentró en la zona de bahía Vergara tanto en superficie como en fondo (Figura 49). En la superficie se distribuyó a lo largo de Bahía Vergara (Figura 49a). En el fondo se observó que hay una cierta influencia por parte de Bahía Vergara y el puerto (Figura 49b); tal vez este comportamiento se deba a que las partículas suspendidas van bajando por la columna de agua limpiándola y absorbiendo a los metales acumulándose en el fondo.

En junio, el metal se distribuyó al este del área de estudio como en el caso del plomo, sugiriendo la influencia del puerto y las corrientes; ya que se distribuyó de norte a sur y de este a oeste acumulándose al este de los arrecifes (Figura 50).

V.2.C. INTEGRACIÓN DE DATOS

La mayor concentración de metales asociados a material suspendido se dio en la superficie durante el mes de junio (Tabla 41), se hizo un análisis de correlación para los datos de superficie y fondo respectivamente. Algunas variables no se asociaron, por lo que no se presentaron en las tablas de correlación y sólo se muestran los valores significativos.

V.2.C.1 Febrero.

Durante el mes de febrero, en la superficie se observó una correlación estadísticamente significativa, específicamente, en el caso del plomo con el vanadio, el cobre disuelto y material suspendido, sugiriendo que parte de su origen se debió al aporte de las actividades humanas o las descargas, ya que tiene una relación inversa con la salinidad (Tabla 53), indicando que este metal proviene del agua dulce.

El calcio asociado a material suspendido presentó una correlación significativa con el cobre particulado (0.55), hierro particulado (0.70), manganeso particulado (0.50) y plomo particulado (0.72), sugiriendo su presencia como partículas asociadas a oxihidróxidos de hierro-manganeso, aunado a lo anterior el hierro se relaciona con el oxígeno (Tabla 53).

El material suspendido se asoció con el oxígeno, el pH, la temperatura, el cobre disuelto, el calcio particulado y plomo particulado (Tabla 53), sugiriendo la presencia de procesos químicos que suceden en el material suspendido. Además, el calcio se asoció al hierro particulado sugiriendo que probablemente proviene de la litología de la zona.

Tabla 53. Coeficientes de correlación de Pearson (r). Febrero-Superficie

	O ₂ mL/L	Sal.	pH	TDS	T (°C)	Cond.	En agua				TOC	En material particulado								Mat. Susp.		
							Ni	Pb	Fe	Cu		Al	Ca	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V		Cr	
O ₂ mL/L	1.00		0.87		0.79								0.56		0.53			0.68	0.81		0.58	
Sal.		1.00		0.95	-0.59	0.95							-0.57					-0.64	-0.51			
pH			1.00	-0.55	0.86	-0.52			0.52						0.55			0.69	0.79		0.58	
TDS				1.00	-0.58	0.99	0.52											-0.61				
Temp.					1.00	-0.59	-0.24						0.53					0.63	0.78		0.55	
Cond.						1.00	0.50											-0.56				
Niagua							1.00	0.65	0.72			0.77										
Pbagua								1.00	0.73						0.56							
Feagua									1.00													
Cuagua										1.00			0.60	0.60			0.55				0.65	
TOC											1.00										-0.61	
Al Part.												1.00										
Ca Part.													1.00	0.55	0.70	0.50		0.72			0.70	
Cu Part.														1.00								
Fe Part.															1.00	0.52	0.60	0.68			0.77	
Mn Part.																1.00		0.61				
Ni Part.																	1.00					
Pb Part.																		1.00	0.75		0.83	
V Part.																			1.00			
Cr Part.																				1.00		
Mat. Susp.																					-	1.00

Valores significativos para n= 16 $r > 0.497$ $\alpha = 95\%$ $r > 0.623$ $\alpha = 99\%$ Donde n es el número de muestras, r valor de correlación aceptada a un nivel de significancia α

En el fondo durante el mes de febrero (Tabla 54), el cobre particulado se relacionó con el oxígeno, por lo que probablemente se estén efectuando reacciones de óxido-reducción e interviniendo con la materia orgánica. El calcio parece que proviene de la fracción arcillosa, relacionándose con el hierro y el manganeso; estos metales se asociaron con los sólidos totales (Tabla 54); sugiriendo una procedencia predominantemente del continente. En el caso del hierro

se tiene el mismo tipo de asociación que en la superficie (Tablas 53 y 54), predominando la formación de los oxihidróxidos que atrapan a metales como el vanadio y calcio. Por otro lado, el níquel tiene una relación inversa con la conductividad y sólidos totales infiriéndose que no procede de las descargas del agua dulce.

Tabla 54. Coeficientes de correlación de Pearson (r). Febrero-Fondo

	O2 mL/L	pH	TDS	T (C)	Cond.	En agua						En material suspendido					
						Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	V	Ca	Cu	Fe	Mn	Pb	V
O2 mL/L	1.00											0.54					
pH		1.00												0.55			
TDS			1.00	0.61	0.72				-0.51				0.64	0.61	0.59		
Temp.				1.00		-0.50				-0.52							
Cond.					1.00				-0.62		0.51						
Cr agua						1.00				1.00		0.53					0.70
Cu agua							1.00	0.93			0.51						
Fe agua								1.00			0.56						
Ni agua									1.00								
Pb agua										1.00		0.53					0.70
V agua											1.00						
Ca part.												1.00	0.88				0.85
Cu part.													1.00				
Fe part.														1.00	0.86		0.85
Mn part.															1.00		0.73
Pb part.																1.00	
V part.																	1.00

Valores significativos para $n = 16$ $r > 0.497$ $\alpha = 95\%$ $r > 0.623$ $\alpha = 99\%$
 Donde n es el número de muestras, r valor de correlación aceptada a un nivel de significancia α

De forma general (Tabla 55), en la columna de agua, durante febrero el hierro y el manganeso estuvieron formando oxihidróxidos; además de que tuvieron la misma procedencia, estos están atrapando al plomo y al vanadio. El níquel disuelto, se encontró asociado al aluminio; sugiriendo un origen terrígeno (Tabla 55). Por otro lado, el hecho de que se estén relacionando algunos metales con la salinidad indica que son propios del sistema marino o que tiene otro origen

distinto a las descargas de agua dulce, tal es el caso del calcio, hierro, y vanadio particulados (Tabla 55).

Tabla 55. Coeficientes de correlación de Pearson (r). Febrero (Superficie-Fondo)

	O ₂ mL/L	Sal.	pH	TDS	T (°C)	Cond.	Ni agua	V agua	TOC	Al ms	Ca ms	Cu ms	Fe ms	Mn ms	Ni ms	Pb ms	V ms	Prof.	
O ₂ mL/L	1.00	-0.52	0.78		0.62	-0.38													
Sal.		1.00	-0.55	0.74	-0.64	0.84			-0.36		0.45		0.52				0.38		
pH			1.00		0.71	-0.44			0.35										
TDS				1.00		0.86					0.58		0.73	0.46	0.40	0.37	0.51		
T (C)					1.00	-0.50					-0.36								
Cond.						1.00					0.51		0.63				0.47		
Ni agua							1.00		0.57										
V agua								1.00				0.39							
TOC									1.00										
Al ms										1.00									
Ca ms											1.00		0.88	0.66		0.37	0.83		
Cu ms												1.00			0.66				
Fe ms													1.00	0.72	0.52	0.38	0.84		
Mn ms														1.00		0.47	0.64		
Ni ms															1.00		0.40		
Pb ms																1.00	0.35		
V ms																	1.00		
Prof.																			1.00

Valores significativos para n= 32 $r > 0.349$ $\alpha = 95\%$

$r > 0.449$ $\alpha = 99\%$

Donde n es el número de muestras, r valor de correlación aceptada a un nivel de significancia α

De acuerdo al comportamiento del área se puede clasificar en tres grupos (Figura 51):

Grupo 1. Este grupo conforma a los elementos de origen terrígeno, donde se encuentran el aluminio particulado y el níquel, plomo, cobre y cromo disueltos. Generalmente, al aluminio se le asocia un origen terrígeno.

Grupo 2. Este grupo es el más grande de los tres, incluye a la salinidad, la conductividad, los sólidos totales disueltos y algunos metales disueltos y particulados como son: el vanadio, manganeso, hierro, níquel, cobre, plomo y calcio; asociándose al agua con mayor influencia marina.

Grupo 3. Este grupo abarca a las propiedades fisicoquímicas del área, donde la profundidad parece ser un factor en el comportamiento y variaciones que existen en el sistema.

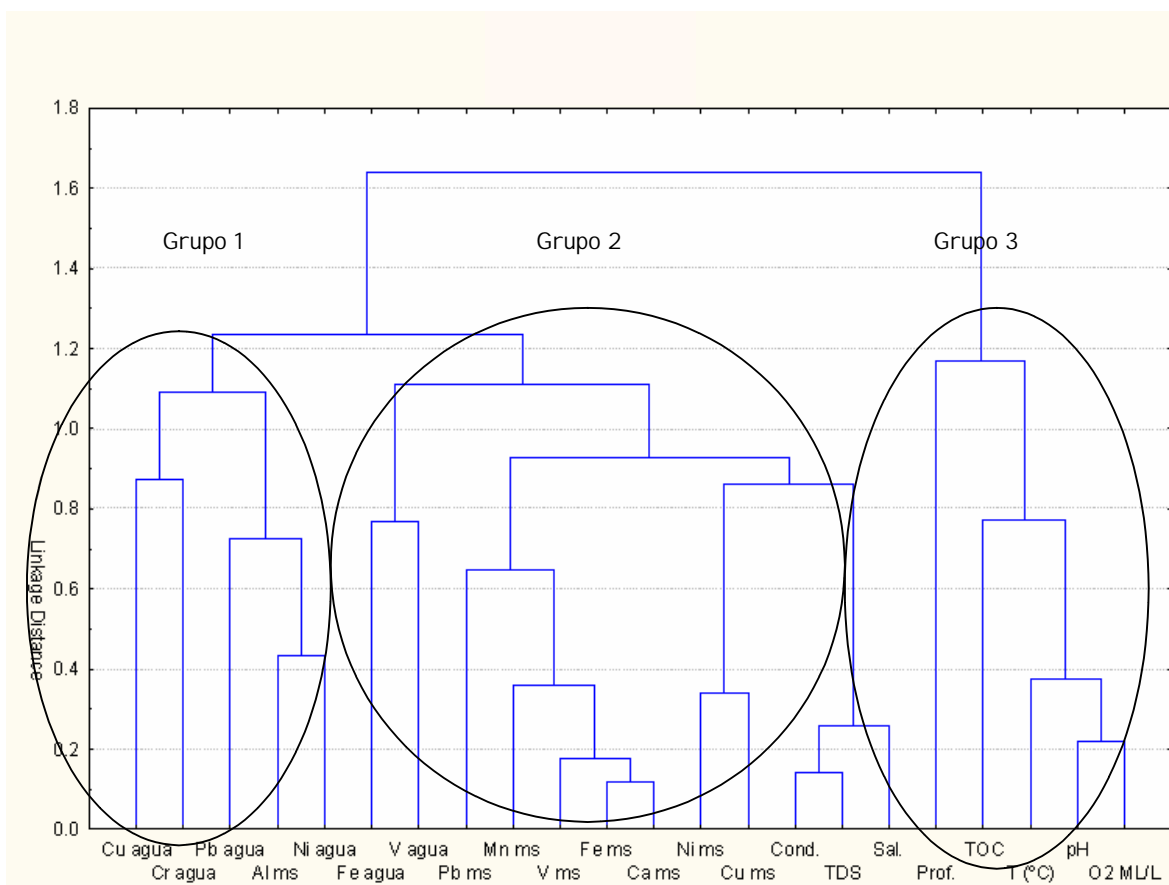


Figura 51. Dendrograma de las variables. Febrero (Superficie-Fondo).

En el caso de las muestras superficiales se puede ver que hay un comportamiento similar entre algunas estaciones, observándose 3 grupos (Figura 52a):

Grupo 1. Incluye a las estaciones que se ubican más al norte, sugiriendo poca influencia del continente, y sus características se deben a la ubicación de los arrecifes.

Grupo 2. Las estaciones se ubican alrededor del arrecife Galleguilla, indicando que estas muestras están influidas por el arrecife.

Grupo 3. Las estaciones se ubican cerca del continente donde sugieren la influencia del puerto; otra sección comprende a las estaciones N1 y N2 que se separan un poco de las

demás, estas tal vez se comporten diferente por tener mayor impacto de las actividades portuarias.

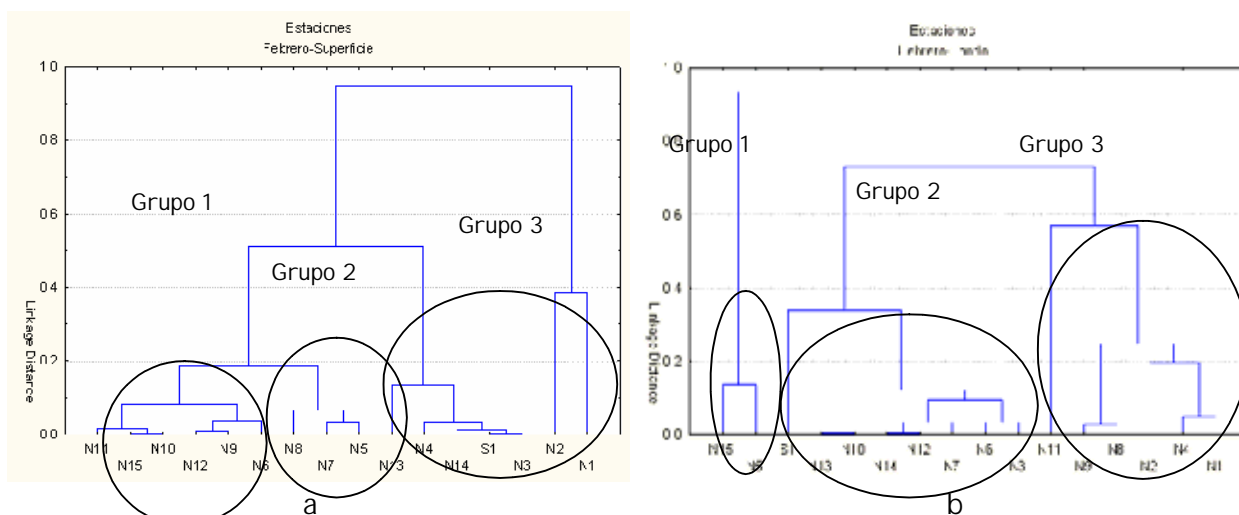


Figura 52. Dendrograma de las estaciones. Febrero, a) Superficie; b) Fondo.

En las muestras del fondo, se pueden observar 3 grupos (Figura 52b):

Grupo 1. Incluye a las estaciones que se ubican más alejadas, sugiriendo poca influencia del continente, ubicándose en una latitud similar.

Grupo 2. Incluye a las estaciones más propensas a un impacto antropogénico tales como S1 y N13, donde la primera se localiza en la boca de la entrada al puerto y la segunda es la más cercana a la planta de tratamientos de Playa Norte.

Grupo 3. Este grupo incluye a las estaciones que parecerían influidas por el puerto, ya que el grupo se compone de las estaciones que se ubican al este del área de estudio.

V.2.C.2. Junio.

En la superficie se observó que el calcio presenta una relación positiva con el aluminio (Tabla 56), suponiendo un origen terrígeno y parte de la fracción arcillosa. El manganeso y el hierro se relacionaron sugiriendo la formación de oxihidróxidos, también se asociaron con el vanadio (Tabla 56), sugiriendo que son parte de los minerales existentes en la zona.

Tabla 56. Coeficiente de correlación de Pearson (r). Junio-Superficie

	Prof.	O2 mL/L	Sal.	pH	TDS	T (°C)	Cond.	En agua		En material suspendido								Mat. Susp.	
								Cr	Cu	Al	Ca	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V		Cr
Prof.	1.00					0.67													
O2 mL/L		1.00	-0.56		-0.56		-0.55						0.54	0.55	0.57		0.56	0.62	0.59
Sal.			1.00		0.97		0.99		-0.52	-0.72	-0.80	-0.81	-0.90	-0.90			-0.89	-0.87	-0.89
pH				1.00										0.52				0.53	
TDS					1.00		0.99		-0.53	-0.63	-0.73	-0.86	-0.87	-0.89			-0.87	-0.86	-0.86
Temp.						1.00													
Cond.							1.00		-0.55	-0.65	-0.79	-0.84	-0.88	-0.89			-0.87	-0.84	-0.88
Cr								1.00								0.51			
Cu									1.00	0.54	0.65	0.61	0.60	0.56			0.58		0.56
Al part.										1.00	0.75	0.71	0.83	0.78			0.82	0.84	0.81
Ca part.											1.00	0.69	0.87	0.79	0.55		0.86	0.71	0.91
Cu part.												1.00	0.84	0.86			0.86	0.85	0.82
Fe part.													1.00	0.98			1.00	0.94	0.98
Mn part.														1.00			0.99	0.96	0.95
Ni part.															1.00				
Pb part.																1.00			
V part.																	1.00	0.94	0.98
Cr part.																		1.00	0.90
Mat. Susp.																			1.00

Valores significativos para $n = 15$ $r > 0.514$ $\alpha = 95\%$ $r > 0.641$ $\alpha = 99\%$
 Donde n es el número de muestras, r valor de correlación aceptada a un nivel de significancia α

En el fondo, el oxígeno y el carbono orgánico total están asociados con la profundidad, sugiriendo la influencia de la litología del área (Tabla 57). El hierro, manganeso y calcio se encontraron relacionados con las arcillas (Tabla 57); además, el hierro se asoció al aluminio, sugiriendo que parte de su aporte es de origen terrígeno. En cuanto al níquel, cobre y plomo presentan una relación que posiblemente se deba a las actividades costeras (Tabla 57).

En general, durante el mes de Junio, el hierro y manganeso se relacionaron con el oxígeno, por lo que se encuentran formando oxihidróxidos; los cuales captan a los metales traza como el vanadio y el cobre. El calcio parece que tiene un origen terrígeno, ya que se encontró relacionado con el aluminio (Tabla 58), infiriendo su introducción por parte del continente. El vanadio parece ser parte de los minerales del área. El cobre particulado se encontró asociado a la parte

terrígena, debido a que presentó una relación positiva con el aluminio (Tabla 58). Por otro lado, el cobre disuelto se asoció al hierro y manganeso (Tabla 58), infiriéndose que éste está siendo absorbido por los oxihidróxidos.

Tabla 57. Coeficiente de correlación de Pearson (r). Junio-Fondo

	Prof.	O2 mL/L	Sal.	pH	TDS	Cond.	En agua		TOC	En material suspendido								Mat. Susp.	
							Cu	Fe		Al	Ca	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V		Cr
Prof.	1.00								0.57										
O2 mL/L		1.00									0.72								
Sal.			1.00					0.60											
pH				1.00											-0.58				
TDS					1.00	0.63												0.53	
Cond.						1.00													
Cu							1.00							0.93	0.51				
Fe								1.00	0.58									0.69	
TOC									1.00										
Al										1.00									
Ca											1.00	0.90	0.79				0.90		0.82
Cu												1.00							
Fe													1.00	0.93			0.98		0.84
Mn														1.00			0.90		0.76
Ni															1.00	0.62			0.63
Pb																1.00			
V																	1.00		0.82
Cr																		1.00	
Mat. Susp.																			1.00

Valores significativos para $n = 15$ $r > 0.514$ $\alpha = 95\%$ $r > 0.641$ $\alpha = 99\%$
 Donde n es el número de muestras, r valor de correlación aceptada a un nivel de significancia α

De acuerdo con sus características, el comportamiento de las variables en el área se puede clasificar en cuatro grupos (Figura 53):

Grupo 1. Este grupo se conforma de plomo, vanadio, cromo y hierro disueltos y plomo particulado, sugiriendo la influencia antropogénica del área.

Grupo 2. Incluye al carbón orgánico total, el cual se vio afectado por la profundidad. Éstos tienen una asociación con el níquel; por lo que probablemente representen a la dinámica de la columna del agua.

Grupo 3. Este grupo parece representar a la fracción terrígena del área, ya que incluye al aluminio particulado y a elementos como: hierro, manganeso, calcio, cobre y vanadio, lo que también sugiere la representación de la litología del área.

Grupo 4. Este grupo representa a los sólidos disueltos, tales como las sales.

Tabla 58. Coeficientes de correlación de Pearson (r). Junio (Superficie-Fondo)

	Sal.	pH	TDS	T (C)	Cond.	DO	O ₂ mL/L	Cr agua	V agua	Cu agua	TOC	Al ms	Ca ms	Cu ms	Fe ms	Mn ms	Ni ms	V ms	Prof.	
Sal.	1.00		0.67		0.49	-0.62														
pH		1.00														0.38				
TDS			1.00		0.76	-0.49														
T (C)				1.00		0.42														
Cond.					1.00	-0.38			-0.37											
DO						1.00								0.47	0.48	0.58		0.50		
O ₂ mL/L							1.00						0.51		0.43	0.38		0.44		
Cr agua								1.00				0.38								
V agua									1.00											
Cu agua										1.00			0.41	0.41	0.43	0.42	0.41	0.43		
TOC											1.00									0.46
Al ms												1.00	0.55	0.41	0.69	0.63		0.67		
Ca ms													1.00	0.59	0.83	0.71	0.49	0.81		
Cu ms														1.00	0.76	0.78		0.78		
Fe ms															1.00	0.97		1.00		
Mn ms																1.00		0.98		
Ni ms																	1.00			
V ms																		1.00		
Prof.																			1.00	

Valores significativos para n= 30 $r > 0.361$ $\alpha = 95\%$

$r > 0.453$ $\alpha = 99\%$

Donde n es el número de muestras, r valor de correlación aceptada a un nivel de significancia α

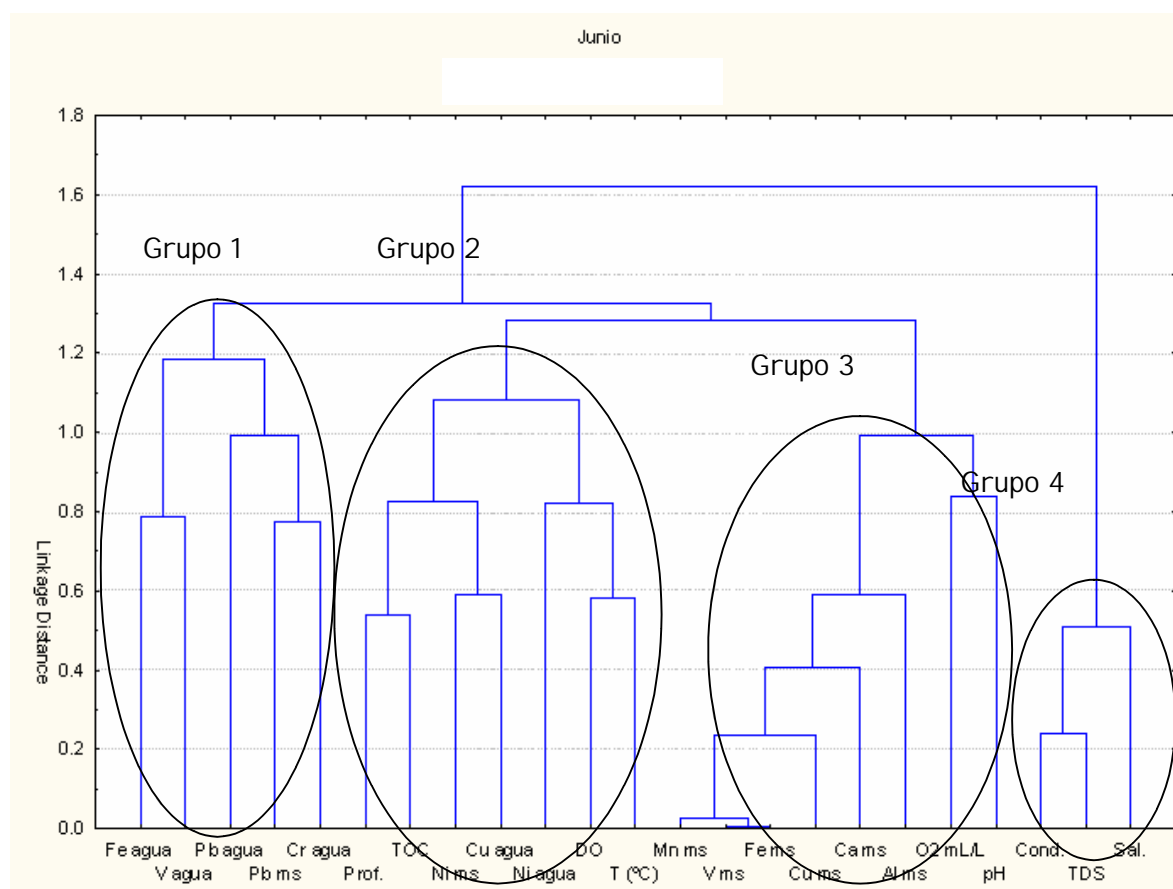


Figura 53. Dendrograma de las variables. Junio (Superficie-Fondo).

En el caso de las muestras superficiales, se puede ver que hay un comportamiento similar entre algunas estaciones, observándose 3 grupos (Figura 54a):

Grupo 1. Incluye a las estaciones que se ubican en Playa Norte, lo que podría sugerir que son influidas por la dinámica de Bahía Vergara.

Grupo 2. Muestra a las estaciones que se ubican más al norte del área de estudio, sugiriendo mayor influencia del mar abierto o del río la Antigua, siendo afectadas por las corrientes que se presentan de norte a sur.

Grupo 3. Incluye a las estaciones ubicadas al este del área de estudio y son las más cercanas a la entrada del puerto, por lo que podrían tener mayor impacto de las actividades portuarias; exceptuando por la estación N13 que es la más cercana al área,

donde se encuentra la planta de tratamientos. Por ello es el área más afectada por las actividades continentales.

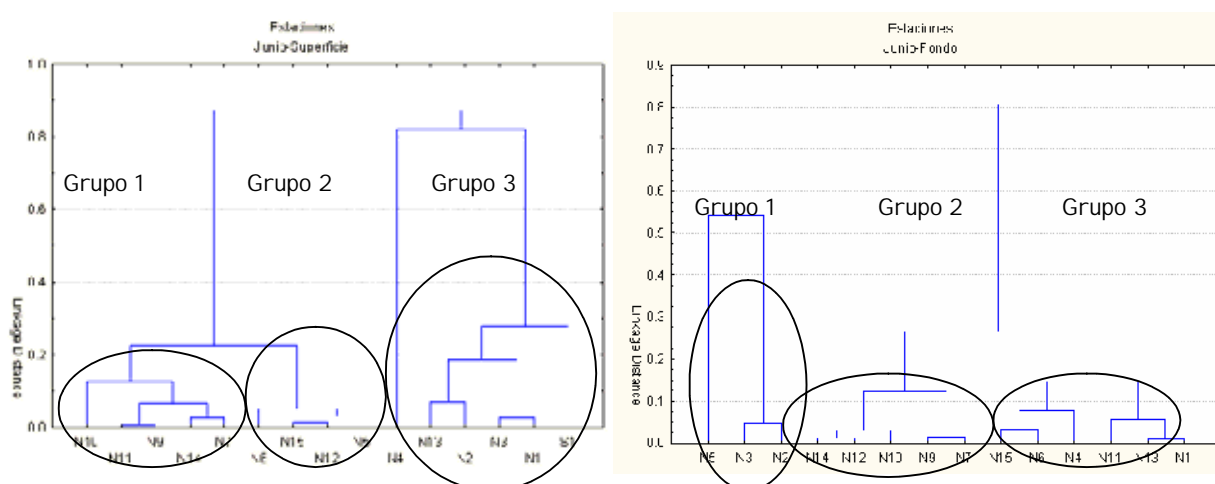


Figura 54. Dendrograma de las variables. Febrero.

En las muestras del fondo se pueden observar 3 grupos (Figura 54b):

Grupo 1. Representa la influencia del puerto debido a la ubicación de las estaciones, todas ellas se encuentran al sureste del área de estudio siendo las más cercanas a la entrada del Puerto, sugiriendo mayor impacto de las actividades portuarias.

Grupo 2. Incluye a las estaciones que se ubicaron más al norte del área de estudio; sugiriendo la influencia del mar abierto. Sin embargo, parte de estas estaciones se ubicaron cerca de los arrecifes donde probablemente no fueron afectadas por la dinámica de la zona.

Grupo 3. Representa a las estaciones que pueden recibir mayor impacto continental, ya sea por las actividades o por descargas que realice la planta de tratamientos, ubicándose cerca del continente.

En cuanto a las concentraciones de los metales en el material suspendido y en el agua de mar se pudo encontrar las siguientes variantes:

- En el caso del material suspendido se registraron niveles altos en comparación con otras áreas; excepto para hierro que se encontró dentro del rango (Tabla 59). Lo cual indicaría que el material suspendido es el que refleja la influencia de los metales en el área.

Tabla 59. Comparación de concentraciones de los metales particulados en el área con otros estudios (mg/Kg; *%)

	Material suspendido (mg/L)	Al*	Cu	Cr	Fe*	Mn	Ni	Pb
Otros estudios*	0.3-50	0.54-13.3	1-279	4.8-180	0.27-10.6	0.2-1930	3-86	4.7-255
En el presente estudio	0.2-21.3	0.75-84.11	0.14-858.33	5.11-443	0.32-8.50	57.89-2281	17.06-685.79	25.15-9309

* Ver antecedentes, tabla 3

- Por otro lado en los metales disueltos se encontraron niveles de concentración dentro del intervalo que se presentaron en otras zonas (Tabla 60), se encontraron por debajo de las concentraciones registradas en la laguna de Términos, México que reporta Vázquez et al. (1999).

Tabla 60. Comparación de concentraciones de los metales disueltos en el área con otros estudios ($\mu\text{g/L}$).

	Cu	Cr	Fe	Ni	Pb
Otros estudios*	0.023-560	0.07-0.616	1.36-1735	0.1-339	0.002-188
En el presente estudio	0.14-42.26	0.02-0.37	0.11-281.27	0.04-284.09	0.02-13.18

* Ver antecedentes, tabla 3

V. 3. SEDIMENTOS

V. 3. A. Granulometría.

En el caso de los sistemas coralinos del puerto de Veracruz se observó la predominancia de sedimentos de tipo arenoso y gris oscuro. El tamaño de partícula de los sedimentos es importante para los organismos, debido a que, dependiendo de su tamaño, podrán esconderse o protegerse; lo cual dependerá de la facilidad con que se puedan mover, por lo que la mayoría de los organismos

tienen afinidad por las partículas finas. Además, los metales traza serán más fácilmente adsorbidos por las partículas finas como son los limos y las arcillas.

Tabla 61. Granulometría de los sedimentos superficiales del área de estudio

	Febrero			Junio		
	Arenas	Limos	Arcillas	Arenas	Limos	Arcillas
Promedio	93.61	5.61	0.86	93.66	5.50	0.84
Desviación estándar	4.62	4.12	0.52	5.55	4.91	0.70
Valor máximo	97.75	15.60	1.71	98.13	14.69	2.42
Valor mínimo	82.99	1.94	0.31	83.75	1.57	0.30
Coefficiente de variación	4.93	73.35	61.02	5.93	89.26	83.13

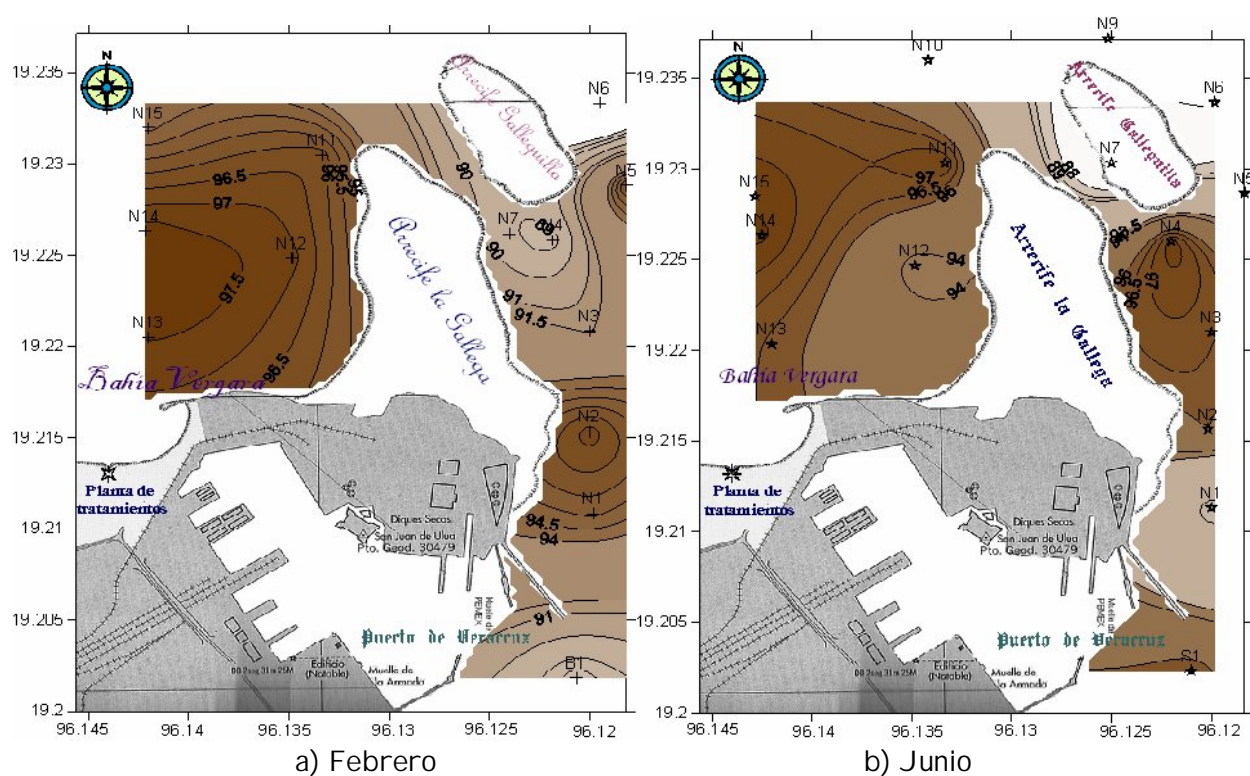


Figura 55. Mapas de distribución de arenas (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio

Como ya se mencionó, los sedimentos del área son predominantemente arenosos en ambas épocas, siendo los valores promedio de arenas, limos y arcillas similares entre épocas. Sin embargo los coeficientes fueron más altos en junio (Tabla 61), donde se observó un valor máximo de arcillas posiblemente asociado a las descargas que se presentan en la época de lluvias. No obstante, no hay una diferencia significativa entre una época y otra.

Los valores más altos de arenas se presentaron en Playa Norte y en las cercanías del puerto (Figura 55). Las partículas finas (limos y arcillas) se encontraron en las inmediaciones de los arrecifes, sobre todo al norte de los mismos (Figura 56 y 57).

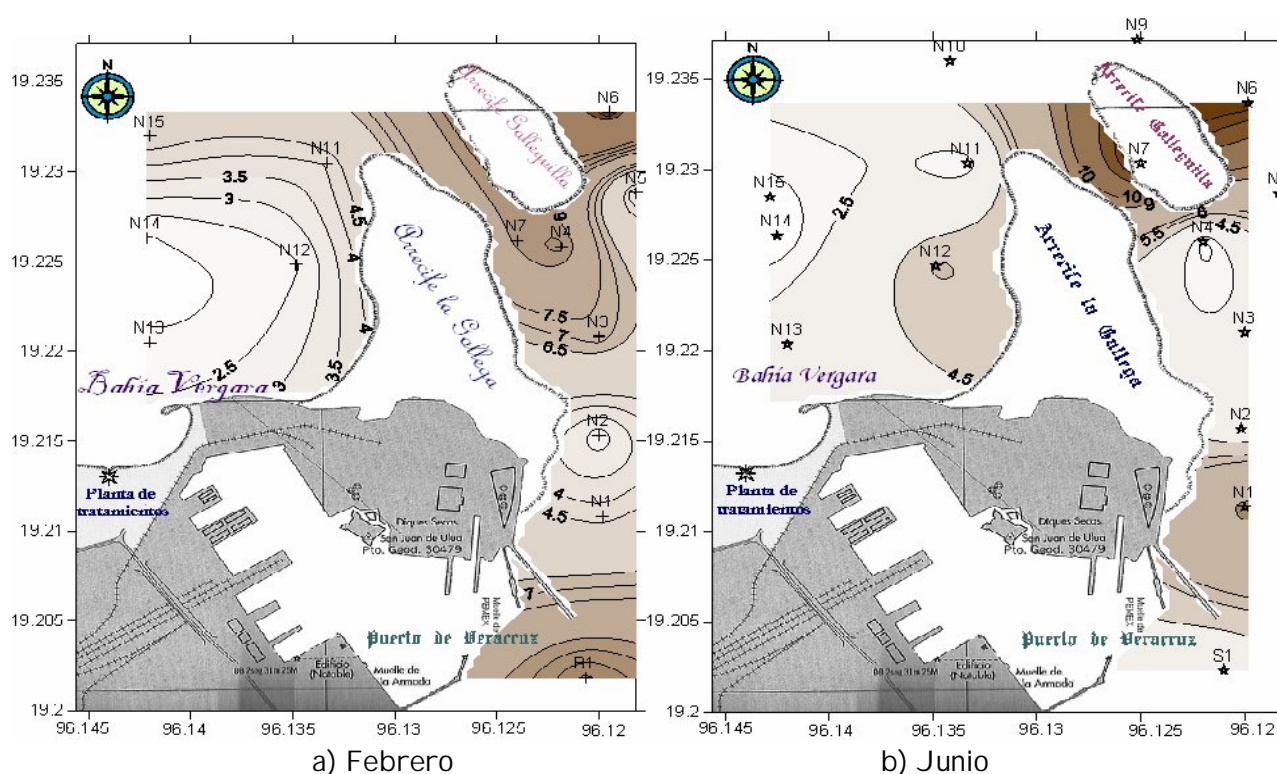


Figura 56. Mapas de distribución de limos (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio

Observando los patrones de distribución, se pudo apreciar que las partículas más finas (limos y arcillas) tienen una distribución similar (Figura 56 y 57), ésta se presentó de oeste a este concentrándose alrededor de los arrecifes, también se distribuyen al sur del área de estudio donde se ubica la boca del puerto.

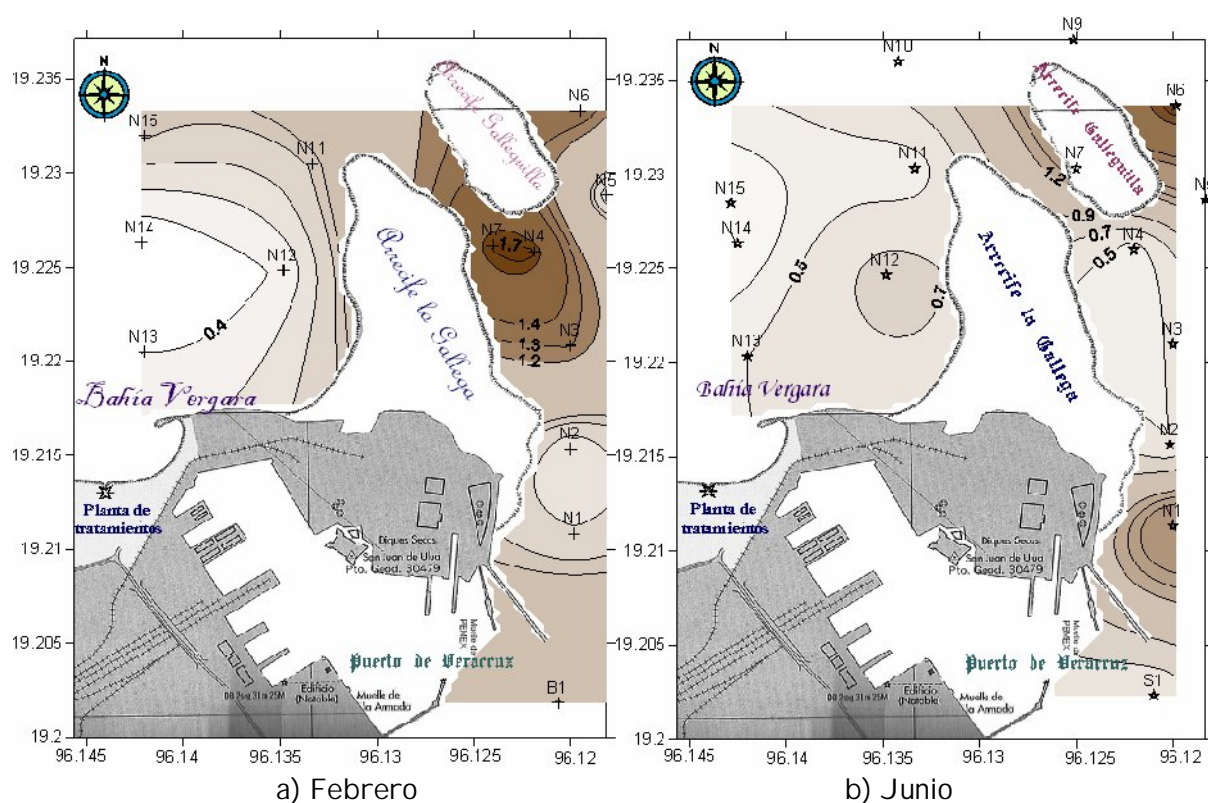


Figura 57. Mapas de distribución de arcillas (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio

V.3.B. Carbonatos

El dióxido de carbono y carbonatos desempeñan un papel importante en el metabolismo de los seres vivos. El calcio forma parte de las estructuras duras de los organismos, como por ejemplo en el área de estudio que es parte del sistema arrecifal veracruzano, donde los corales están constituidos de CaCO_3 .

Los iones carbonatos, bicarbonatos y otros aniones de ácidos débiles constituyen un sistema buffer que impide cambios bruscos en el pH del agua de mar. El dióxido de carbono se combina con el agua para formar ácido carbónico y bicarbonatos que por su inestabilidad se consideran dióxido de carbono libre. Mientras que cuando forma carbonatos, es llamado dióxido combinado. Con el empleo de un ácido fuerte, el dióxido de carbono combinado pasa al estado libre, y la cantidad de ácido requerido para ello da la medida de la alcalinidad (Sevilla y Guadarrama, 2005).

En febrero, se encontraron concentraciones que iban de 10.79 a 38.06 % de carbonatos y en junio, los valores van de 9.9 a 16.03 %, observándose más dispersos y en promedio ligeramente más altos los valores de febrero (Tabla 62). Los valores de carbonatos fueron más variables durante la época de nortes que en la época de lluvias (Tabla 62) y eso se pudo observar con el coeficiente de variación (CV).

Tabla 62. Resumen de resultados de la concentración de carbonatos en los sedimentos superficiales del área de estudio

%Carbonatos		
	Febrero*	Junio
Promedio	15.38	12.76
Desviación estándar	4.52	1.96
Máximo	25.72	16.03
Mínimo	10.79	9.90
Coefficiente de variación	29.40	15.36

* Los valores fueron determinados sin contar la estación N3 y N5.

Los carbonatos presentaron mayor concentración en la estación N3 (Figura 58), esta estación se ubicó cerca de los arrecifes, sugiriendo mayor concentración de carbonatos, se puede considerar como parte de la litología de la zona.

Los patrones de distribución de carbonatos mostraron diferentes tendencias en cada época; aunque fueron claros los puntos máximos de concentración en ambas épocas (Figura 58). En febrero (Figura 58a) se observó la acumulación de carbonatos al este del área y al norte. Por la forma en que se distribuyeron, parecería que la masa de agua es empujada del suroeste al noreste en la época de nortes. Por otro lado, se encontró otra acumulación al este del arrecife La Gallega, indicando que dependiendo de la época del año se tiene una dinámica diferente influida por la morfología del área.

En junio (Figura 58b) las concentraciones máximas de carbonatos se presentaron al oeste del área, un patrón similar a la época anterior; ya que los carbonatos parecerían ser empujados de oeste a este; sin embargo, se observó una tendencia de acumulación de los carbonatos entre los arrecifes y al sureste del área de estudio.

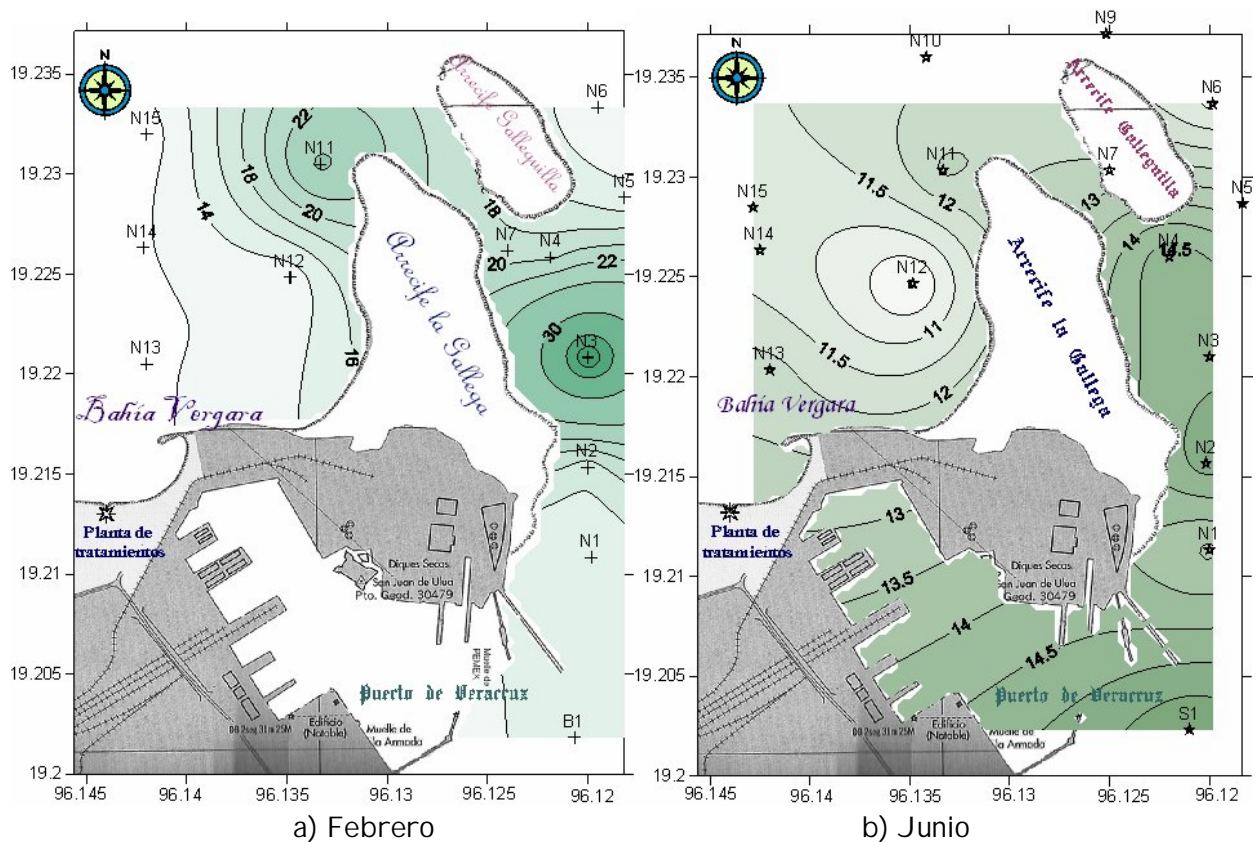


Figura 58. Mapas de distribución de carbonatos (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio

V.3.C. Carbono orgánico en los sedimentos

La materia orgánica, ya sea en la forma de partículas directas o asociadas con especies minerales es un absorbente extremadamente eficiente para muchos metales traza. Por lo que en aquellos sedimentos que tengan un contenido relativamente alto de materia orgánica, se puede afectar significativamente su geoquímica. Es posible que la materia orgánica absorba a los elementos traza cuando descienda por la columna de agua, y estos elementos sean liberados a los sedimentos superficiales y así estar disponibles para la incorporación hacia el sedimento por otros mecanismos (Riley, et al., 1989). En el presente estudio se determinó carbono orgánico.

Tabla 63. Resumen de resultados de la concentración de carbono orgánico en los sedimentos superficiales del área de estudio

% Carbono orgánico

	Febrero	Junio
Promedio	0.50	0.30
Desviación estándar	0.15	0.23
Valor máximo	0.75	0.90
Valor mínimo	0.21	0.13
Coefficiente de variación	29.25	75.53

En febrero se obtuvieron valores de carbono orgánico ligeramente más altos con respecto a junio (Tabla 63), pudiéndose explicar con la resuspensión de los sedimentos debido a los vientos, por ser un área somera; sin embargo, no se encontró una diferencia significativa. En febrero se obtuvieron valores que van de 0.21 % a 0.75 % de carbón orgánico y en junio fueron de 0.13 % a 0.90 % de carbono orgánico (Tabla 63); encontrándose una mayor variación en las muestras de junio, correspondiente a la época de lluvias. De acuerdo con ello, es factible que haya aportes de las descargas influyendo la elevada precipitación de la temporada sobre todo en las cercanías del puerto, donde conforme a la distancia respecto al puerto van disminuyendo las concentraciones.

Durante febrero, las concentraciones más elevadas se distribuyeron cerca del puerto (B1, N1, N2, N3, N4) (Figura 59a). Durante Junio se observaron concentraciones más bajas, sin embargo la estación B1 muestra un máximo de concentración, pudiendo ser que las descargas del puerto influyan (Figura 59b).

Los mapas de distribución de carbono orgánico presentaron un comportamiento diferente, de una época a otra, se puede notar que la distribución está influida por los vientos y a su vez por la presencia de los arrecifes, ya que éstos sirven como barrera (Figura 59). En febrero se pudo observar que el carbono orgánico se concentró en la brecha que hay en entre los arrecifes (Figura 59a) y en junio se presentó el mismo patrón (Figura 59b), aunque con mayor homogeneidad; exceptuando por el puerto. Aparentemente hay una influencia de descargas en la boca del puerto.

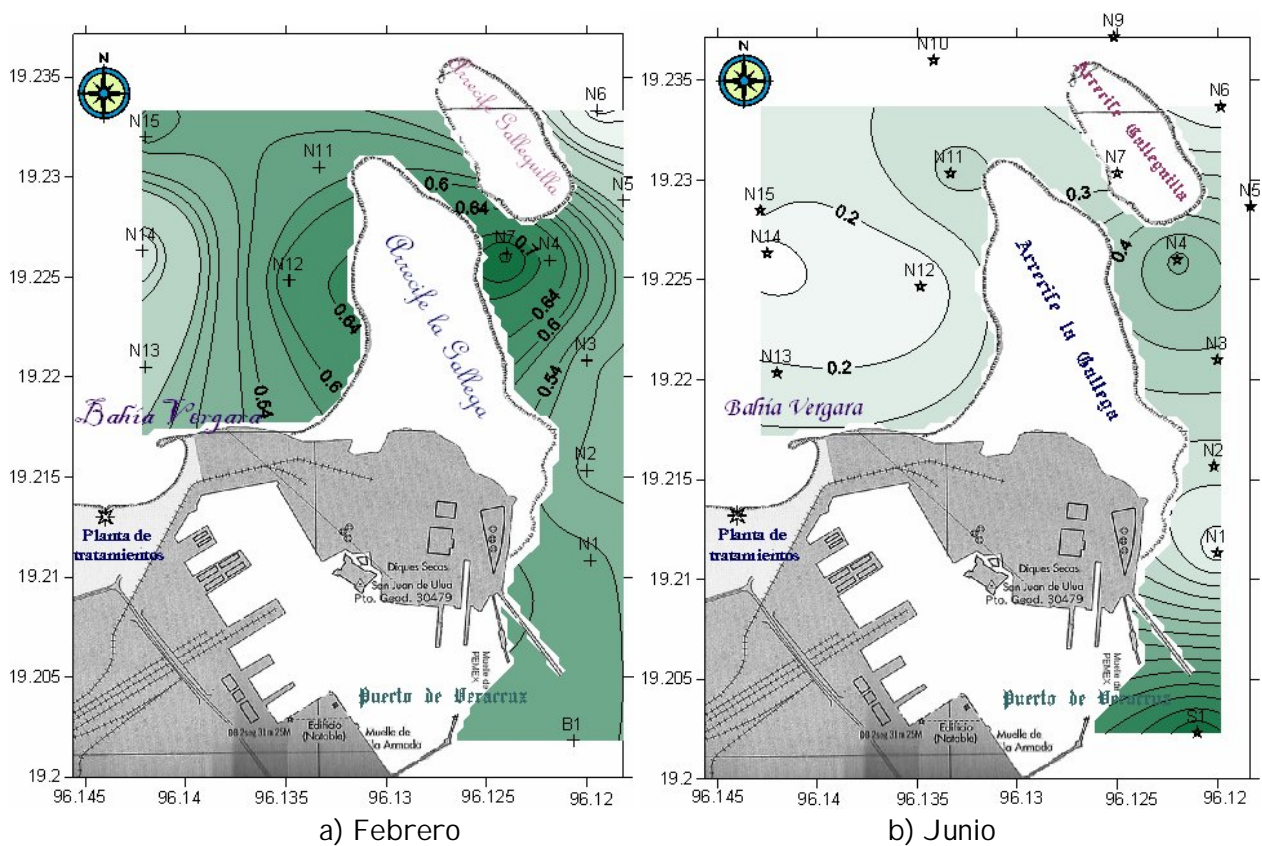


Figura 59. Mapas de distribución de carbono orgánico (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio

V.3.D. Elementos mayoritarios y "traza"

Los sedimentos están constituidos por diversos componentes lo que refleja el origen de los mismos. El origen terrígeno de ellos, se caracteriza principalmente por la presencia de fragmentos de rocas ígneas, las cuales están constituidas por diferentes proporciones de silicio, aluminio, hierro, sodio, potasio, calcio y metales traza como el cromo. El origen biogénico se refleja principalmente en su contenido de calcio, carbonatos, silicatos y carbono orgánico.

V.3.D.1. Elementos mayoritarios

Durante las dos épocas se encontró que los sedimentos tienen una composición similar y están constituidos principalmente por sílice (SiO_2) (Figura 60). La única diferencia significativa que se observó en los sedimentos de una época a otra es el contenido de calcio (CaO) (Figura 60), el cual es más elevado durante el mes de febrero (Tabla 64). Esto podría estar asociado a los fuertes vientos presentes en el área en esa época que rompen las estructuras coralinas e introducen mayor cantidad de detritos carbonatados al medio.

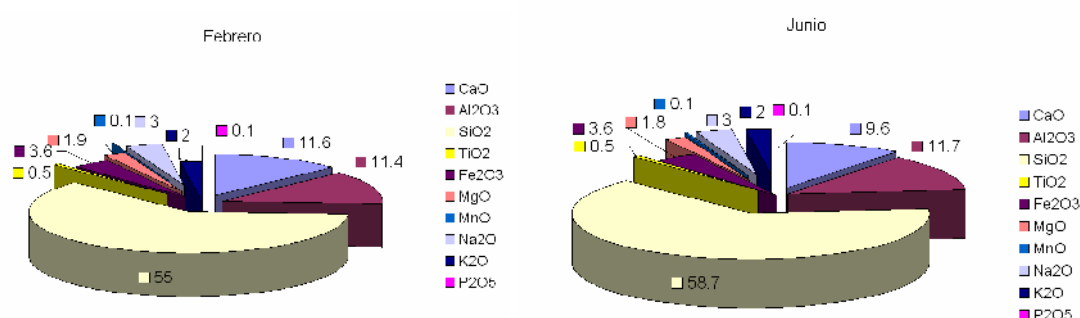


Figura 60. Concentración de elementos mayoritarios (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio

Tabla 64. Resumen de resultados. Elementos mayoritarios (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio

	Febrero									
	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
PROMEDIO	11.58	11.39	54.94	0.51	3.60	1.88	0.07	3.04	2.04	0.13
D.E.	3.88	1.28	6.47	0.17	0.91	0.35	0.01	0.33	0.26	0.03
MAX	22.62	13.27	63.79	0.95	5.75	2.68	0.09	3.36	2.63	0.19
MIN	8.70	8.53	40.69	0.27	2.18	1.41	0.05	2.13	1.52	0.08
CV	33.53	11.26	11.77	33.13	25.31	18.44	16.11	11.02	12.92	21.12
	Junio									
	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
PROMEDIO	9.61	11.65	58.73	0.52	3.62	1.83	0.06	2.96	2.04	0.13
D.E.	1.06	1.18	4.07	0.13	0.74	0.30	0.01	0.25	0.16	0.02
MAX	11.37	13.60	64.06	0.85	5.27	2.42	0.09	3.37	2.29	0.18
MIN	8.61	10.11	51.16	0.33	2.55	1.41	0.05	2.62	1.77	0.10
CV	11.02	10.16	6.93	25.73	20.33	16.17	20.86	8.33	8.03	15.90

En el mes de febrero se observó una mayor variación en comparación con Junio, para la mayoría de los elementos. En ambas épocas, el óxido de silicio (58.7%) predominó en la composición del sedimento seguido del óxido de aluminio (11.7%) y del óxido de calcio (9.6%). El óxido de hierro III se presentó en una proporción de 3.6% (Tabla 64). En este mes la estación

N3 presentó el máximo de cantidad de CaO (Tabla 62), en contraste con el resto de los elementos mayores que fueron más bajos por lo que es muy probable que el carbonato de calcio diluya las concentraciones de los mismos. Además, la estación N11 (Tabla 65), presentó concentraciones altas. La ubicación de esta estación sugiere que existe un arrastre de materiales coralinos en la época, por los vientos que se presentan de norte a sur. En cuanto a la estación N7 que se ubicó encima de los arrecifes no presentó el máximo de CaO como se esperaría, más bien casi hay la misma cantidad de Al_2O_3 ; probablemente este afectando la posición y la profundidad de la estación, ya que la estación se ubicó en la brecha que se forma entre los arrecifes y siendo una especie de trampa para algunos metales; además de no ser una estación muy profunda lo que haría que se homogenizara el sedimento del área.

Tabla 65. Concentración de elementos mayoritarios (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio recolectados en febrero

ESTACION	CaO	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	Fe_2O_3	MgO	MnO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
N1	10.08	11.89	56.71	0.55	3.78	1.89	0.06	3.05	1.96	0.14
N2	10.16	10.73	60.10	0.37	2.84	1.55	0.06	3.04	2.12	0.11
N3	22.62	8.53	40.69	0.36	2.77	1.79	0.06	2.13	1.52	0.12
N4	12.93	12.19	49.89	0.59	4.16	2.21	0.07	3.16	1.85	0.16
N5	10.39	12.12	54.66	0.52	4.04	1.95	0.08	3.28	2.19	0.14
N6	9.48	13.27	54.55	0.95	5.75	2.68	0.09	3.36	1.73	0.19
N7	12.66	12.15	50.06	0.53	3.83	1.91	0.06	3.05	2.02	0.15
N11	15.68	9.86	48.85	0.27	2.18	1.41	0.06	3.30	2.63	0.08
N12	9.04	11.75	61.17	0.46	3.31	1.77	0.06	3.00	2.08	0.13
N13	8.78	11.10	62.78	0.41	3.03	1.53	0.05	2.90	2.21	0.12
N14	8.70	10.48	63.79	0.47	3.15	1.65	0.06	2.66	1.97	0.12
N15	9.09	12.87	56.77	0.66	4.54	2.27	0.09	3.24	2.08	0.16
S1	10.91	11.17	54.17	0.47	3.47	1.81	0.06	3.29	2.15	0.15

Durante el mes de junio, también, la estación N7 presentó un comportamiento similar a febrero y fue mucho más baja la concentración (Tabla 66). En esta época predomina el Al_2O_3 sobre el CaO, y las estaciones que presentaron mayor concentración de CaO se ubicaron cerca del puerto, sugiriendo un arrastre del material coralino en el área.

Tabla 66. Concentración de elementos mayoritarios (%) en los sedimentos superficiales del área de estudio recolectados junio.

ESTACION	CaO	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	Fe_2O_3	MgO	MnO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
----------	-----	-----------	---------	---------	-----------	-----	-----	---------	--------	----------

N1	10.31	10.99	59.60	0.48	3.43	1.86	0.06	2.89	1.92	0.13
N2	10.81	10.11	59.84	0.33	2.55	1.41	0.05	2.98	2.17	0.10
N4	11.37	13.02	51.16	0.63	4.41	2.24	0.07	3.07	1.84	0.16
N6	9.13	13.60	54.78	0.85	5.27	2.42	0.09	3.32	1.77	0.18
N7	9.16	12.29	58.54	0.46	3.38	1.69	0.06	3.09	2.26	0.13
N11	8.61	13.01	57.78	0.53	3.87	1.85	0.08	3.37	2.29	0.14
N12	8.93	11.38	62.01	0.47	3.42	1.76	0.05	2.78	2.08	0.14
N13	8.65	10.48	63.80	0.40	2.86	1.47	0.05	2.63	2.09	0.11
N14	8.72	10.32	64.06	0.48	3.26	1.71	0.06	2.62	1.96	0.12
N15	8.95	11.63	60.48	0.54	3.78	1.95	0.06	2.92	1.98	0.14
S1	11.05	11.37	54.02	0.51	3.62	1.75	0.06	2.85	2.08	0.14

De acuerdo a los resultados, existen 3 grupos de muestras con características diferentes:

- 1) Con contenido alto de aluminio (Al_2O_3), sugiriendo la asociación a descargas terrígenas. En ambas épocas, se presentaron en las estaciones N6, N5 y N4 (Tabla 65; Tabla 66).
- 2) Con contenido elevado de silicio (SiO_2), que presentaron en ambas épocas en las estaciones N12, N13, N14 (Tabla 65) y en junio se incluye N15 (Tabla 66), su ubicación sugiere un comportamiento asociado a las descargas de la planta de tratamientos ubicada en Bahía Vergara.
- 3) Con contenidos más altos de carbonatos donde las descargas de los detritos arrecifales es mayor. Las muestras que cumplen con estas características son en febrero N3 y N11 (Tabla 65) y en junio N4 y S1 (Tabla 66), cabe hacer notar que en junio no se contó con la muestra N3 la que probablemente hubiera tenido altos contenidos de carbonatos.

SiO_2

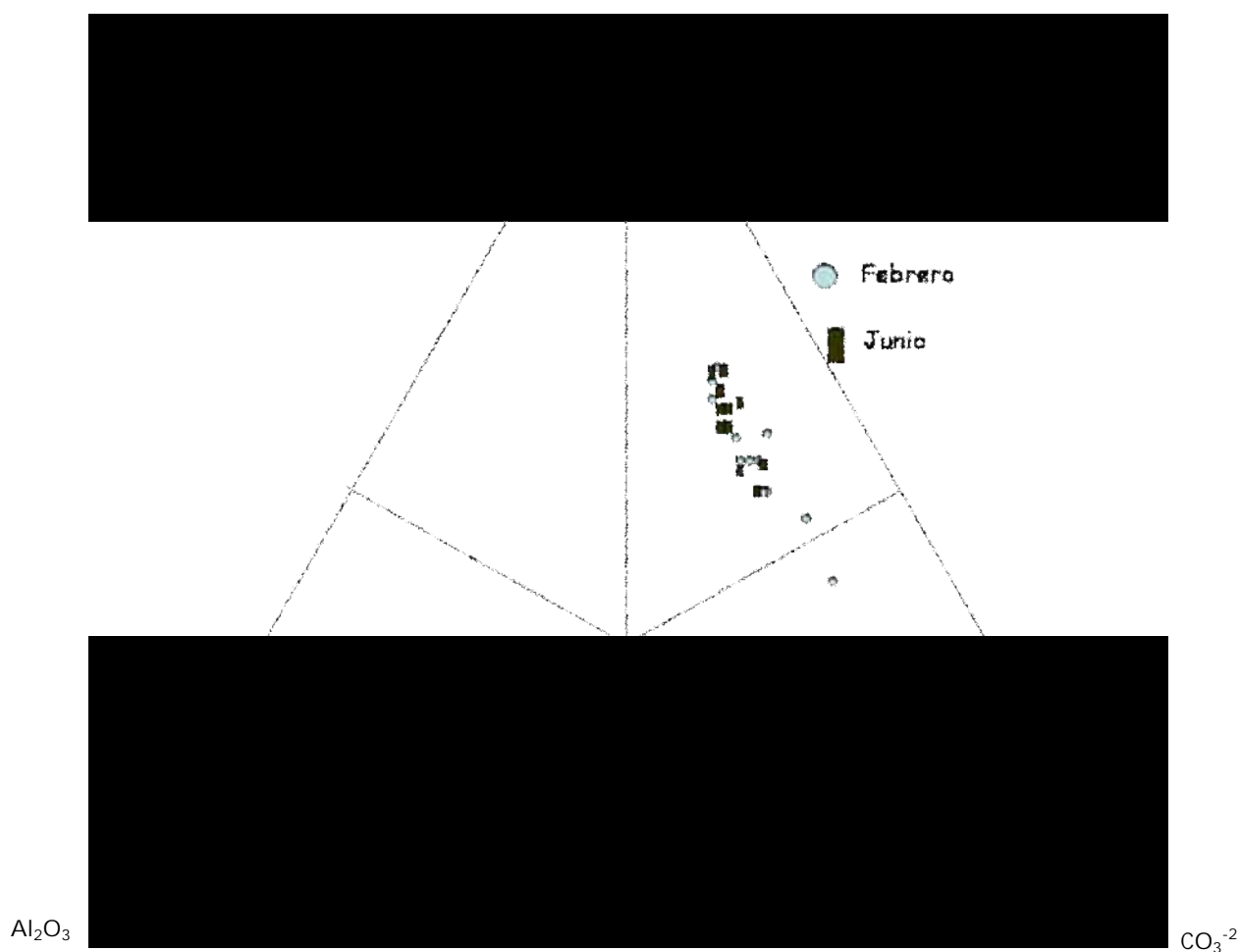


Figura 61. Tipos de sedimento, en los sedimentos superficiales del área de estudio

Como se observó (Figura 61), en la mayoría de los sedimentos predominó el contenido de sílice. En junio, prevaleció el SiO_2 , encontrándose valores mayores y en febrero se observaron algunas muestras en las que casi llegan a tener las mismas concentraciones de SiO_2 y carbonatos (Figura 61).

V.3.D.2. Elementos "traza" en sedimentos superficiales

En los elementos traza se observó cómo sus concentraciones son más elevadas durante febrero, esto es para cobre, plomo, níquel, zinc y vanadio, y sólo se observó un aumento, durante junio, del cromo (Tabla 67). Además, hubo mayor variación durante febrero (Tabla 67) para níquel, vanadio

y cromo, probablemente se deba a los vientos característicos de la época y la poca uniformidad del área. Sin embargo, cabe hacer hincapié en que no son significativamente diferentes entre una época y otra.

Tabla 67. Resumen de resultados. Concentración de metales "traza" (ppm) en los sedimentos superficiales del área de estudio

	Febrero					
	Cu	Pb	Ni	Zn	V	Cr
Promedio	15.32	20.14	14.32	81.32	67.25	49.24
Desviación estándar	1.76	8.20	7.78	9.00	31.80	24.26
Valor máximo	18.87	32.08	33.00	99.32	148.99	118.20
Valor mínimo	12.99	6.73	4.00	68.71	22.99	19.99
Coefficiente de variación	11.48	40.70	54.31	11.07	47.29	49.28
	Junio					
Promedio	12.43	15.13	12.43	66.15	62.50	54.40
Desviación estándar	4.30	6.06	4.43	12.32	19.11	16.31
Valor máximo	23.98	30.90	22.44	93.92	102.55	91.76
Valor mínimo	8.98	8.55	5.99	53.89	41.50	28.44
Coefficiente de variación	34.60	40.04	35.64	18.63	30.58	29.98

Los patrones de distribución de cobre, cromo, níquel y vanadio fueron similares en el mes de febrero (Figuras 62a, 63a, 64a y 65a), donde mostraron una acumulación del metal en la estación N6 y N15. Básicamente, se observaron que los metales se encontraron distribuidos al norte del área; también, se distribuyó al este del área encontrándose los máximos en la estación N1 la cual se ubicó cerca del puerto. Sólo en el caso del níquel se observó un aumento de la concentración en la estación que se ubicó en la boca del área. La concentración de los elementos "traza" en la estación N6, podría estar asociada a la dirección de la corriente que iba de norte a sur y ligeramente de este a oeste, concentrándose en esta estación debido a la presencia del Arrecife Galleguilla.

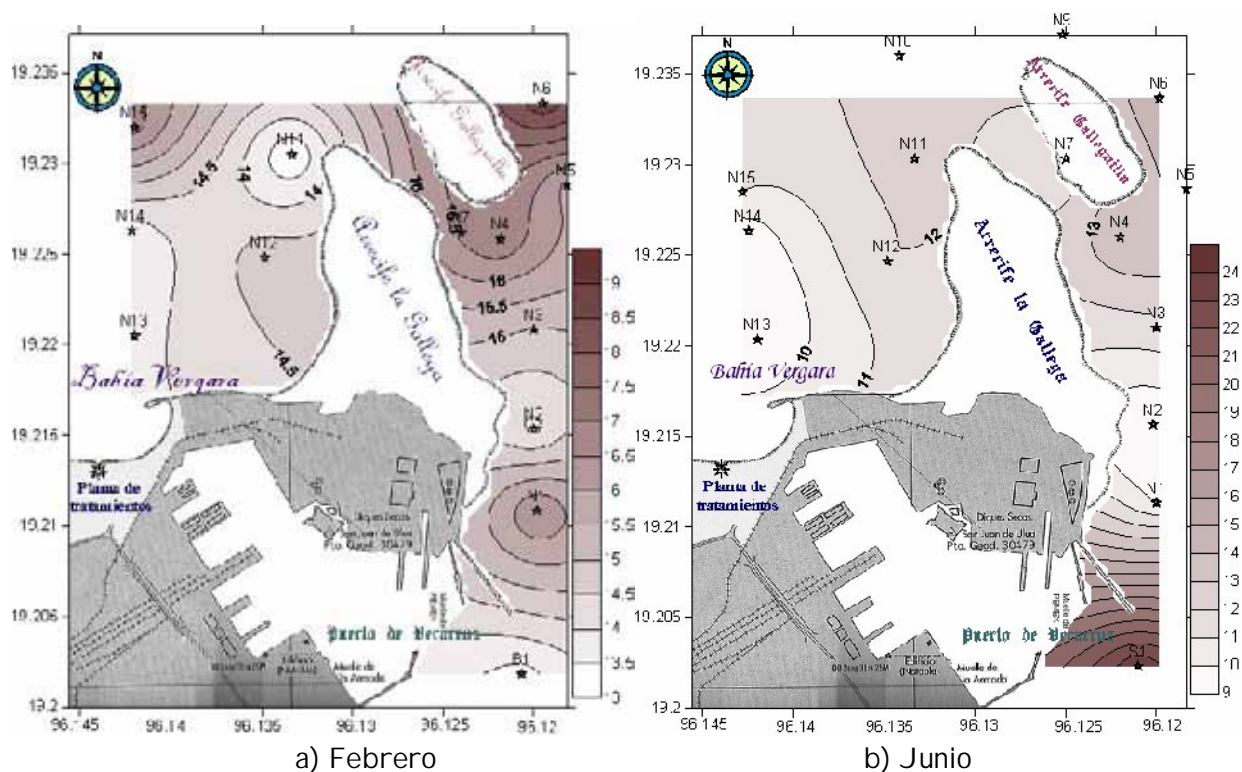


Figura 62. Distribución de cobre (ppm) en sedimentos superficiales del área de estudio

Específicamente para el cobre, en el mes de junio, se pudo observar que el metal se distribuyó alrededor del continente (Figura 62b), aumentando de la zona que probablemente es la más impactada, hacia al mar abierto. El valor máximo del metal se observó en la boca del puerto, situándose la distribución de los metales al este del área de estudio (Figura 62b), sugiriendo que las descargas del puerto pudieron influir en su comportamiento. Además, el cobre se distribuyó alrededor de los arrecifes (Figura 62b); sugiriendo que funcionan de barrera al metal y por ello se acumule en el área.

En el caso del cromo, en ambas épocas éste se distribuyó homogéneamente alrededor del continente (Figura 63b), aumentando gradualmente desde el continente hacia el mar abierto y donde se ubicaron las estaciones cercanas al puerto; sugiriendo que las actividades de la zona y las descargas influyen en su distribución (Figura 63). Además, se encontraron concentraciones elevadas al norte del área, indicando la probable influencia del río la Antigua, ubicado al norte,

explicando el comportamiento del resto de los metales en el mes de febrero, que también se ubicaron sus máximos al norte del área (Figura 63a).

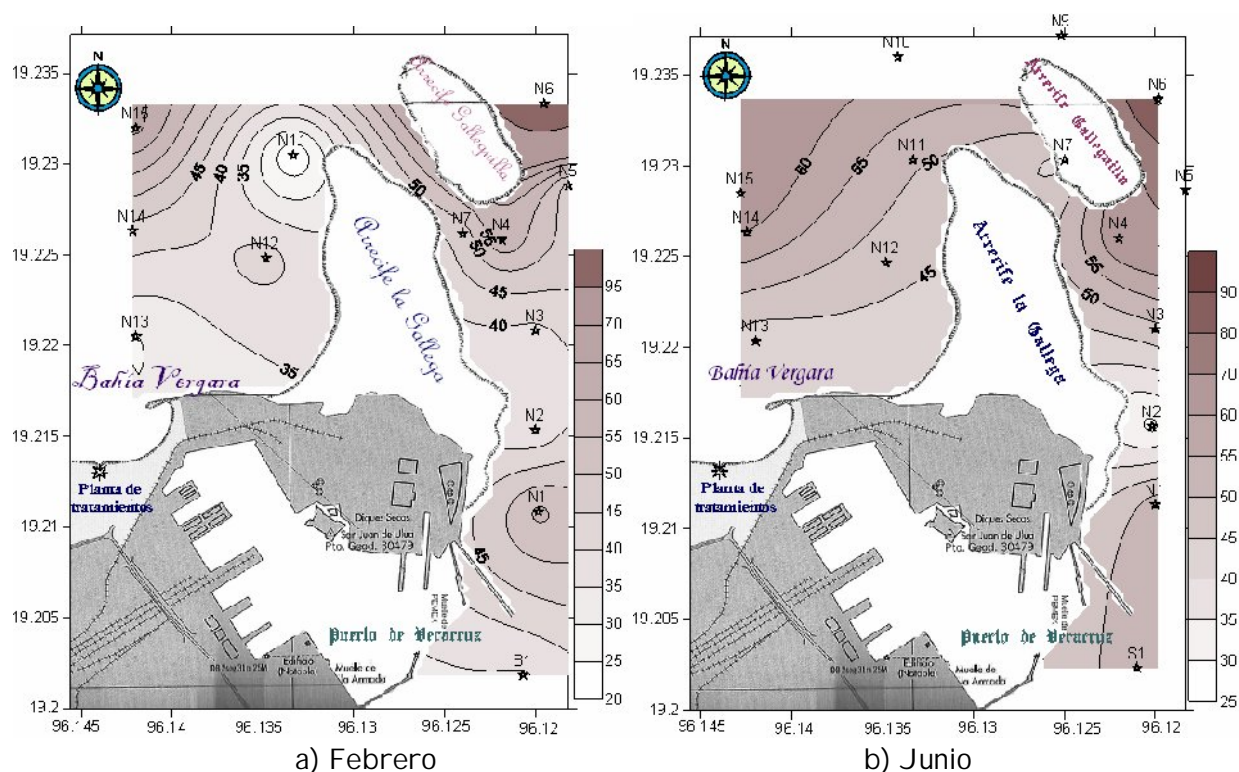


Figura 63. Distribución de cromo (ppm) en sedimentos superficiales del área de estudio

El níquel presentó una distribución parecida al cromo en ambas épocas, ésta fue homogénea, los niveles altos del metal se ubican al norte del área de estudio (Figura 64), en ambas distribuciones se encontró una acumulación en la estación N6 (Figura 64), es probable que se deba a la dinámica y morfología del área se acumule en ese sitio.

Los patrones de distribución del vanadio, en el mes de junio, mostraron una distribución más clara al este del área (Figura 65b), sugiriendo la influencia de las actividades del puerto, sobre todo en junio. Además, se observaron concentraciones bajas a lo largo Bahía Vergara (Figura 65b), insinuando la influencia de las descargas provenientes de la zona, diluyendo al metal.

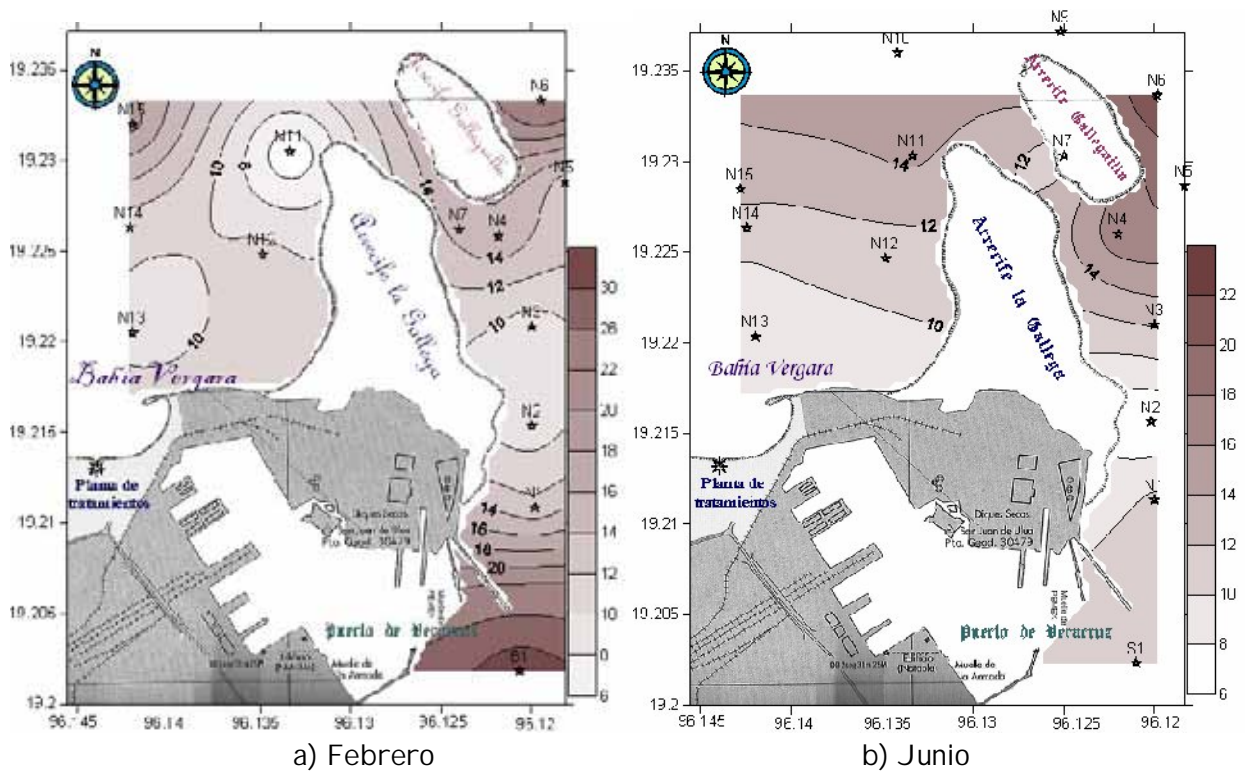


Figura 64. Distribución de níquel (ppm) en sedimentos superficiales del área de estudio

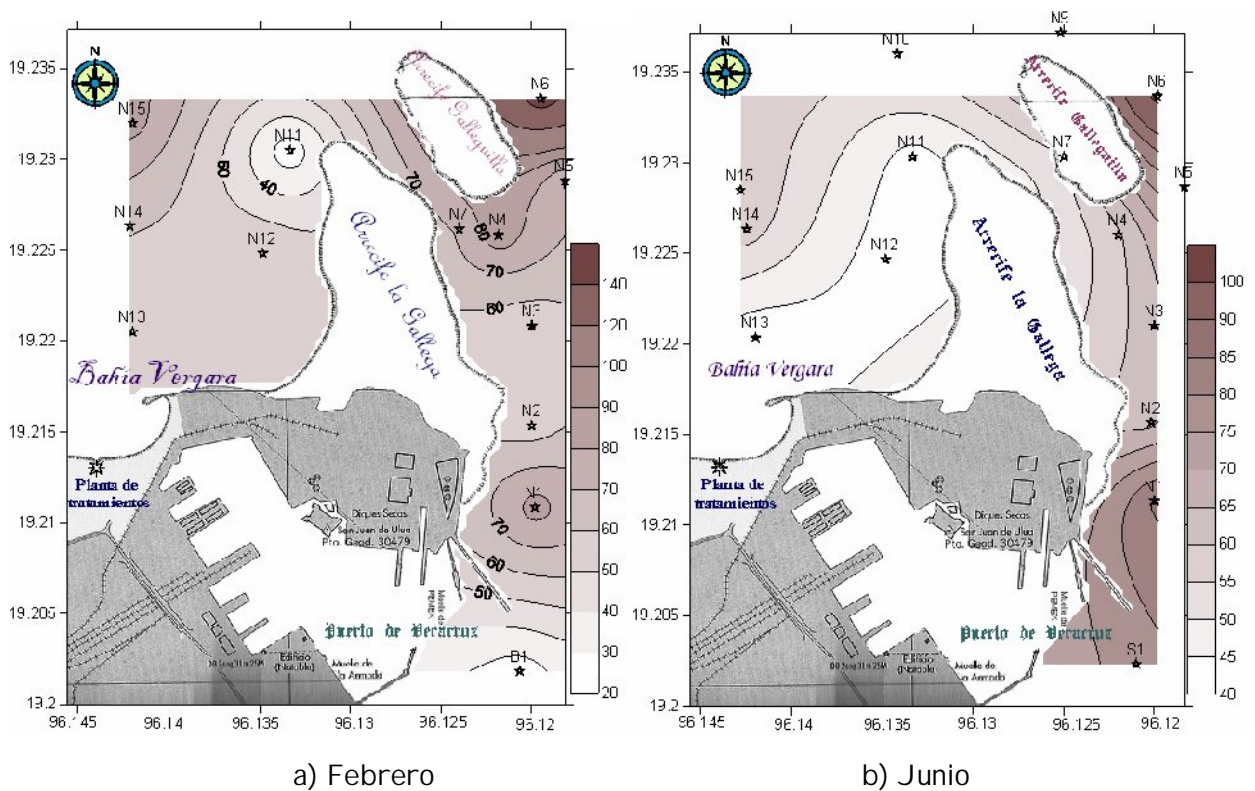


Figura 65. Distribución de vanadio (ppm) en sedimentos superficiales del área de estudio

En el caso del zinc, durante febrero, las concentraciones más elevadas se ubicaron al norte como en los otros metales y se pudo observar como se distribuyó alrededor del arrecife la Galleguilla (Figura 66a), sugiriendo que la morfología de la zona influye en la acumulación del metal. En junio, se observó la influencia del puerto y de Bahía Vergara (Figura 66b), este tipo de distribución también se observó en el plomo (Figura 67b).

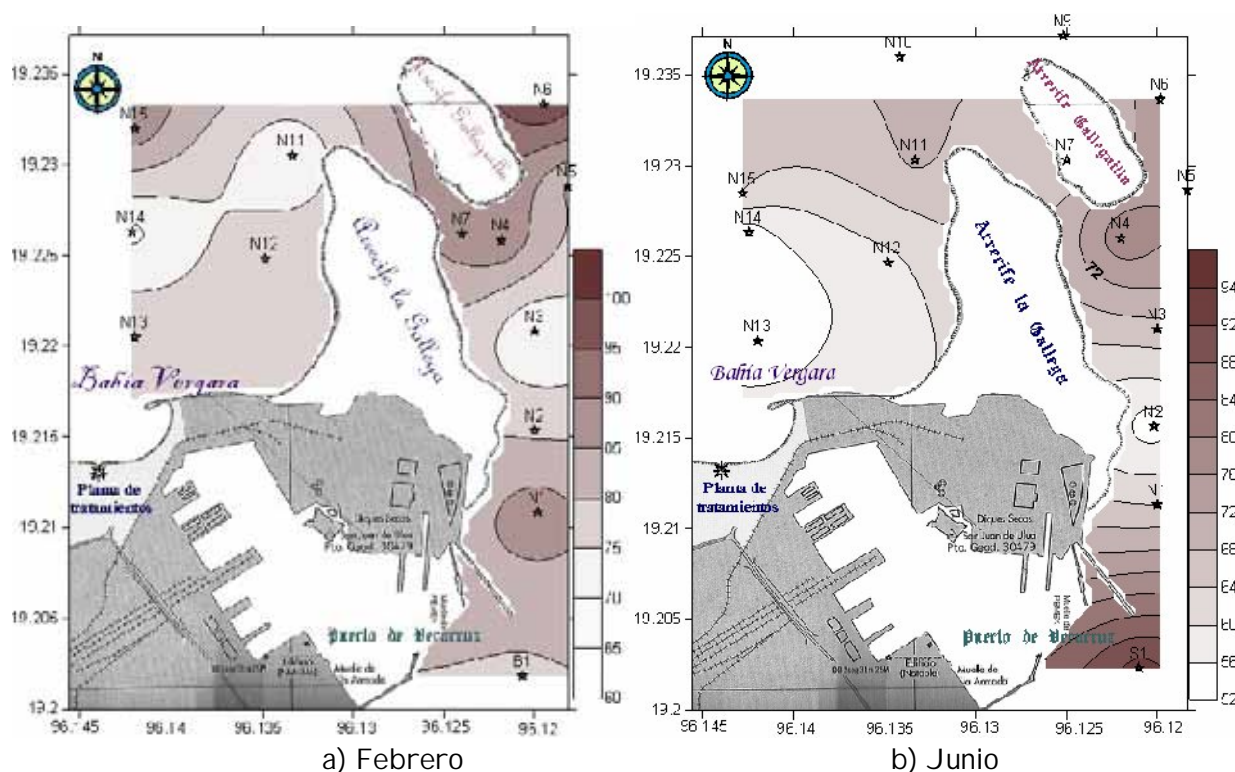


Figura 66. Distribución de zinc (ppm) en sedimentos superficiales del área de estudio

Durante febrero, se presentaron concentraciones elevadas de plomo en las estaciones N11 y N15, estas estaciones se ubicaron en Bahía Vergara (Figura 67a). Las concentraciones más bajas se presentaron al este del área de estudio en la estación que se ubicó entre los arrecifes (N7) y en el puerto (S1). En junio, se presentó una distribución parecida a la de zinc acumulándose en el área influenciada por el puerto (Figura 67b).

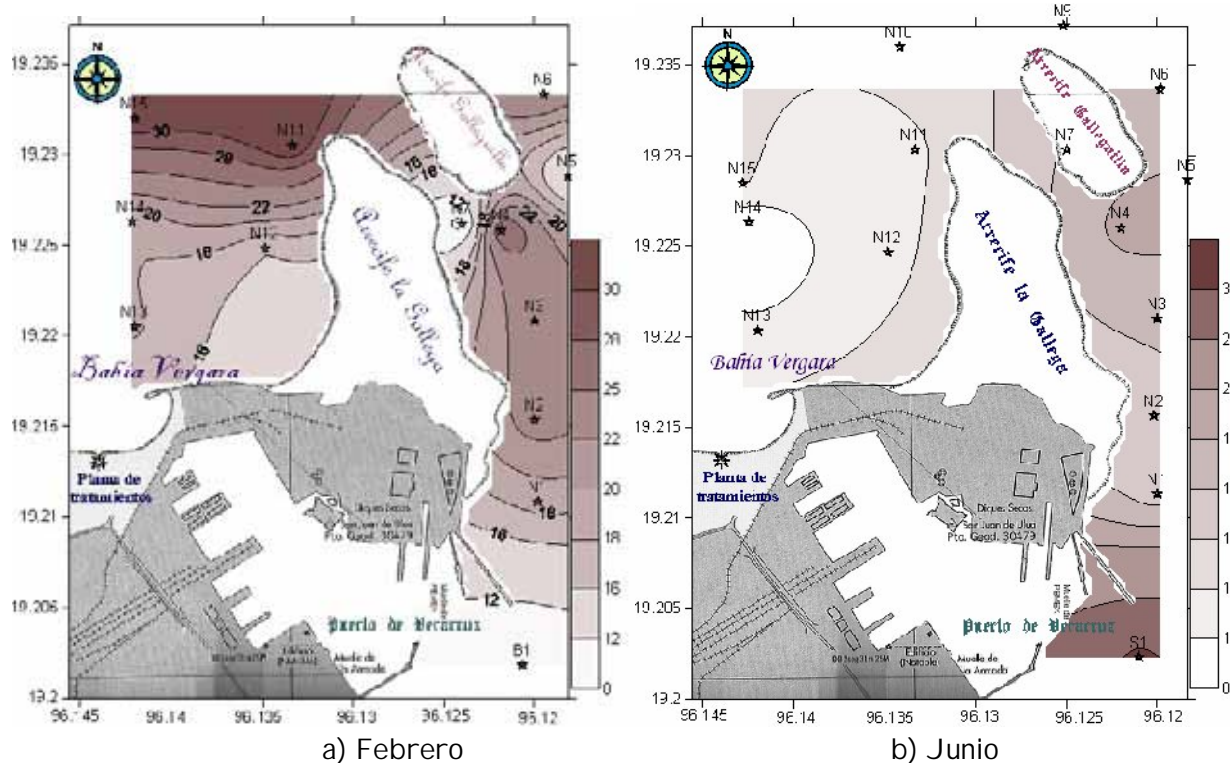


Figura 67. Distribución de plomo en sedimentos superficiales del área de estudio

V.3.D.3. Relación entre variables (Correlación de Pearson)

En diversos estudios hechos en algunas regiones costeras o estuarinas afectadas por las actividades antrópicas, es difícil determinar cuál es la proporción del metal en el sedimento de origen natural y cuál antrópica, esto es porque las cantidades son muy variables dependiendo de la naturaleza del sedimento, del área, de la distribución y del tamaño de partícula. Para fines de este estudio se utilizó una correlación de Pearson.

En febrero se observó que los elementos, titanio, hierro y magnesio presentaron afinidad por los limos; a su vez estos elementos presentaron una fuerte relación con el fósforo, aluminio, manganeso y sodio, por lo que se dedujo que tienen un origen terrígeno. El calcio está representando a la fracción biogénica de la zona, viéndose relacionado con los carbonatos (0.99), los cuales presentan una relación inversa con el silicio y el aluminio. También se infiere que el cobre, hierro, zinc, vanadio y cromo son de origen terrígeno y son parte de la litología. El plomo

se asoció a carbono orgánico, a carbonatos, a cobre, a zinc, a calcio e inversamente al silicio, pudiendo ser de origen antropogénico o litogénico (Tabla 69).

Tabla 68. Tabla de correlación (r). Febrero.

	Zn	V	Cr	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Arenas	Limos	Arcillas
C-Org.																
CO ₃				0.99	-0.74	-0.86					-0.58					
Cu	0.87	0.93	0.89		0.73		0.87	0.89	0.91	0.77		-0.55	0.84	-0.61	0.59	
Pb																
Ni							0.63	0.65	0.62				0.76	-0.73	0.73	
Zn	1.00	0.82	0.81		0.87		0.86	0.88	0.83	0.65	0.55		0.87	-0.63	0.62	
V		1.00	0.96		0.70		0.92	0.89	0.88	0.75		-0.56	0.79			
Cr			1.00		0.70		0.97	0.94	0.94	0.84			0.85	-0.66	0.67	
Ca				1.00	-0.69	-0.90					-0.57					
Al					1.00		0.81	0.86	0.73	0.68	0.72		0.81			
Si						1.00										-0.71
Ti							1.00	0.98	0.95	0.85			0.92	-0.66	0.66	
Fe								1.00	0.96	0.87			0.95	-0.65	0.65	
Mg									1.00	0.90			0.93	-0.73	0.73	
Mn										1.00			0.76			
Na											1.00					
K												1.00				
P													1.00	-0.72	0.71	
Arenas														1.00	-1.00	-0.88
Limos															1.00	0.86
Arcillas																1.00

Valores significativos para $n = 13$ $r > 0.553$ $\alpha = 95\%$

$r > 0.684$ $\alpha = 99\%$

Donde n es el número de muestras, r valor de correlación aceptada a un nivel de significancia α

En el caso de junio, las partículas finas se relacionaron con el vanadio, parecería que en este caso los elementos "trazas" y mayoritarios no presentaron afinidad alguna por ellas (Tabla 70), el vanadio puede ser de origen antropogénico. Sin embargo, el aluminio presentó una alta asociación con los elementos mayoritarios, como el titanio, el hierro, magnesio, manganeso y sodio (Tabla 70), tal parecería que representan a la parte terrígena de la zona; estos a su vez se relacionaron con el níquel y cromo. Un caso particular fue la relación que hay entre la materia orgánica y los

carbonatos (Tabla 70); además, de su relación con el plomo, por lo que en esos casos, aparte de inferir un origen biogénico, tal vez tenga otra fuente, afectando en su comportamiento. Es necesario considerar que este mes se caracteriza por fuertes precipitaciones y vientos, pudiendo causar un comportamiento distinto. Además, tal vez el plomo se acumule en las zonas arrecifales al igual que la materia orgánica, por el área poco uniforme, provocando la alteración del sistema; ya que el calcio se asoció a los carbonatos y éste último es el principal componente de los arrecifes de coral.

Tabla 69. Tabla de correlación (r). Junio.

	C-Org	CO ₃	Cu	Pb	Ni	Zn	Cr	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Limos	Arcilla		
C-Org	1.00	0.77	0.86	0.89		0.84		0.66		-0.66											
CO ₃		1.00		0.70				0.86													
Cu			1.00	0.90		0.94				-0.68											
Pb				1.00		0.89		0.71		-0.74											
Ni					1.00		0.91		0.89	-0.64	0.98	0.99	0.96	0.95	0.64		0.95				
Zn						1.00				-0.86							0.68				
V																-0.64				0.72	
Cr							1.00		0.66		0.96	0.92	0.92	0.85		-0.77	0.86				
Ca								1.00													
Al									1.00	-0.71	0.81	0.88	0.82	0.89	0.84		0.88				
Si										1.00		-0.67	-0.66		-0.64		-0.73				
Ti											1.00	0.99	0.96	0.93		-0.68	0.94				
Fe												1.00	0.97	0.94	0.63	-0.61	0.98				
Mg													1.00	0.88		-0.71	0.96				
Mn														1.00	0.78		0.88				
Na															1.00		0.61				
K																1.00					
P																		1.00			
Arenas																				-1.00	-0.94
Limos																				1.00	0.92
Arcillas																					1.00

Valores significativos para $n = 11$ $r > 0.602$ $\alpha = 95\%$ $r > 0.735$ $\alpha = 99\%$ Donde n es el número de muestras, r valor de correlación aceptada a un nivel de significancia α

V.3.D.4. Factor de enriquecimiento

Para determinar el factor de enriquecimiento (EF), se tomó en cuenta a la estación que presentó concentraciones bajas en todas las épocas y que se ubicó en la zona, considerando que la estación presenta características similares al área de estudio.

Para fines de ésta investigación se utilizaron las concentraciones de metales de sedimento recolectados en las inmediaciones de la Isla de Sacrificios (Celis, 2006), en la estación que se ubicó 19.186° latitud norte y 96.106° longitud oeste, con una profundidad de 12.64 metros está frente a la Ciudad de Veracruz y el Arrecife Pájaros, al sureste del Puerto y noroeste del Arrecife Sacrificios (Figura 69), presentando las siguientes concentraciones de metales (ppm): cobre 6.46; plomo 9.74; níquel 27.34; zinc 34.81; vanadio 39.76 y cromo 28.82. El metal usado como referencia fue el aluminio. Éste se determinó de acuerdo con el tamaño de partícula (partículas finas), con el fin de eliminar las interferencias.



Figura 68. Mapa de ubicación de la estación de referencia.

Los criterios de enriquecimiento son variados ya que depende de la zona por ejemplo: Cobelo y Prego (2004) consideraron 3 grupos: A) $EF \leq 2$ nula o baja contaminación; B) $EF = 2-3$ contaminación moderada y C) $EF = 3-6$ severa contaminación. Hyun et al. (2007) consideraron que $EF = 0.5-1.5$ pueden indicar que provienen de fuentes naturales y un $EF \geq 1.5$ proviene de fuentes no naturales como por ejemplo contaminación antropogénica.

Tabla 70. Factores de enriquecimiento. Febrero.

Estación	Cobre	Plomo	Níquel	Zinc	Vanadio	Cromo
N1	2.35	1.83	0.31	1.48	1.19	0.92
N2	2.18	2.49	0.24	1.48	0.85	0.65
N3	2.96	3.16	0.30	1.64	1.04	0.89
N4	2.35	2.69	0.38	1.48	1.19	0.96
N5	2.21	1.13	0.30	1.31	0.96	0.76
N6	2.40	2.19	0.56	1.50	1.88	1.74
N7	2.31	0.64	0.35	1.45	0.98	0.75
N11	2.22	3.77	0.12	1.43	0.39	0.40
N12	2.13	1.60	0.26	1.35	0.86	0.70
N13	2.12	1.91	0.23	1.44	0.79	0.52
N14	2.21	2.04	0.30	1.32	0.97	0.80
N15	2.19	2.85	0.42	1.38	1.10	1.01
S1	2.01	0.83	0.85	1.42	0.37	0.60

Durante febrero, se encontró que en el área la mayoría de los metales se hallaron enriquecidos, excepto para níquel. El elemento que se encontró más enriquecido fue el plomo en la estación N11 que fue una de las más alejadas de la costa en esta época (Tabla 71), que de acuerdo a las referencias bibliográficas antes mencionadas, se considera con severa contaminación o/y que proviene de fuentes no naturales. Probablemente, como ya se había mencionado, el plomo está influenciado por el río la Antigua ubicado al norte del área o por el transporte atmosférico; además, los valores de las estaciones N2, N3 y N4 (Tabla 71), sugieren que el área se enriquece por las actividades del puerto. En este mes se puede observar que cromo y vanadio tienen un comportamiento similar; ya que se encontraron enriquecidos en la estación N6 (Tabla 71), esta estación es la que se ubicó más al este donde pudo ser afectada directamente por las corrientes. En el caso del plomo, zinc y cobre se encontraron más enriquecidos en la estación N3, ubicada al este del área y al igual que la N6 es de las más profundas (Tabla 71).

El níquel fue el único elemento que no se vio enriquecido (Tabla 72), tanto en el mes de junio como en febrero; tal vez se deba a que el níquel es parte de la litología; considerándose factible, ya que se encontró estrechamente asociado a los elementos mayoritarios tales como: el óxido de titanio, el óxido de hierro y el óxido de magnesio, sugiriendo que se encuentra en los minerales.

Tabla 71. Factores de enriquecimiento. Junio.

Estación	Cobre	Plomo	Níquel	Zinc	Vanadio	Cromo
N1	1.17	1.16	0.29	1.39	1.63	1.39
N2	1.14	1.24	0.18	1.27	1.32	0.81
N4	1.38	1.22	0.41	1.45	0.95	1.44
N6	1.41	1.06	0.50	1.30	1.58	1.95
N7	1.15	1.13	0.27	1.24	0.93	1.03
N11	1.23	0.76	0.34	1.26	0.69	1.13
N12	1.35	0.85	0.29	1.23	0.80	1.20
N13	1.10	0.84	0.26	1.23	0.83	1.16
N14	1.18	0.71	0.31	1.25	1.17	1.67
N15	1.22	0.90	0.34	1.31	1.06	1.61
S1	2.71	2.32	0.31	1.97	1.42	1.31

En junio se observó que plomo, cobre, zinc y vanadio están enriquecidos en la estación S1 (Tabla 72), la cual se ubicó en la entrada al puerto. En el caso de cromo y vanadio se encontró enriquecida la estación N6, en esta misma el níquel registró el factor de enriquecimiento más elevado.

En cuanto a las concentraciones de metales en sedimentos del área en comparación con otras regiones (Tabla 72), se pudo observar que las concentraciones de los metales presentados se encontraron dentro del rango (72).

Tabla 72. Comparación de concentraciones de los metales en sedimentos superficiales en el área con otros estudios.

	Al	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Otros estudios*	0.19- 17.84	0.3- 2097	0.09- 2880	8.98- 1150	0.98- 1330	0.29- 3083	0.8-7234
En el presente estudio	4.6- 7.0	8.98- 23.98	1.5-4.0	347- 697	4-33	6.73- 32.08	53.89- 99.32

* Ver antecedentes, tabla 2.

VI. CONCLUSIONES

VI. CONCLUSIONES

El impacto de las descargas continentales en el área inmediata a los arrecifes la Gallega y Galleguilla del sistema arrecifal veracruzano (SAV), fue mayor durante el mes de febrero. Las descargas del puerto y de Bahía Vergara, la presencia de los arrecifes así como las actividades portuarias influyen en el comportamiento de los elementos "traza" y en su acumulación en el área, reflejándose el mayor impacto en las estaciones S1, N1, N2, N3, N6 y N13.

Durante febrero, en el agua de mar se presentaron concentraciones elevadas de materia orgánica disuelta; así como altos niveles de cobre, cromo, níquel, hierro, vanadio y plomo. En el mismo mes se presentaron concentraciones elevadas de aluminio y cobre asociados al material suspendido. Por otro lado, en junio se tuvieron cantidades más elevadas de material suspendido y de metales particulados como: calcio, hierro, manganeso, cromo, níquel, plomo y vanadio.

Los metales disueltos y particulados en la columna de agua se pudieron agrupar de acuerdo a su asociación, con ayuda de un análisis de correlación y de cluster, de la siguiente forma:

- En febrero: (a) autigénico, se presentó la asociación entre hierro y manganeso sugiriendo la formación de oxihidróxidos y estos a su vez se asocian el plomo y el vanadio particulados, este grupo también se presentó en ambas épocas; (b) terrígeno, incluye la asociación de aluminio, níquel, plomo, cobre y cromo disueltos; (c) influencia marina, donde se asociaron vanadio y hierro disueltos, así como manganeso, hierro, níquel, cobre, plomo y calcio particulados. En el área superficial se encontró que el vanadio disuelto, cobre disuelto y material suspendido reflejan a las actividades antropogénicas, encontrándose una relación inversa con la salinidad.
- En junio: (a) antropogénico, en este grupo se asociaron plomo, vanadio, cromo y hierro disueltos y plomo particulado; (b) terrígeno o litogénico, se asociaron aluminio, hierro, manganeso, cobre, vanadio y calcio particulados; (c) representación de la dinámica de la columna de agua, se incluye a la profundidad, al carbono orgánico total y al níquel y (d) a la litología del área.

Los sedimentos, durante febrero, tuvieron mayor cantidad de partículas finas (arcillas y limos) y concentraciones elevadas de carbonatos, carbono orgánico, calcio, magnesio, manganeso, sodio, cobre, plomo, níquel, zinc, vanadio. En tanto en junio se presentaron concentraciones más elevadas en aluminio, silicio, titanio, hierro, cromo.

De acuerdo a la composición química de los sedimentos, se pudieron agrupar mediante un análisis de correlación y de cluster, en los siguientes orígenes: a) biogénico, debido al alto contenido de CaCO_3 , ésta es la composición principal de los arrecifes de coral; b) terrígeno o litogénico, sedimentos con un alto contenido de aluminio; c) antrópico, con alto contenido de plomo y vanadio, además de que en esta fracción se ubican los enriquecidos con cobre y el zinc; d) autigénico, predominan oxihidróxidos de hierro-manganeso, a éstos se asocian el cobre, zinc, vanadio y cromo.

Los sedimentos del área se encuentran enriquecidos en cobre, plomo y vanadio, con respecto al área adyacente en Isla Sacrificios; presentándose los factores de enriquecimiento más altos en cobre, plomo y zinc del área de estudio, en el mes de febrero. Sin embargo, el estrato que presentó elevados niveles de concentración de metales con respecto a otras áreas fue el material suspendido, lo que sugiere que esta fracción es la que está atrapando a los metales.

En el área de estudio, el mes de febrero presentó la salinidad más baja, aparentemente asociada al movimiento de las masas de agua o vientos; caracterizándose junio por una salinidad más elevada. El área se caracterizó por tener un suelo irregular, una temperatura de características tropicales y el sedimento fue predominantemente arenoso. Cabe mencionar que de acuerdo con un análisis de cluster existen 4 áreas características bien definidas: (a) área de influencia del puerto; (b) área arrecifal; (c) área de mayor influencia marina; (d) área de influencia de descargas urbanas.

VII. BIBLIOGRAFÍA

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Acosta L., E. A. 1976. Estudio de contaminación en el estuario del Río Pánuco, Tesis Licenciatura. Facultad de Química, UNAM, México, D. F. Pág. 1-24.
2. Akpan, E.; Ekpe, U.; Ibok, U. 2002. Heavy metal trends in the Calabar River, Nigeria. *Environmental Geology*. 42 (1): 47-51.
3. API. 2005. www.apiver.com; resumen estadístico.
4. Barak H.; Nurit K. 1997. Particulate Metals Contamination in the Kishon River Estuary, Israel. *Marine Pollution Bulletin*. 34(9): 706-711.
5. Bastidas, C.; García, E. 1999. Metal content of the reef coral *Porites asteroids*: an evaluation of river influence and 35 years chronology. *Marine Pollution Bulletin*. 38 (10): 899-907.
6. Batterham, Grant J.; Parry, David L. 1996. Improved dithiocarbamate/oxine solvent extraction method for the preconcentration of trace metals from seawater using metal exchange back-extraction. *Marine Chemistry*. 55: 381-388.
7. Beiras, R.; Bellas, J.; Fernández, N.; Lorenzo, J. I.; Cobelo-García A. 2003. Assessment of coastal marine pollution in Galicia (NW Iberian Peninsula); metal concentrations in seawater, sediments and mussels (*Mytilus galloprovincialis*) versus embryo-larval bioassays using *Paracentrotus lividus* and *Ciona intestinalis*. *Marine Environmental Research*. 56 (4): 531-553.
8. Bowie, Andrew R.; Whitworth, David J.; Achterberg, Eric P.; Mantoura, R. Fauzi C; Worsfold, Paul J. 2002. Biogeochemistry of Fe and other trace elements (Al, Co, Ni) in the upper Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research I*. 49: 605-636.
9. Carranza Edwards, Arturo. 2002. Opinión sobre el puerto alterno de Veracruz. www.tuobra.unam.mx/publicadas/020612140544.html
10. Celis H., Omar. 2006. estudio químico de sedimentos en el área inmediata al arrecife de la Isla Sacrificios, Veracruz. Tesis de licenciatura. Facultad de Química, UNAM. México, D.F.: Pág. 20-35.
11. CEM Corporation. Microwave digestion applications manual. USA.

12. Centro de previsión del golfo de México. 1987. 70 años de datos climáticos en Veracruz, Ver., México, 1917-1986. Centro de previsión del golfo México, D.F.
13. Cerón Alvarado, Juana. 2004. Evaluación de metales en material suspendido del área costera inmediata a la desembocadura del río Pánuco. Tesis Licenciatura (Químico de Alimentos)-UNAM, Facultad de Química.
14. Cheevaporn, Voravit; Menasveta, Piamsak. 2003. Water pollution and habitat degradation in the Gulf of Thailand. *Marine Pollution Bulletin*. 47 (1-6): 43-51.
15. Cifuentes Lemus, Jose Luis; Torres García, María del Pilar; Frías M., Marcela. El océano y sus recursos II. Las ciencias del mar: Oceanografía geológica y oceanografía química. Fondo de Cultura Económica. 3ª edición, México.
16. CNA. 2004. www.conagua.gob.mx; (liga acerca del agua).
17. Cobelo-García, Antonio; Prego, Ricardo. 2004. Influence of point sources on trace metal contamination and distribution in a semi enclosed industrial embayment: the Ferrol Ria (NW Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 60: 695-703.
18. Consejo de Recursos Minerales. 1994. Monografía geológico-minera del Estado de Veracruz. Subsecretaría de Minas e Industria Básica. México.
19. Cortes, J. 2003. Latin American coral reefs. Elsevier. Hungría. Pág. 131-155.
20. Cotté-Krief, Marie-Hélène; Guieu, Cécile; Thomas, Alain J.; Martin, Jean-Marie. 2000. Sources of Cd, Cu, Ni and Zn in Portuguese coastal waters. *Marine Chemistry*. 71: 199-214.
21. de Jong, V. N.; de Jong, D. J. December 2002. Global Change ' Impact Of Inter-Annual Variation In Water Discharge As A Driving Factor To Dredging And Spoil Disposal In The River Rhine System And Of Turbidity In The Wadden Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 55(6): 969-991.
22. de la Lanza Espino, Guadalupe. 2001. Características físico-químicas de los mares de México. UNAM, Instituto de Geografía. Editorial Plaza y Valdes. México, D.F.
23. Emeis, K.; Christiansen, C.; Edelvang, K.; Jähmlich, S.; Kozuch, J.; Laima, M.; Leipe; T. Löffler, A.; Lund-Hansen, L. C.; A. Miltner. July 2002. Material Transport from the Near Shore to the

- Basinal Environment in the Southern Baltic Sea: II: Synthesis Of Data On Origin And Properties Of Material. *Journal of Marine Systems*. 35 (3-4): 151-168.
24. Emery K. O. 1963. Estudios regionales de los arrecifes coralinos en Veracruz México. *Geofísica Internacional* 3(1):11-17.
25. Enciclopedia Océano de México, Volumen 1. 1999. Editorial Grupo Océano. Págs. 81-102.
26. Esslemont, G. 2000. Heavy metals in seawater, marine sediments and corals from the Townsville section, Great Barrier Reef Marine Park, Queensland. *Marine Chemistry* 71 (3-4): 215-231.
27. Fang, Tien-His; Hwang, Jiang-Shiou; Hsiao, Shih-Hui; Chen, Hung-Yu. 2006. Trace metals in seawater and copepods in the ocean outfall area off the northern Taiwan coast. *Marine Environmental Research*. 61 (2): 224-243.
28. Fong Lee, M. L. 1982. Geoquímica de algunos metales pesados en sedimentos de una laguna costera tropical: Chautengo, Gro., Méx. Tesis licenciatura. Facultad de Química, UNAM, D. F. Pág. 10-20.
29. Frache, R.; Manfrinetti, P.; Piccazo, M.; Tucci, S. 1986. Distribution and Transport of Particulate Fe and Cu in Suspended Matter of the Canyons of Genoa (Northwestern Mediterranean). *Marine pollution bulletin*. 17(3):123-127.
30. Gallegos, C. M. 2002. áreas naturales protegidas de México en el siglo XX. Instituto de Geografía. México, D. F. Pág. 70-105.
31. Gao, Xuelu; Song, Jinming. 2008. Dissolved oxygen and O₂ flux across the water air interface of the Changjiang Estuary in May 2003. *Journal of Marine systems*.*
32. Ghrefat, Habes; Yusuf, Nigem. 2006. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. *Chemosphere*. 65:2114-2121.
33. Glasby, P.; Szefer, P.; Geldon, J. Warzocha., J. 2004. Heavy-metal pollution of sediments from Szczecin Lagoon and the Gdansk Basin, Poland. *Science of the Total Environment*. 330 (1-3): 249-269.

-
34. Gordeev, V. V.; Rachold, V.; Vlasova, I. E. 2004. *Geochemical Behavior of Major and Trace Elements in Suspended Particulate Material of the Irtysh River, the Main Tributary of the Ob River, Siberia. Applied Geochemistry. 19: 593-610.*
35. Guebuem K.; Han-Soeb Y.; Kodama, Y. 1998. *Distributions of Transition Elements in the Surface Sediments of the Yellow Sea. Continental Shelf Research. 18:1531-1542.*
36. Harris, J. E. 1972. *Characterization of Suspended Matter in the Gulf of Mexico - I Spatial Distribution of Suspended Matter. Deep-Sea Research. 19: 719-726.*
37. Horowitz, Arthur J. 1991. *A primer on Sediment-trace element chemistry. Lewis Publishers. 2º edición, USA.*
38. Hwang, Hyun-Min; Green, Peter G.; Higashi, Richard M.; Young, Thomas M. 2006. *Tidal salt marsh sediment in California, USA. Part 2: Occurrence and anthropogenic input trace metals. Chemosphere. 64: 1899-1909.*
39. Hyun, Sangmin; Lee, Chang-Hoon; Lee, Taehee; Choi, Jin Woo. 2007. *Anthropogenic contributions to heavy metal distributions in the surface sediments of Masan Bay, Korea. Marine Pollution Bulletin. 54: 1031-1071.*
40. INEGI. 2005. *Sistema para la consulta del anuario estadístico del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Edición 2005. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática; Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Edición electrónica 2005, Aguascalientes, Ags.*
41. Jordán D., E. 1993. *El ecosistema arrecifal coralino Atlántico México. Diversidad biológica en México. Revista mexicana de historia natural. Pág. 157-175.*
42. Krupadam, R. J.; Sarin, R. Anjaneyulu. 2003. *Distribution of Trace Metals and Organic Matter in the Sediments of Godavari Estuary of Kakinada Bay, East Coast of India. Water, Air, & Soil Pollution. 150 (1-4): 299-318.*
43. Kwang Woo Lee; Hwa Seong Kang; Soo Hyung Lee. 1998. *Trace elements in the Korean coastal environment. The Science of the Total Environment. 214:11-19.*

-
44. Lacerda, L. D.; Gonçalves, G. O. 2001. Mercury Distribution and Speciation in Waters of the Coastal Lagoons of Río De Janeiro, SE Brazil. *Marine Chemistry* 76: 47-58.
45. Lafabrie, C.; Pergent, G.; Kantin, R.; Pergent-Martini, C.; Gonzalez, J.-L. 2007. Trace metals assessment in water, sediment, mussel and seagrass species - Validation of the use of *Posidonia oceanica* as a metal biomonitor. *Chemosphere*. 68: 2033-2039.
46. Lara, M.; Padilla, C.; García, C. A., Espejel; J. J. 1992. Coral reefs of Veracruz, México. Zonation and Community Structure. *Proc. Seventh Intern. Coral Reefs Symp. Guam*.
47. Lee, Mikyung; Bae, Wookeun; Chung, Jinwook; Jung, Hoi-Soo; Shim, Hojae. 2008. Seasonal and spatial characteristics of seawater and sediment at Youngil bay, Southeast Coast of Korea. *Marine Pollution Bulletin*. 57: 325-334.
48. Loring, D. H. 1991. Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. *Journal Marine Science*. 48: 101-115.
49. Loring, D. H.; Rantala, R. T. T. 1992. Manual for the Geochemical Analyses of Marine Sediments and Suspended Particulate Matter. *Earth-Science Reviews*, 32: 235-283.
50. Marmolejo-Rodríguez, Ana Judith; Prego, Ricardo; Meyer-Willerer, Alejandro; Shumilin, Evgeni; Cobelo-García, Antonio. 2007. Total and labile metals in surface sediments of the tropical river-estuary system of Marabasco (Pacific coast of Mexico): Influence of an iron mine. *Marine Pollution Bulletin*. 55: 459-468.
51. Martínez H., E. 1982. Distribución de metales pesados en sistemas acuáticos naturales. Tesis de licenciatura. Facultad de Química, UNAM. México, D.F: Pág. 6-31.
52. Matthai, Carsten; Birch, Gavin. 2001. Detection of Anthropogenic Cu, Pb and Zn in Continental Shelf Sediments off Sydney, Australia - a New Approach Using Normalization with Cobalt. *Marine Pollution Bulletin*. 42 (11): 1055-1063.
53. Merian, E. 1991. Metals and their compounds in the environment. VCH, USA, New York. Pág. 1101-1114.
54. Migon, Christophe; Ouillon, Sylvain; Mari, Xavier; Nicolas, Emmanuel. 2007. Geochemical and hydrodynamic constraints on the distribution of trace metal concentrations in the lagoon of Nouméa, New Caledonia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 74: 756-765.

-
55. Morales Villafuerte, M. 2000. Estudio químico de sedimentos de la plataforma continental de una porción del pacífico mexicano. Tesis licenciatura. Facultad de Química, UNAM, D. F. Pág. 6-15; 33-64.
56. Morillo, José; Usero, José; Gracia, Ignacio. 2004. Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain. *Chemosphere*. 55: 431-442.
57. Páez Osuna, Federico; Valdez-Lozano, David S.; Alexander, Héctor M.; Fernández-Pérez, Hugo. 1987. Trace Metals in the Fluvial System of Términos Lagoon, México. *Marine Pollution Bulletin*. 18 (6): 294-297.
58. Pekey, Hakan. 2006. The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream. *Marine Pollution Bulletin*. 52: 1197-1208.
59. Pohl, Christa; Löffler, Annekatrin; Schmidt, Martin; Seifert, Torsten. 2006. A trace metal (Pb, Cd, Zn, Cu) balance for surface waters in the eastern Gotland Basin, Baltic Sea. *Journal of Marine Systems*. 60: 381-395.
60. Prager, E. J. 2001. Los océanos. McGraw-Hill. México. Pág. 216-218.
61. Prego, R.; Cobelo- García, A. 2003. Twentieth century overview of heavy metals in the Galician Rias (NW Iberian Peninsula). *Environmental Pollution*. 121: 425-452.
62. Puertobuceo. www.puertobuceo.com/destinos.php
63. Riley, J. P.; Chester, R. 1989. introducción a la química marina. AGT editor. México. Pág. 281-298.
64. Rodier, Jean. 1990. Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar: química, fisicoquímica, bacteriología, biología. Editorial Omega. Barcelona. Pág. 900-940.
65. Rosales Hoz, Leticia. 1980. Manual de laboratorio de oceanografía química. UNAM, Centro de ciencias del mar y limnología, México.
66. Sadiq, M. 1992. Toxic Metal Chemistry in Marine Environments. Marcel Dekker. W.C. United States of American. Pág. 322-327.
67. Sandoval Fortanel, Alejandra. 2000. Análisis químico del sedimento marino de la plataforma continental adyacente a Punta Maldonado, México. Tesis Licenciatura (Químico de Alimentos)-UNAM, Facultad de Química.

-
68. Schuhmacher, Helmut. 1978. Arrecifes coralinos: Su extensión, mundo animal y ecología. Omega. Barcelona. Pág. 18-42.
69. Sella, Silvia M.; Neves, Alessandra F.; Costa Moreira, Josino; Silva-Filho, Emmanoel V. 2006. Biogenic vanadium in total suspended particulate matter from Cabo Frio upwelling region, Southeast, Brazil. *Atmospheric Environment* 40: 6181-6191.
70. Seng, Chye-Eng; Lim, Poh-Eng; Ang, Tian- Tse. 1987. Heavy Metal Concentrations in Coastal Seawater and Sediments off Prai Industrial Estate, Penang, Malaysia. *Marine Pollution Bulletin*. 18 (11): 611-612.
71. Sevilla H., María Luisa; Guadarrama, Rosario. 2005. Elementos de ecología marina. Instituto politécnico nacional. México. Pág. 77-181.
72. Sharma, Virender K.; Rhudy, Kurtis B.; Koenig, Robert; Vázquez, Felipe G. 1999. Metals in sediments of the Upper Laguna Madre. *Marine Pollution Bulletin*. 38 (12): 1221-1226.
73. Shepard, F. P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay rations. *Journal of Sedimentary Petrology*. 24: 151-158.
74. SHIMADZU Corporation. Instruction manual total organic carbon analyzer model TOC-5000A. Kyoto, Japón.
75. Shumilin E.; Paez-Osuna, F.; Green-Ruiz., C.; Sapozhnikov, D.; Rodríguez-Meza, G. D.; Godines-Orta, L. 2001. Arsenic, antimony, selenium and other trace elements in sediments of the Paz Lagoon, Peninsula of Baja California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*. 42 (3): 174-178.
76. Sirinawin, W.; Turner, D. R.; Westerlund, S.; Kanatharana, P. 1998. Trace metals study in the Outer Songkla Lake, Thale Sap Songkla, a southern Thai estuary. *Marine Chemistry*. 62: 175-183.
77. Skoog, Douglas A.; Holler, F. James; Nieman, Timothy A. 2001. principios de análisis instrumental. McGraw Hill. 5ª edición, España. Páginas 12-15.
78. Smith, C. N.; Stewart, T. H.; McDonald, Paul. 2003. Results from an intensive measurement programme for suspended particulate matter in a region of the Irish Sea between Anglesey and the Isle of Man. *Continental Shelf Research*. 23:1005-1018.

-
79. Soto-Jiménez, M. F.; Paéz-Osuna F. 2001. Distribution and Normalization of Heavy Metal Concentrations in Mangrove and Lagoonal Sediments from Mazatlán Harbor (SE Gulf of California). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 53: 259-274.
80. Sprovieri, Mario; Feo, Maria Luisa; Prevedello, Lidia; Salvagio Manta, Daniela; Sammartino, Simone; Tamburrino, Stella; Marsella, Ennio. 2007. Heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in surface sediments of the Naples harbour (southern Italy). *Chemosphere*. 67: 998-1009.
81. Surfer. 1999. *Surfer User's Guide*.
82. Szefer, P.; Kim, B. S.; Kim, C. K. ; Kim, E. H. ; Lee, C. B. 2004. Distribution and coassociations of trace elements in soft tissue and byssus of *Mytilus galloprovincialis* relative to the surrounding seawater and suspended matter of the southern part of the Korean Peninsula. *Environmental Pollution*. 129: 209-228.
83. Teasdale, P. R.; Apte, S. C.; Ford, P. W.; Batley, G. E.; Koehnken, L. 2003. Geochemical cycling and speciation of copper in waters and sediments of Macquarie Harbour, Western Tasmania. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 57 (3): 475-487.
84. Tuncel, Semra G.; Tugrul, Suleyman; Topal, Tansel. 2007. A case study on trace metals in surface sediments and dissolved inorganic nutrients in surface water of Ölüdeniz Lagoon-Mediterranean, Turkey. *Water Research*. 41: 365-372.
85. Turner, A.; Millward, G. E. 2002. Suspended particles: their role in estuarine biogeochemical cycles. *Estuarine, coastal and shelf science*. 55: 857-883.
86. Valcarcel, Miguel. 1999. principios de química analítica. Springer-Verlag Ibérica. España. Páginas 55-73.
87. Vargas-Hernández, J. M., Hernández-Gutiérrez, A.; Carrera-Parra. L. F. 1993. "Sistema Arrecifal Veracruzano". En S. Salazar-Vallejo y N. E. González (comps.). Biodiversidad marina y costera de México. CONABIO-CIQRO. México. Pág. 559-575.
88. Varian. 1988. Analytical methods for graphite tube atomizers. E. Rothery. Australia.
89. Varian. 1989. Analytical methods. Flame atomic absorption spectrometry. Australia.

90. Vázquez, Felipe G.; Sharma, Virender K. 2004. Major and trace elements in sediments of the Campeche Sound, southeast Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*. 48:87-90
91. Vazquez, G.F.; Sharma, Virender K.; Magallanes, Victor R.; Marmolejo, Ana J. 1999 Heavy Metals in a Coastal Lagoon of the Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*. 38 (6): 479-485.
92. Vega García, Adriana. 2005. Determinación de metales traza en agua de mar preconcentración con APDC/NaDDC y DiBK, en la zona costera adyacente a la desembocadura del río Panuco, México. Tesis Licenciatura (Químico de Alimentos)-UNAM, Facultad de Química.
93. Zhang, J.; Liu, C. L. 2002. Riverine Composition and Estuarine Geochemistry of Particulate Metals in China—Weathering Features, Anthropogenic Impact and Chemical Fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 54: 1051-1070.

* El volumen y las páginas del artículo no se encuentran determinados.