



**CONAGUA**

Comisión Nacional del Agua

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. Dirección Técnica.



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

SEMARNAT

# COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

ORGANISMO DE CUENCA AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO

DIRECCIÓN TÉCNICA

SUBGERENCIA DE CALIDAD DEL AGUA E IMPACTO AMBIENTAL

## INFORME FINAL

**“CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA PRESA VALLE DE BRAVO,  
ESTADO DE MÉXICO Y EVALUACIÓN DE DIFERENTES TÉCNICAS DE CONTROL  
DE NUTRIENTES”**

**Convenio No. OAVM-DT-MEX-09-453-RF-CC**

Supervisión: Ing. Juan Manuel Martínez Jiménez

M. en I. Patricia Flores Ordeñana

Responsable técnico: Dra. Anne M. Hansen

Participantes: M. en I. Henri Márquez Pacheco

M. en I. Carlos Esteban Corzo Juárez

M. en I. Luis Carlos González Márquez

M. en I. Arturo Hernández Antonio

Noviembre de 2009





## CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Introducción.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Objetivos.....  | 1         |
| 1.2 Ubicación de la zona de estudio.....  | 2         |
| <b>2. Muestreo y análisis de agua y sedimentos.....</b>                         | <b>5</b>  |
| 2.1 Selección de las estaciones de muestreo .....                               | 5         |
| 2.2 Muestreo de agua y sedimentos .....   | 6         |
| 2.3 Análisis de agua .....  | 9         |
| 2.4 Análisis de sedimentos.....   | 11        |
| 2.5 Resultados y discusión de la caracterización de agua y sedimentos.....      | 15        |
| 2.5.1 Caracterización del agua .....  | 17        |
| 2.5.2 Caracterización de sedimentos .....                                       | 28        |
| 2.6 Análisis de correlación de parámetros medidos en agua y sedimentos.....     | 43        |
| 2.6.1 Correlación entre los parámetros medidos en agua.....                     | 46        |
| 2.6.2 Correlación entre parámetros medidos en agua de fondo y sedimentos .....  | 46        |
| 2.6.3 Síntesis de las correlaciones .....                                       | 50        |
| <b>3. Análisis de la evolución de calidad del agua en la presa.....</b>         | <b>51</b> |
| 3.1 Oxígeno Disuelto .....  | 55        |
| 3.2 pH .....  | 56        |
| 3.3 Nitrógeno como Nitritos .....   | 57        |
| 3.4 Nitrógeno Amoniacal .....   | 58        |
| 3.5 Nitrógeno Total Kjeldahl .....  | 59        |
| 3.6 Fosfatos.....   | 60        |
| 3.7 Fósforo total.....  | 61        |
| 3.8 Hierro, manganeso y aluminio.....   | 62        |
| 3.9 Visibilidad del Disco Secchi.....   | 64        |
| <b>4. Evaluación de la liberación de nitrógeno y fósforo de sedimentos.....</b> | <b>67</b> |
| 4.1 Metodología para evaluar la liberación de nutrientes y minerales .....      | 67        |
| 4.2 Resultados de liberación de nutrientes y minerales en sedimento .....       | 71        |
| 4.3 Resultados de la respiración de sedimentos.....                             | 75        |
| 4.4 Estimación de la carga interna de nitrógeno y fósforo .....                 | 76        |



|   |            |
|---|------------|
| <b>5. Estimación de cargas de contaminantes por fuentes externas.....</b>   | <b>81</b>  |
| 5.1 Aporte de contaminantes por fuentes puntuales .....                     | 82         |
| 5.1.1 Descargas de agua residual municipal.....                             | 82         |
| 5.1.2 Descargas por plantas de tratamiento de agua residual municipal ..... | 84         |
| 5.1.3 Descargas de agua residual municipal sin tratamiento .....            | 85         |
| 5.1.4 Resumen de aportaciones por fuentes puntuales .....                   | 86         |
| 5.2 Aporte de contaminantes por fuentes difusas .....                       | 87         |
| 5.2.1 Descargas del sector pecuario .....                                   | 87         |
| 5.2.2 Descargas del sector trutícola .....                                  | 89         |
| 5.2.3 Descargas de escurrimientos de suelos con diferentes usos.....        | 90         |
| 5.2.4 Resumen de aportaciones por fuentes difusas .....                     | 94         |
| 5.3 Conclusiones de la carga externa de contaminantes.....                  | 95         |
| <b>6. Tecnologías para la reducción de nutrientes.....</b>                  | <b>97</b>  |
| 6.1 Control por volumen .....   | 97         |
| 6.2 Biorremediación.....  | 97         |
| 6.3 Control de carga interna .....  | 102        |
| 6.4 Extracción de agua de fondo.....  | 102        |
| 6.5 Dragado.....  | 103        |
| 6.6 Aireación.....  | 108        |
| <b>7. Acciones para el saneamiento de la presa Valle de Bravo .....</b>     | <b>111</b> |
| 7.1 Escenarios de saneamiento .....   | 111        |
| 7.2 Propuestas de solución .....  | 112        |
| 7.2.1 Solución a corto plazo .....  | 113        |
| 7.2.2 Propuesta de solución a mediano y largo plazo .....                   | 117        |
| <b>8. Conclusiones y recomendaciones .....</b>                              | <b>118</b> |
| 8.1 Conclusiones.....   | 118        |
| 8.2 Recomendaciones.....  | 119        |
| <b>9. Referencias .....</b>   | <b>121</b> |

Anexo 1. Distribución de la concentración de parámetros medidos en agua y sedimentos

Anexo 2. Información de calidad del agua en la presa Valle de Bravo

Anexo 3. Carga interna de nutrientes y minerales y generación de CO<sub>2</sub> en sedimentos

Anexo 4. Habitantes por localidad y aportación de contaminantes por tipo de descarga en la cuenca de la presa Valle de Bravo

**TABLAS**

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabla 1.  | Localización y profundidad del agua en las estaciones de muestreo.....           | 6  |
| Tabla 2.  | Límites admisibles de contaminantes.....   | 15 |
| Tabla 3.  | Niveles límites para la clasificación trófica de cuerpos de agua.....            | 15 |
| Tabla 4.  | Guías de calidad de sedimentos para su disposición en cuerpos de agua.....       | 16 |
| Tabla 5.  | Resultados de parámetros medidos en agua (21 al 23 de julio, 2009) .....         | 18 |
| Tabla 6.  | Resultados de caracterización de sedimentos .....                                | 29 |
| Tabla 7.  | Asimetría y curtosis de los parámetros medidos en agua .....                     | 44 |
| Tabla 8.  | Asimetría y curtosis de los parámetros en agua de fondo y en sedimentos .....    | 45 |
| Tabla 9.  | Matriz de correlación (Spearman) para parámetros en agua .....                   | 47 |
| Tabla 10. | Matriz de correlación (Pearson) para parámetros en agua de fondo y sedimentos .. | 48 |
| Tabla 11. | Análisis de tendencias de calidad del agua.....                                  | 53 |
| Tabla 12. | Relación agua-sedimento y concentración de nutrientes en cada reactor .....      | 68 |
| Tabla 13. | Liberación de nutrientes y minerales. Zonas someras (0-3 m).....                 | 72 |
| Tabla 14. | Liberación de nutrientes y minerales. Zonas someras (0-3 m duplicado) .....      | 72 |
| Tabla 15. | Liberación de nutrientes y minerales. Zonas intermedias (3-13.5 m).....          | 73 |
| Tabla 16. | Liberación de nutrientes y minerales. Zonas profundas (>13.5 m) .....            | 73 |
| Tabla 17. | Promedio mensual de potencial redox (mV) para diferentes profundidades.....      | 77 |
| Tabla 18. | Zonas en la presa Valle de Bravo.....  | 77 |
| Tabla 19. | Promedio mensual de potencial redox por zona (mV).....                           | 79 |
| Tabla 20. | Carga interna de fósforo en la presa Valle de Bravo (kg).....                    | 80 |
| Tabla 21. | Carga interna de nitrógeno en la presa Valle de Bravo (kg).....                  | 80 |
| Tabla 22. | Volumen de agua residual sin tratamiento por subcuenca.....                      | 83 |
| Tabla 23. | Plantas de tratamiento de aguas residuales en operación.....                     | 84 |
| Tabla 24. | Composición de los efluentes de las PTAR.....                                    | 84 |
| Tabla 25. | Volumen de agua residual tratada en la cuenca de la presa Valle de Bravo. ....   | 85 |
| Tabla 26. | Aporte de contaminantes debido a la PTAR de Amanalco (t/año) .....               | 85 |
| Tabla 27. | Concentraciones típicas de agua residual domestica .....                         | 86 |
| Tabla 28. | Aporte de contaminantes por agua residual sin tratamiento (t/año) .....          | 86 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 29. Aportes de contaminantes por fuentes puntuales (t/año) .....                                 | 86  |
| Tabla 30. Producción porcina y bovina en la cuenca de la presa Valle de Bravo .....                    | 87  |
| Tabla 31. Concentración de contaminantes en excretas porcinas .....                                    | 87  |
| Tabla 32. Concentración de contaminantes en excretas bovinas .....                                     | 88  |
| Tabla 33. Aporte de contaminantes por excretas de ganado bovino (t/año) .....                          | 88  |
| Tabla 34. Aporte de contaminantes por excretas de ganado porcino (t/año) .....                         | 88  |
| Tabla 35. Aporte de contaminantes por producción de trucha arcoiris .....                              | 90  |
| Tabla 36. Áreas de aportación de las subcuencas en el embalse .....                                    | 90  |
| Tabla 37. Volumen medio anual de escurrimiento por subcuencas y uso de suelo (m <sup>3</sup> /año) ... | 92  |
| Tabla 38. Concentraciones típicas de contaminantes según el uso de suelo (mg/L) .....                  | 92  |
| Tabla 39. Uso de suelo por subcuencas de la presa Valle de Bravo (m <sup>2</sup> ) .....               | 93  |
| Tabla 40. Aporte de contaminantes por uso de suelo por subcuenca (t/año) .....                         | 94  |
| Tabla 41. Aporte de contaminantes por subcuenca debido a fuentes difusas (t/año) .....                 | 94  |
| Tabla 42. Aporte de contaminantes por fuentes externas (t/año) .....                                   | 96  |
| Tabla 43. Comparación de estimaciones de carga externa (t/año) .....                                   | 96  |
| Tabla 44. Aplicación del método de control por volumen .....   | 98  |
| Tabla 45. Aplicación del método de biorremediación .....   | 100 |
| Tabla 46. Aplicación del método de control de carga interna .....                                      | 104 |
| Tabla 47. Aplicación del método de extracción de agua de fondo .....                                   | 105 |
| Tabla 48. Aplicación del método de dragado .....   | 106 |
| Tabla 49. Aplicación del método de aireación .....   | 109 |
| Tabla 50. Condiciones de operación .....   | 114 |
| Tabla 51. Cálculo de costos .....  | 116 |
| Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009                              |     |
| Tabla 53. Registros de datos   |     |
| Tabla 54. Distribución de datos  |     |
| Tabla 55. Carga interna de nutrientes y minerales. Zonas someras (0-3 m)                               |     |
| Tabla 56. Carga interna de nutrientes y minerales. Zonas intermedias (3-13.5 m)                        |     |
| Tabla 57. Carga interna de nutrientes y minerales. Zonas profundas (> 13.5 m)                          |     |
| Tabla 58. Generación de CO <sub>2</sub> en sedimentos de zonas someras (0-3 m)                         |     |
| Tabla 59. Generación de CO <sub>2</sub> en sedimentos de zonas profundas (>13.5 m)                     |     |

## FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Cuenca de la presa Valle de Bravo .....   | 3  |
| Figura 2. Croquis de la presa Valle de Bravo con estaciones de muestreo .....               | 5  |
| Figura 3. Muestreo de agua con botella van Dorn.....  | 7  |
| Figura 4. Medición de parámetros en agua con equipo Hydrolab (Hach DS5) .....               | 8  |
| Figura 5. Medición de la visibilidad con Disco Secchi .....                                 | 8  |
| Figura 6. Muestreo de sedimentos con draga van Veen .....                                   | 9  |
| Figura 7. Espectrofotómetro Merck.....  | 10 |
| Figura 8. Termorreactor utilizado para la digestión de muestras.....                        | 10 |
| Figura 9. Muestras de sedimento húmedo .....  | 12 |
| Figura 10. Muestras de sedimento seco.....  | 12 |
| Figura 11. Agitación de muestra de sedimento para determinación de la granulometría.....    | 13 |
| Figura 12. Lectura con hidrómetro de la densidad de sedimentos .....                        | 13 |
| Figura 13. Secado de muestras de sedimento .....  | 14 |
| Figura 14. Sedimentos calcinados.....   | 14 |
| Figura 15. Profundidad del agua en la presa Valle de Bravo (julio 21-23, 2009) .....        | 16 |
| Figura 16. Temperatura del agua con respecto a la profundidad de muestreo .....             | 20 |
| Figura 17. pH del agua con respecto a la profundidad de muestreo .....                      | 20 |
| Figura 18. Turbiedad del agua con respecto a la profundidad de muestreo .....               | 21 |
| Figura 19. Conductividad eléctrica del agua con respecto a la profundidad de muestreo ..... | 21 |
| Figura 20. Concentración de cloruros en agua respecto a la profundidad de muestreo .....    | 22 |
| Figura 21. Sólidos disueltos totales respecto a la profundidad de muestreo.....             | 22 |
| Figura 22. Visibilidad de Disco Secchi en función de la profundidad de cada estación .....  | 23 |
| Figura 23. Concentración de oxígeno disuelto respecto a la profundidad de muestreo.....     | 23 |
| Figura 24. Potencial redox del agua con respecto a la profundidad de muestreo .....         | 24 |
| Figura 25. Potencial redox en agua de superficie de la presa Valle de Bravo .....           | 24 |
| Figura 26. Potencial redox en agua de fondo de la presa Valle de Bravo.....                 | 25 |
| Figura 27. Nitrógeno amoniacal en agua respecto a la profundidad de muestreo .....          | 25 |
| Figura 28. Nitrógeno como nitratos en agua respecto a la profundidad de muestreo .....      | 26 |
| Figura 29. Nitrógeno total en agua respecto a la profundidad de muestreo.....               | 26 |
| Figura 30. Fósforo total en agua respecto a la profundidad de muestreo .....                | 27 |
| Figura 31. Hierro en agua respecto a la profundidad de muestreo .....                       | 28 |



Figura 32. Manganeso en agua respecto a la profundidad de muestreo .....28

Figura 33. Humedad de sedimentos en la presa Valle de Bravo.....30

Figura 34. pH en sedimentos de la presa Valle de Bravo.....30

Figura 35. Contenido de arena en sedimentos.....31

Figura 36. Contenido de limo en sedimentos .....31

Figura 37. Contenido de arcilla en sedimentos.....32

Figura 38. Materia orgánica en sedimentos.....32

Figura 39. Materia orgánica en sedimentos de la presa Valle de Bravo .....33

Figura 40. Aluminio en sedimentos como función de la profundidad por estación.....33

Figura 41. Aluminio en sedimentos de la presa Valle de Bravo .....34

Figura 42. Hierro en sedimentos como función de la profundidad por estación.....34

Figura 43. Hierro en sedimentos de la presa Valle de Bravo .....35

Figura 44. Hierro en agua de superficie de la presa Valle de Bravo .....35

Figura 45. Hierro en agua de fondo de la presa Valle de Bravo.....36

Figura 46. Manganeso en sedimentos como función de la profundidad por estación.....37

Figura 47. Manganeso en sedimentos de la presa Valle de Bravo .....37

Figura 48. Manganeso en agua de superficie de la presa Valle de Bravo .....38

Figura 49. Manganeso en agua de fondo de la presa Valle de Bravo.....38

Figura 50. Nitrógeno total Kjeldahl en sedimentos en función de la profundidad.....39

Figura 51. Nitrógeno total Kjeldahl en sedimentos de la presa Valle de Bravo .....39

Figura 52. Nitrógeno total en agua de superficie de la presa Valle de Bravo.....40

Figura 53. Nitrógeno total en agua de fondo de la presa Valle de Bravo .....40

Figura 54. Fósforo total en sedimentos en función de la profundidad.....41

Figura 55. Fósforo total en sedimentos de la presa Valle de Bravo .....41

Figura 56. Fósforo total en agua de superficie de la presa Valle de Bravo .....42

Figura 57. Fósforo total en agua de fondo de la presa Valle de Bravo.....42

Figura 58. Oxígeno disuelto en función del volumen de almacenamiento (CV<0.15) .....55

Figura 59. Oxígeno disuelto en agua en función del tiempo (CV<0.15) .....55

Figura 60. pH del agua en función del volumen de almacenamiento (CV<0.15) .....56

Figura 61. pH del agua en función del tiempo (CV<0.15).....56

Figura 62. Nitrógeno como nitritos en función del volumen de almacenamiento .....57

Figura 63. Nitrógeno como nitritos en agua en función del tiempo.....57

|  |    |
|--|----|
| Figura 64. Nitrógeno amoniacal en función del volumen de almacenamiento .....  | 58 |
| Figura 65. Nitrógeno amoniacal en agua en función del tiempo.....  | 58 |
| Figura 66. Nitrógeno total Kjeldahl en función del volumen de almacenamiento .....   | 59 |
| Figura 67. Nitrógeno total Kjeldahl en el agua en función del tiempo.....  | 59 |
| Figura 68. Fosfatos en función del volumen de almacenamiento.....  | 60 |
| Figura 69. Fosfatos en el agua en función del tiempo .....   | 60 |
| Figura 70. Fósforo total en función del volumen de almacenamiento .....  | 61 |
| Figura 71. Fósforo total en agua en función del tiempo.....  | 61 |
| Figura 72. Hierro en el agua función del volumen de almacenamiento.....  | 62 |
| Figura 73. Hierro en el agua en función del tiempo .....   | 62 |
| Figura 74. Manganeso en el agua en función del volumen de almacenamiento.....  | 63 |
| Figura 75. Manganeso en el agua en función del tiempo .....  | 63 |
| Figura 76. Aluminio en el agua en función del volumen de almacenamiento.....   | 64 |
| Figura 77. Aluminio en el agua en función del tiempo .....   | 64 |
| Figura 78. Visibilidad del Disco Secchi en función del volumen de almacenamiento (CV<0.15)                                 | 65 |
| Figura 79. Visibilidad del Disco Secchi en función del tiempo (CV<0.15) .....  | 65 |
| Figura 80. Selección de muestras a combinar.....   | 67 |
| Figura 81. Montaje experimental para evaluar la liberación de nutrientes .....   | 68 |
| Figura 82. Diagrama de flujo del sistema de liberación de nutrientes .....   | 69 |
| Figura 83. Nitrógeno liberado como función del potencial redox.....  | 74 |
| Figura 84. Fósforo liberado como función del potencial redox .....   | 74 |
| Figura 85. Hierro liberado como función del potencial redox.....   | 75 |
| Figura 86. Manganeso liberado como función del potencial redox.....  | 75 |
| Figura 87. CO <sub>2</sub> generado en muestras compuestas de sedimentos .....   | 76 |
| Figura 88. Liberación de fósforo total y nitrógeno total, zona somera .....  | 78 |
| Figura 89. Liberación de fósforo total y nitrógeno total, zona intermedia .....  | 78 |
| Figura 90. Liberación de fósforo total y nitrógeno total, zona profunda.....   | 79 |
| Figura 91. Delimitación de subcuencas en la cuenca de la presa Valle de Bravo (modificado de<br>IMTA, 2005).....           | 81 |
| Figura 92. Ubicación de localidades en la cuenca de la presa Valle de Bravo .....  | 83 |
| Figura 93. Ubicación de granjas trutícolas en la cuenca de la presa Valle de Bravo. Fuente:<br>Acuagranjas/CNA (2004)..... | 89 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 94. Precipitación pluvial en la cuenca de la presa Valle de Bravo .....         | 91  |
| Figura 95. Uso de suelo en la cuenca de la presa Valle de Bravo .....                  | 93  |
| Figura 96. Medidas en la reducción de P en un cuerpo de agua .....                     | 112 |
| Figura 97. Preparación y aplicación de Phoslock .....                                  | 115 |
| Figura 98. Temperatura en agua de superficie de la presa Valle de Bravo                |     |
| Figura 99. Temperatura en agua de fondo de la presa Valle de Bravo                     |     |
| Figura 100. pH en agua de superficie de la presa Valle de Bravo                        |     |
| Figura 101. pH en agua de fondo de la presa Valle de Bravo                             |     |
| Figura 102. Turbiedad en agua de superficie de la presa Valle de Bravo                 |     |
| Figura 103. Turbiedad en agua de fondo de la presa Valle de Bravo                      |     |
| Figura 104. Conductividad eléctrica en agua de superficie de la presa Valle de Bravo   |     |
| Figura 105. Conductividad eléctrica en agua de fondo de la presa Valle de Bravo        |     |
| Figura 106. Cloruros en agua de superficie de la presa Valle de Bravo                  |     |
| Figura 107. Cloruros en agua de fondo de la presa Valle de Bravo                       |     |
| Figura 108. Sólidos disueltos totales en agua de superficie de la presa Valle de Bravo |     |
| Figura 109. Sólidos disueltos totales en agua de fondo de la presa Valle de Bravo      |     |
| Figura 110. Visibilidad del Disco Secchi en la presa Valle de Bravo                    |     |
| Figura 111. Oxígeno disuelto en agua de superficie de la presa Valle de Bravo          |     |
| Figura 112. Oxígeno disuelto en agua de fondo de la presa Valle de Bravo               |     |
| Figura 113. Nitrógeno amoniacal en agua de superficie de la presa Valle de Bravo       |     |
| Figura 114. Nitrógeno amoiacal en agua de fondo de la presa Valle de Bravo             |     |
| Figura 115. Nitratos en agua de superficie de la presa Valle de Bravo                  |     |
| Figura 116. Nitratos en agua de fondo de la presa Valle de Bravo                       |     |
| Figura 117. Humedad de sedimentos de la presa Valle de Bravo                           |     |
| Figura 118. pH en sedimentos de la presa Valle de Bravo                                |     |
| Figura 119. Arenas en sedimentos de la presa Valle de Bravo                            |     |
| Figura 120. Limos en sedimentos de la presa Valle de Bravo                             |     |
| Figura 121. Arcillas en sedimentos de la presa Valle de Bravo                          |     |
| Figura 122. Temperatura del agua en función del volumen de almacenamiento              |     |
| Figura 123. Demanda bioquímica de oxígeno en función del volumen de almacenamiento     |     |
| Figura 124. Demanda química de oxígeno en función del volumen de almacenamiento        |     |
| Figura 125. Sólidos totales en función del volumen de almacenamiento                   |     |

- Figura 126. Sólidos totales en función del volumen de almacenamiento (CV<0.15)
- Figura 127. Sólidos suspendidos totales en función del volumen de almacenamiento
- Figura 128. Sólidos disueltos totales en función del volumen de almacenamiento
- Figura 129. Sólidos disueltos totales en función del volumen de almacenamiento (CV<0.15)
- Figura 130. Nitrógeno como nitratos en función del volumen de almacenamiento
- Figura 131. Alcalinidad total en función del volumen de almacenamiento
- Figura 132. Alcalinidad total en función del volumen de almacenamiento (CV<0.15)
- Figura 133. Temperatura del agua en función del tiempo
- Figura 134. Demanda bioquímica de oxígeno en el agua en función del tiempo
- Figura 135. Demanda química de oxígeno en función del tiempo
- Figura 136. Sólidos totales en función del tiempo
- Figura 137. Sólidos totales en función del tiempo (CV<0.15)
- Figura 138. Sólidos suspendidos totales en función del tiempo
- Figura 139. Sólidos disueltos totales en función del tiempo
- Figura 140. Sólidos disueltos totales en función del tiempo (CV<0.15)
- Figura 141. Nitrógeno como nitratos en agua en función del tiempo
- Figura 142. Alcalinidad total en función del tiempo
- Figura 143. Alcalinidad total en función del tiempo (CV<0.15)



## 1. Introducción

Los cambios ambientales que se observan en el mundo son principalmente antropogénicos debido al crecimiento de la población humana y sus actividades con un alto consumo de recursos (Vitousek, 1994; Vitousek *et al.*, 1997; Tilman y Lehman, 2001). Uno de los principales problemas de contaminación en embalses y lagos, es el enriquecimiento progresivo de nutrientes o eutroficación y, junto con ello, el incremento de la productividad primaria, el florecimiento indeseado de algas y otros cambios no deseables. Al morir las algas, se manifiesta un agotamiento del oxígeno disuelto por el proceso de descomposición de la materia orgánica que se acumula en el fondo (Parra, 1989). Las proliferaciones cianobacterianas excesivas se relacionan con problemas de sabor y olor y en algunos casos producen toxinas (Paerl, 1988). Estas algas pueden producir natas y reducir la transparencia del agua. Asimismo, las condiciones anóxicas favorecen la liberación de especies químicas reducidas de hierro, manganeso y sulfuros. Las altas tasas de productividad algal también incrementan la rapidez de repetición de los ciclos de nutrientes en el lago, lo que estimula el desarrollo de más algas (Lorenzen y Fast, 1977).

Los cuerpos de agua que reciben nutrientes continua y progresivamente, tienden a sufrir un deterioro considerable en su calidad de agua. De esta manera, los cuerpos de agua eutroficionados pierden su atractivo para recreación y su utilidad como fuentes de abastecimiento de agua potable, agrícola e industrial (Cooke *et al.*, 2005).

La presa Valle de Bravo aporta con 6 m<sup>3</sup>/s al Sistema Cutzamala, el cual suministra agua para uso y consumo humano a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (CCVB-A, 2008). Dada la importancia de esta presa como la principal fuente de abastecimiento de agua potable del Sistema Cutzamala, se ha estudiado la calidad del agua con objeto de buscar opciones para prevenir la eutroficación y se han cuantificado los volúmenes y concentraciones de nutrientes en sus principales afluentes. Desde 1980 se han realizado diversos estudios sobre el estado trófico y la calidad del agua en la presa (Deguchi *et al.*, 1980; Olvera, 1990; Olvera *et al.*, 1998; Acuagranjas/CNA, 2002, 2003 y 2004; Acuagranjas/CONAGUA, 2005, 2006 y 2007). Los resultados sugieren que la calidad del agua se ha deteriorado debido a las descargas de aguas residuales sobre los afluentes del embalse. Algunos trabajos han desarrollado también acciones enfocadas a disminuir las tasas de erosión y el acarreo de contaminantes, que finalmente llegan con los azolves al embalse de la presa (CNA-IMTA, 1998).

### 1.1 Objetivos

Evaluar los aportes de nutrientes por fuentes externas y por la liberación de los sedimentos en la presa Valle de Bravo y formular propuestas de solución. Primera de tres etapas.

## 1.2 Ubicación de la zona de estudio

La cuenca Valle de Bravo-Amanalco (o simplemente cuenca Valle de Bravo) con una superficie de 61 548.47 ha (incluyendo la cuenca cerrada de San Simón y 52 590.19 ha sin ésta), se encuentra en el poniente del Estado de México (Figura 1). Cubre en su totalidad el municipio de Amanalco, la mayor parte del municipio de Valle de Bravo y parte de los municipios de Donato Guerra, Villa de Allende, Villa Victoria, Temascaltepec, Almoloya de Juárez y Zinacatepec.

Las coordenadas geográficas extremas son las siguientes:

|                   |          |                  |
|-------------------|----------|------------------|
| Extremo Norte:    | 2 143.8N | (19° 23´ 05" N)  |
| Extremo Sur:      | 2 111.3N | (19° 05´ 30" N)  |
| Extremo Oriente:  | 408.5W   | (99° 52´ 00" W)  |
| Extremo Poniente: | 374.1W   | (100° 11´ 40" W) |

La presa Valle de Bravo tiene una superficie de 1 855 ha, profundidad media de 21.1 m y máxima de 38.6 m cerca de la cortina al Noroeste del embalse. La mayor longitud es de 5.3 km del extremo Noroeste hacia el Sureste. Se localiza en la orilla del municipio del mismo nombre, en el Estado de México, en los 19°21'30" de latitud Norte y 100°11'00" de longitud Oeste, a una altitud de 1 830 msnm.

El embalse recibe cinco tributarios: los ríos Amanalco y Molino (río Chiquito en las cartas de INEGI) y los arroyos Santa Mónica, González y El Carrizal. Forma parte de la Región Hidrológica río Balsas (RH 18) y dentro de ésta a la cuenca del río Cutzamala (18G). Pertenece a la Provincia Fisiográfica (X) Eje Neovolcánico, Subprovincia (57) Lagos y Volcanes de Anahuac.

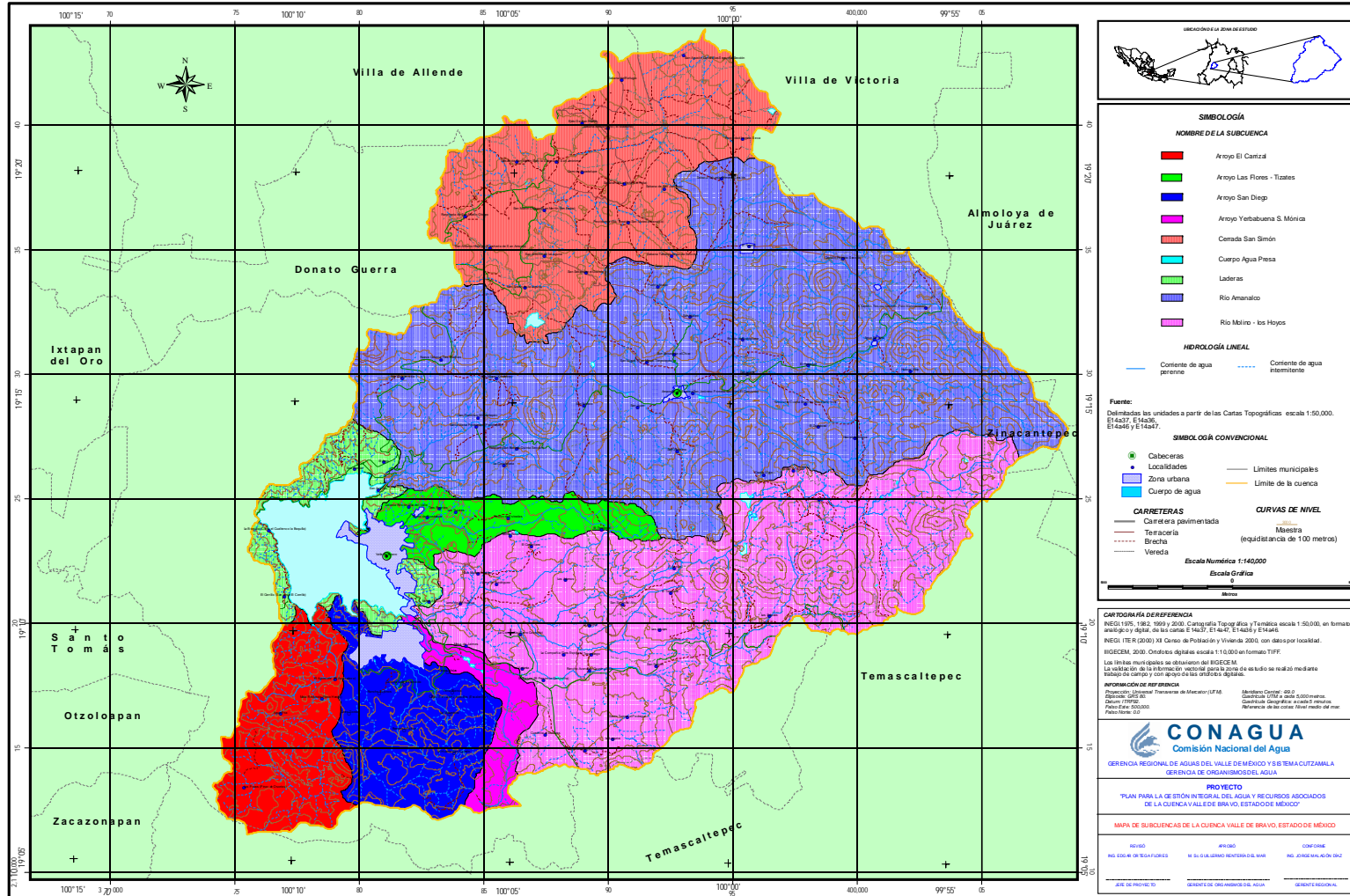


Figura 1. Cuenca de la presa Valle de Bravo

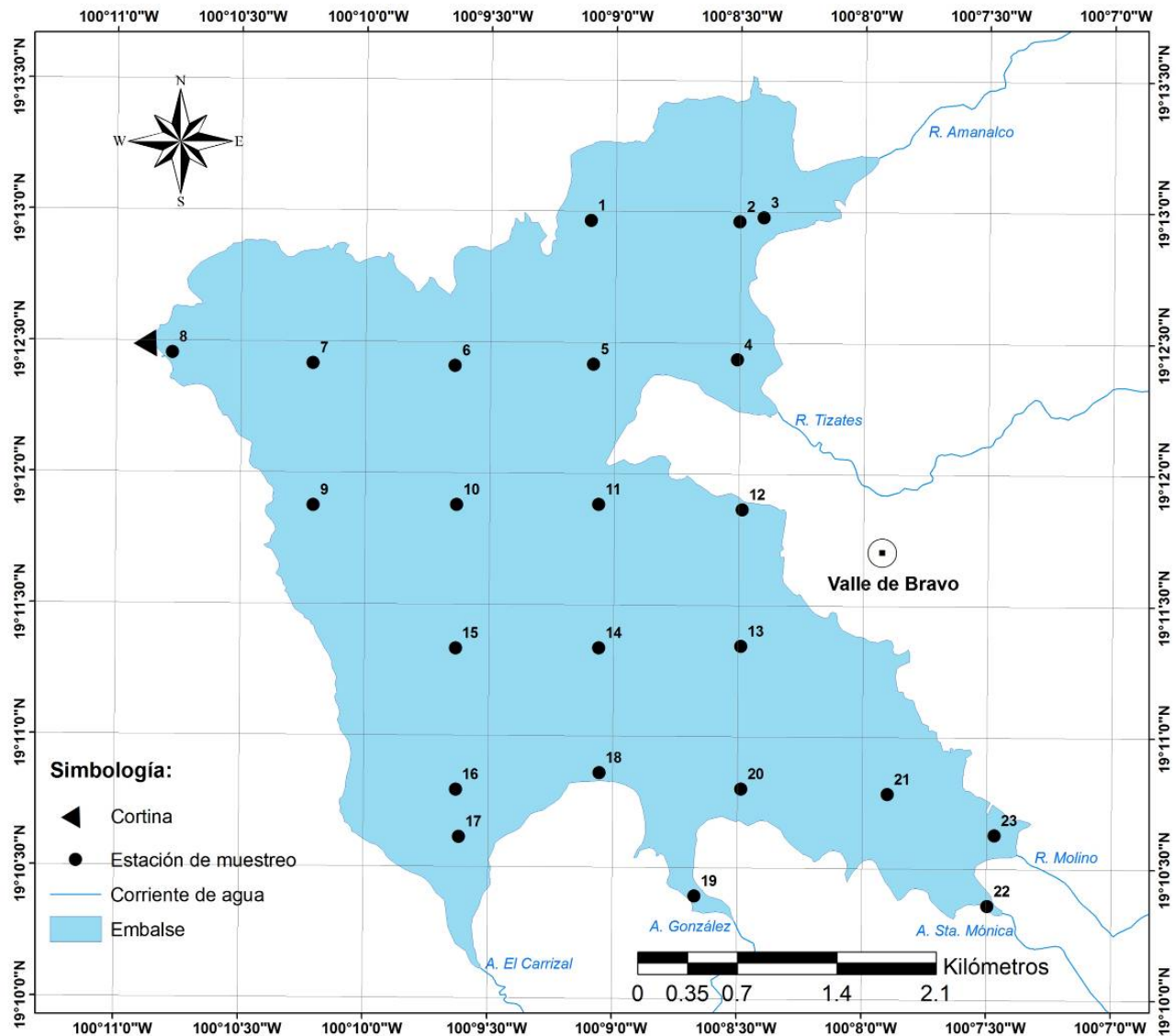


## 2. Muestreo y análisis de agua y sedimentos

Se realizó la campaña de muestreo de agua y de sedimentos en 23 estaciones en la presa Valle de Bravo. A continuación se describen el muestreo y la evaluación.

### 2.1 Selección de las estaciones de muestreo

La selección de las estaciones de muestreo se realizó considerando un diseño de malla así como la confluencia de los tributarios. La malla cuenta con una separación de 1 km, lo que permite considerar 18 estaciones dentro del embalse más cinco en la confluencia con los ríos y arroyos para un total de 23 estaciones (Figura 2).



**Figura 2. Croquis de la presa Valle de Bravo con estaciones de muestreo**

## 2.2 Muestreo de agua y sedimentos

Del 21 al 23 de julio, 2009 se realizó el muestreo de agua y sedimentos. En cada estación se anotaron las coordenadas geográficas y la profundidad (Tabla 1).

**Tabla 1. Localización y profundidad del agua en las estaciones de muestreo**

| Estación de muestreo | Latitud        | Longitud        | Profundidad (m) |
|----------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1                    | 19° 12' 57.88" | 100° 9' 50.87"  | 11.4            |
| 2                    | 19° 12' 57.74" | 100° 8' 30.07"  | 4.6             |
| 3                    | 19° 12' 58.75" | 100° 8' 24.31"  | 1.6             |
| 4                    | 19° 12' 26.24" | 100° 8' 30.50"  | 0.6             |
| 5                    | 19° 12' 25.00" | 100° 9' 50.08"  | 10.4            |
| 6                    | 19° 12' 24.55" | 100° 9' 38.38"  | 21.7            |
| 7                    | 19° 12' 24.96" | 100° 10' 12.57" | 23.7            |
| 8                    | 19° 12' 27.24" | 100° 10' 46.45" | 8.0             |
| 9                    | 19° 11' 52.47" | 100° 10' 12.34" | 14.4            |
| 10                   | 19° 11' 52.69" | 100° 9' 37.82"  | 20.5            |
| 11                   | 19° 11' 52.91" | 100° 9' 30.63"  | 20.7            |
| 12                   | 19° 11' 51.87" | 100° 8' 29.10"  | 5.5             |
| 13                   | 19° 11' 20.64" | 100° 8' 29.22"  | 17.0            |
| 14                   | 19° 11' 20.11" | 100° 9' 30.40"  | 12.0            |
| 15                   | 19° 11' 19.89" | 100° 9' 37.92"  | 13.5            |
| 16                   | 19° 10' 47.56" | 100° 9' 37.69"  | 3.0             |
| 17                   | 19° 10' 36.80" | 100° 9' 36.88"  | 1.0             |
| 18                   | 19° 10' 51.56" | 100° 9' 3.18"   | 4.5             |
| 19                   | 19° 10' 23.56" | 100° 8' 40.12"  | 0.8             |
| 20                   | 19° 10' 47.99" | 100° 8' 28.99"  | 8.0             |
| 21                   | 19° 10' 46.98" | 100° 7' 53.79"  | 12.5            |
| 22                   | 19° 10' 21.50" | 100° 7' 29.64"  | 2.2             |
| 23                   | 19° 10' 37.67" | 100° 7' 27.98"  | 1.0             |

Se realizaron mediciones en campo y se tomaron muestras de agua y de sedimentos para su caracterización en laboratorio. Se utilizó un equipo multiparamétrico Hydrolab (Hach DS5), Disco Secchi, espectrofotómetro Merck (Pharo 300) para medir los parámetros en campo y botella van Dorn y draga van Veen para obtener las muestras de agua y sedimentos.

Para cada estación se tomaron muestras de agua de superficie y de fondo (Figura 3). Asimismo, en estaciones con profundidades de 17 m o mayores, se realizaron muestreos a 14 m de profundidad por existir en este nivel una capa de agua con lectura de cero turbiedad.

En cada nivel de muestreo se midió con el multiparamétrico Hydrolab (Figura 4) los parámetros de pH, temperatura (T), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), visibilidad del Disco Secchi (DS), sólidos disueltos totales (SDT), nitrógeno en sus

formas amoniacal ( $N-NH_4$ ) y de nitratos ( $N-NO_3$ ), cloruros (Cl), potencial redox (Eh), profundidad y salinidad. Se observó una presión barométrica de 618 mm Hg durante todo el periodo de muestreo.



**Figura 3. Muestreo de agua con botella van Dorn**

La medición de los parámetros de campo consistió en introducir el equipo hasta la profundidad deseada y, una vez estabilizados, los valores de los diversos parámetros.



**Figura 4. Medición de parámetros en agua con equipo Hydrolab (Hach DS5)**

Asimismo, en cada estación se midió la visibilidad, introduciendo el Disco Secchi en la columna de agua hasta la profundidad donde se pierde la visibilidad del mismo (Figura 5).



**Figura 5. Medición de la visibilidad con Disco Secchi**

Se colectaron 46 muestras de agua y seis duplicados para determinación en laboratorio de hierro (Fe) y manganeso (Mn). Estas muestras fueron llevadas a  $\text{pH} < 2$  con  $\text{HNO}_3$  y transportadas bajo refrigeración y en la oscuridad al laboratorio.

Las muestras de sedimento obtenidas con draga van Veen se depositaron en bolsas de plástico (Figura 6) y se conservaron bajo refrigeración y en la oscuridad.



**Figura 6. Muestreo de sedimentos con draga van Veen**

### 2.3 Análisis de agua

A continuación se describen las metodologías utilizadas para el análisis de agua de la presa Valle de Bravo, que consistió en determinar los parámetros de fosfatos ( $PO_4$ ), fósforo total ( $P_T$ ), nitrógeno total ( $N_T$ ), hierro (Fe) y manganeso (Mn) por métodos fotométricos utilizando un espectrofotómetro Merck (Figura 7).

La determinación de  $PO_4$  y  $P_T$  se realizó a través del método fotométrico (Fosfatos 14543, Spectroquant®) el cual consiste en la digestión de una alícuota de 5 mL de muestra con peroxodisulfato de dipotasio contenido en una celda de reacción, calentamiento a 120 °C durante 30 min en termorreactor marca Merck modelo TR 320 (Figura 8). Después de enfriar a temperatura ambiente, a la muestra digerida se agregan cinco gotas de reactivo P-2K (Fosfatos 14543) y se mezcla. Posteriormente se agrega una dosis de reactivo P-3K (Fosfatos 14543) agitando vigorosamente hasta que el reactivo se disuelve; transcurrido cinco minutos de reacción se miden las concentraciones de  $PO_4$  y de  $P_T$  en el espectrofotómetro



**Figura 7. Espectrofotómetro Merck**



**Figura 8. Termorreactor utilizado para la digestión de muestras**

Para determinar  $N_T$  se utilizó el método fotométrico Nitrógeno total 14537 (Spectroquant®). Para ello se agregan 10 mL de muestra a una celda vacía, se añade una micro-cuchara del reactivo N-1K (Nitrógeno total 14537) y seis gotas del reactivo N-2K (Nitrógeno total 14537). Se calienta a 120 °C en el termorreactor durante una hora para llevar a cabo la digestión y se enfría hasta temperatura ambiente. En una celda de reacción que contiene ácido sulfúrico se agrega una micro-cuchara de reactivo N-3K (Nitrógeno total 14537) y se agita durante un minuto; posteriormente se añade 1.5 mL de muestra digerida dejando reaccionar durante 10 min para posteriormente medir en el espectrofotómetro.

Para la determinación de Fe en las muestras se utilizó el método fotométrico Hierro 14549 (Spectroquant®). Este método consiste en añadir 5 mL de muestra acidificada ( $\text{pH} < 2$ ) en una celda de reacción que contiene ácido tioglicólico y amonio tioglicolato. Posteriormente se agrega un micro-cuchara de reactivo Fe-1K (Hierro 14549) y se agita vigorosamente hasta disolver el sólido. Transcurrido el tiempo de reacción de tres minutos, la muestra es medida en el espectrofotómetro.

El Mn se determinó con el método fotométrico Manganeso 01739 (Spectroquant®). Para realizar este método se utilizan 8 mL de muestra los cuales son agregados a un tubo de ensayo, a la muestra se añade una micro-cuchara de reactivo Mn-1 (Manganeso 01739) y se agita hasta que el reactivo se haya disuelto completamente, posteriormente se añaden 2 mL de reactivo Mn-2 (Manganeso 01739) y tres gotas de reactivo Mn-3 (Manganeso 01739) y se mezcla la solución, por último se agregan 0.25 mL de reactivo Mn-4 (Manganeso 01739) dejando reposar 10 minutos (tiempo de reacción), luego se introduce la muestra en una cubeta para medir el espectrofotómetro Merck.

## 2.4 Análisis de sedimentos

Las muestras de sedimento fueron caracterizadas de acuerdo a los siguientes parámetros: pH, humedad, materia orgánica (MO), granulometría, Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), fósforo total ( $P_T$ ), aluminio (Al), hierro (Fe) y manganeso (Mn).

La determinación de NTK y  $P_T$  en sedimentos se realizó de acuerdo al método 351.2 (EPA, 1993). Este método consiste en la digestión de 25 g de sedimento en un termorreactor a 160 °C durante una hora; posteriormente se aumenta la temperatura a 380 °C durante 1.5 h. La muestra es enfriada y diluida con 25 mL de agua desionizada; posteriormente se toma una alícuota y se analiza NTK y  $P_T$  por colorimetría.

La determinación de Al, Fe y Mn en sedimentos se realizó por Espectrometría de Emisión Atómica acoplado Inductivamente a Plasma (ICP-AES) mediante método 6010B (EPA, 1996). Las muestras fueron digeridas en una unidad de microondas a través del método 3051 (EPA, 1996) la cual consiste en pesar 0.5 g de muestra en un vaso de Teflón® y añadir 10 mL de ácido nítrico concentrado. Posteriormente, la muestra acidificada se coloca en un recipiente de polímero y es calentada a  $180 \pm 5$  °C durante 5.5 min. La muestra es enfriada y separada por centrifugación a 2000-3000 rpm durante 10 min. Por último el sobrenadante es diluido a volumen conocido y analizada por ICP-AES.

Las muestras de sedimento utilizadas para la determinación de pH y granulometría fueron secadas a temperatura ambiente hasta peso constante (Figura 9 y Figura 10).



**Figura 9. Muestras de sedimento húmedo**



**Figura 10. Muestras de sedimento seco**

Para la determinación de pH se utilizó la metodología de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002), que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Se colocaron 10 g de sedimento seco en un vial, al cual se le adicionó 20 mL de agua MilliQ (marca Millipore, modelo Milli-Q plus), obteniendo una relación sedimento:agua de 1:2, la suspensión se agitó manualmente durante 30 min, a intervalos de 5 min y se dejó reposar. Se agitó nuevamente la suspensión antes de tomar la lectura con electrodo combinado Sentix 41-3 y potenciómetro marca WTW modelo 340i, previamente calibrados con soluciones amortiguadoras de pH 4, 7 y 10.

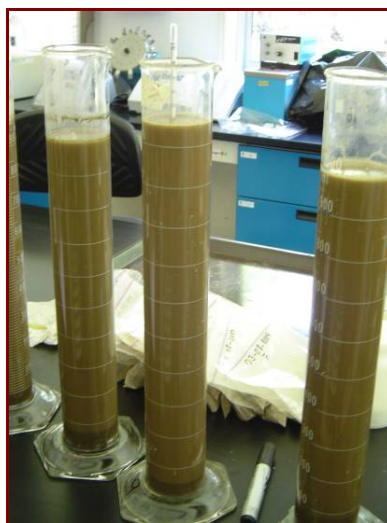
Para determinar la granulometría de los sedimentos se utilizó el método D422-63 (ASTM, 1998). Las partículas de tamaño mayor a 0.074 mm (retenidas sobre la malla

No. 200 de apertura 0.073 mm) se cuantificaron por tamizado, mientras que la distribución de partículas de menor tamaño se determinó por sedimentación, utilizando un hidrómetro ASTM 151H. Se pesaron 50 g de sedimento seco y se depositaron en un matraz Erlenmeyer al cual se agregó 125 mL de hexametáfosfato de sodio 40 g/L. La suspensión sedimento-hexametáfosfato se dejó reposar durante 16 h; posteriormente se vertió en un vaso para su agitación durante un minuto (Figura 11).



**Figura 11. Agitación de muestra de sedimento para determinación de la granulometría**

Una vez agitado, la suspensión se depositó en una probeta y se aforó a un litro, se volvió a agitar y se dejó reposar para la toma de lecturas de las densidades de la suspensión con hidrómetro ASTM 151 H (Figura 12).



**Figura 12. Lectura con hidrómetro de la densidad de sedimentos**

Para determinar el contenido de agua y materia orgánica de los sedimentos, se utilizó el método D 2974-00 (ASTM, 2000). En cápsulas de porcelana se secaron 40 g de sedimento húmedo en horno eléctrico (marca Lindberg Blue, modelo SW-L7TA-1) a temperatura de  $105 \pm 5$  °C durante 16 h (Figura 13). Posteriormente, se enfrió la muestra en desecador y se pesó en balanza electrónica (marca OHAUS, modelo GT2100); este procedimiento se repitió hasta peso constante y se determinó el contenido de agua por diferencia de peso. La materia orgánica se determinó a partir de muestras de sedimento seco, que fueron calcinadas en mufla (marca Furnace, modelo 550-58) a 440 °C durante dos horas (Figura 14); posteriormente se enfriaron en desecador y se determinaron los contenidos de materia orgánica por diferencia de peso.



**Figura 13. Secado de muestras de sedimento**



**Figura 14. Sedimentos calcinados**

## 2.5 Resultados y discusión de la caracterización de agua y sedimentos

A continuación se presentan y se analizan los resultados de caracterización de agua y sedimentos respecto a los límites establecidos en los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua para uso como fuente de abastecimiento de agua potable y para protección de la vida acuática (Tabla 2, DOF, 1989). Asimismo, se analiza el estado trófico del agua en la presa mediante comparación con las concentraciones de fósforo total, nitrógeno total y visibilidad del Disco Secchi, establecido por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (Tabla 3, OECD, 1982).

**Tabla 2. Límites admisibles de contaminantes**

| Parámetro                        | Uso                                      |                                |
|----------------------------------|--|--------------------------------|
|                                  | Fuente de abastecimiento de agua potable | Protección de la vida acuática |
| Temperatura (°C)                 | CN + 2.5                                 | CN + 1.5                       |
| pH                               | 5.0 – 9.0                                | CN + 0.2                       |
| Turbiedad (NTU)                  | CN                                       | CNP + 10%                      |
| Conductividad eléctrica (µS/cm)  | NE                                       | NE                             |
| Oxígeno disuelto* (mg/L)         | 4  | 5                              |
| Cloruros (mg/L)                  | 250                                      | 250                            |
| Nitrógeno amoniacal (mg/L)       | NE                                       | 0.06                           |
| Nitratos (mg/L)                  | 5  | NE                             |
| Fosfatos (mg/L)                  | 0.1                                      | 0.025                          |
| Sólidos disueltos totales (mg/L) | 500                                      | NE                             |
| Hierro (mg/L)                    | 0.3                                      | 1                              |
| Manganeso (mg/L)                 | 0.1                                      | NE                             |

Fuente: DOF (1989)  
 \* Concentración mínima admisible  
 CN: Condiciones Naturales  
 NE: No Especificado  
 CNP: Condiciones Naturales de Profundidad de penetración de luz

**Tabla 3. Niveles límites para la clasificación trófica de cuerpos de agua**

| Parámetro              | Estado trófico |             |                |
|------------------------|----------------|-------------|----------------|
|                        | Mesotrófico    | Eutrófico   | Hipereutrófico |
| Nitrógeno total (mg/L) | 0.4 – 0.6      | 0.6 – 1.5   | >1.5           |
| Fósforo total (mg/L)   | 0.015 – 0.025  | 0.025 – 0.1 | >0.1           |
| Disco Secchi (m)       | 2.4 - 4        | 0.9 – 2.4   | <0.9           |

Fuente: OECD (1982)

Debido a la carencia de una normatividad en México que establezca límites para los niveles de contaminantes en sedimentos, en este informe se aplican los límites ecológicos establecidos por la Secretaría de Ambiente y Energía de Ontario y de la National Oceanic and Atmospheric Administration, para disposición de sedimentos en cuerpos de agua (OMEE, 1994; Buchman, 2008). Estos límites se muestran en la Tabla 4 y se dividen en:

- **LEL** (Nivel de Bajo Efecto) donde el nivel del contaminante en el sedimento puede ser tolerado por la mayoría de los organismos bentónicos.
- **SEL** (Nivel de Efecto Severo), donde la concentración del contaminante es perjudicial para la mayoría de las especies bentónicas.

**Tabla 4. Guías de calidad de sedimentos para su disposición en cuerpos de agua**

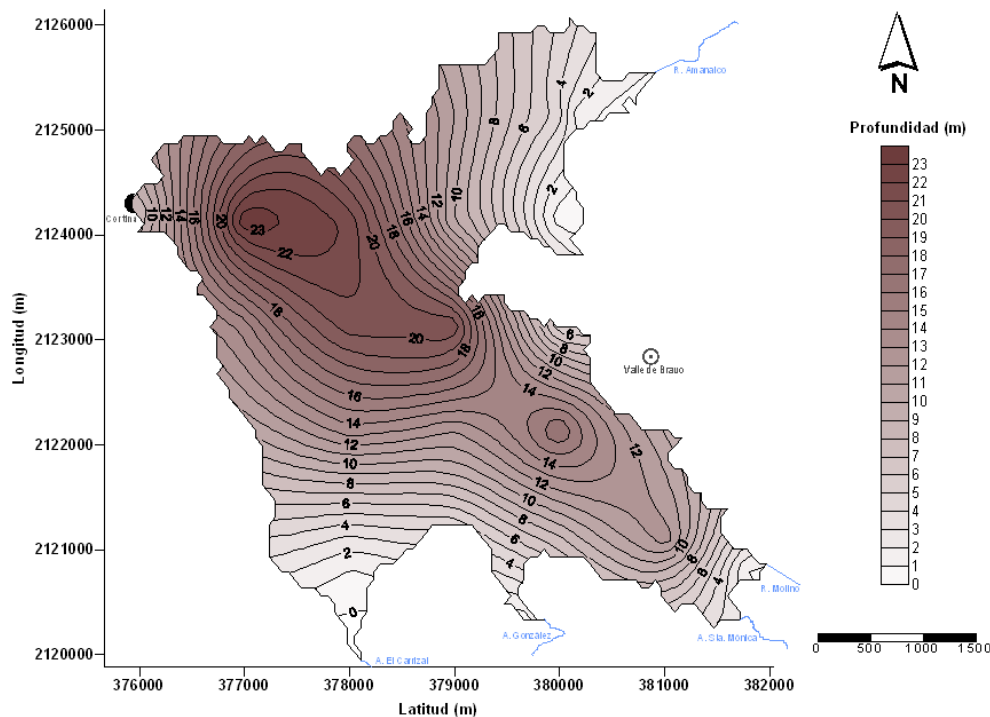
| Parámetro                        | LEL    | SEL    |
|----------------------------------|--------|--------|
| Materia orgánica (%)             | 1.72   | 17.2   |
| Nitrógeno total Kjeldahl (mg/kg) | 550    | 4 800  |
| Fósforo total (mg/kg)            | 600    | 2 000  |
| Manganeso (mg/kg)                | 460    | 1 100  |
| Hierro (mg/kg)                   | 20 000 | 40 000 |
| Aluminio (mg/kg)                 | NE     | NE     |

Fuentes: OMEE (1994) y Buchman (2008)

NE No Especificado

Usando el programa Surfer v. 8 y aplicando el método de interpolación “Kriging” se realizaron isolíneas para analizar la distribución de la concentración de los parámetros medidos en agua y sedimentos (Anexo 1). Las figuras de los parámetros de profundidad, potencial redox, materia orgánica, aluminio, hierro, manganeso, nitrógeno total y fósforo total son discutidas en el presente capítulo.

La Figura 15 muestra la profundidad del agua durante la campaña de muestreo.



**Figura 15. Profundidad del agua en la presa Valle de Bravo (julio 21-23, 2009)**

Se observa que las mayores profundidades se encuentran localizadas sobre el eje central de la presa, siendo la máxima profundidad de 23 m. Las partes más someras son las zonas donde descargan ríos y arroyos al embalse.

### 2.5.1 Caracterización del agua

En la Tabla 5 se presentan los resultados de calidad del agua y a continuación se analizan los parámetros que definen la eutroficación de cuerpos de agua (OECD, 1982) y que tienen límites establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (DOF, 1989) para los usos del agua en la presa Valle de Bravo. Los resultados han sido graficados con respecto a la profundidad de muestreo. En caso de la visibilidad del Disco Secchi, ésta se presenta en función de la profundidad de cada estación de muestreo. Para potencial redox se incluyeron también gráficas con las isolíneas en agua de superficie y en agua de fondo.

Durante el muestreo (julio 21-23, 2009), la temperatura del agua variaba entre 18.6 a 25.7 °C, presentándose variaciones en estaciones someras y una disminución en la columna al aumentar la profundidad (Figura 16). Se observa una diferencia en temperatura promedio de agua en la superficie y agua cerca del fondo, de aproximadamente 2 °C.

Los valores de pH medidos en la presa, se encuentran entre 7.7 y 9.8 (Figura 17). Los valores más bajos fueron medidos a profundidades entre 9 y 15 m. Los valores de pH son ligeramente alcalinos, siendo más evidente en el epilimnio donde rebasan el valor establecido como máximo por los criterios ecológicos de calidad del agua para fuentes de abastecimiento de agua potable que establece pH entre 5 y 9 (DOF, 1989).

La turbiedad puede originarse por los sedimentos suspendidos o por la presencia de algas flotantes. La turbiedad reduce la penetración de la luz y disminuye la actividad fotosintética en el agua. La turbiedad en el agua de la presa tiende a disminuir al aumentar la profundidad hasta 14 m donde se encontró cero turbiedad (en cinco puntos sobrepuestos en la Figura 18), mientras que a mayores profundidades tiende a aumentar este parámetro por la cercanía con los sedimentos de fondo.

En la Figura 19 se presenta La conductividad eléctrica medida en el agua de la presa. Se observan valores entre 144.7 y 166.5 mS/cm con una tendencia a aumentar a mayor profundidad de muestreo.

La concentración de cloruros en el agua de superficie varía entre 4.4 y 7.6 mg/L (Figura 20). Se observa también una tendencia de aumentar la concentración de cloruros conforme aumenta la profundidad de muestreo. Estas concentraciones son muy inferiores al límite de 250 mg/L establecido para agua como fuente de abastecimiento de agua potable y para protección de la vida acuática (DOF, 1989).

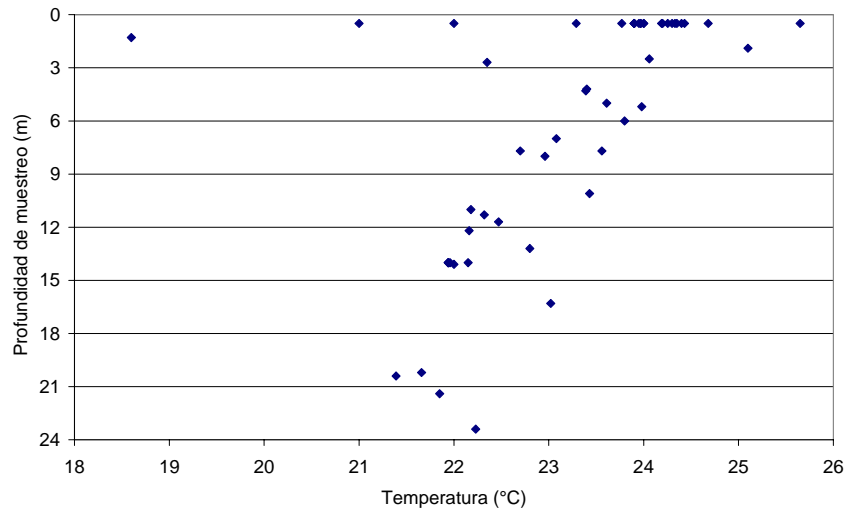
**Tabla 5. Resultados de parámetros medidos en agua (21 al 23 de julio, 2009)**

| Estación de muestreo | Profundidad de la estación (m) | Muestra | Profundidad de muestreo (m) | T (°C) | pH   | Turbiedad (NTU) | CE (µS/cm) | OD (mg/L) | Salinidad (g/L) | Cl (mg/L) | N-NH <sub>4</sub> (mg/L) | N-NO <sub>3</sub> (mg/L) | Eh (mV) | SDT (g/L) | Visibilidad Disco Secchi (m) | P <sub>T</sub> (mg/L) | N <sub>T</sub> (mg/L) | Fe (mg/L) | Mn (mg/L) |
|----------------------|--------------------------------|---------|-----------------------------|--------|------|-----------------|------------|-----------|-----------------|-----------|--------------------------|--------------------------|---------|-----------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| 1                    | 11.4                           | 1S      | 0.5                         | 23.90  | 9.60 | 16.7            | 152.8      | 7.81      | 0.07            | 6.70      | 3.00                     | 0.03                     | 294     | 0.0978    | 1.0                          | 0.01                  | 3.4                   | 0.15      | 0.09      |
|                      |                                | 1F      | 11.3                        | 22.32  | 7.96 | 4.8             | 160.7      | 0.19      | 0.07            | 5.35      | 0.13                     | 0.05                     | 48      | 0.1028    | -                            | 0.10                  | 2.8                   | 0.76      | 0.27      |
| 2                    | 4.6                            | 2S      | 0.5                         | 23.95  | 9.70 | 16.2            | 152.5      | 7.93      | 0.07            | 7.31      | 0.12                     | 0.05                     | 249     | 0.0976    | 0.8                          | 0.03                  | 1.4                   | 0.15      | 0.07      |
|                      |                                | 2F      | 4.3                         | 23.39  | 9.38 | 23.0            | 154.2      | 7.40      | 0.07            | 5.34      | 0.04                     | 0.06                     | 259     | 0.0984    | -                            | 0.03                  | 1.0                   | 0.22      | 0.09      |
| 3                    | 1.6                            | 3S      | 0.5                         | 21.00  | 8.87 | 34.3            | 163.9      | 7.80      | 0.07            | 6.82      | 0.03                     | 0.04                     | 275     | 0.1064    | 0.6                          | 0.05                  | 1.5                   | 0.25      | 0.09      |
|                      |                                | 3F      | 1.3                         | 18.60  | 8.54 | 38.5            | 164.7      | 7.66      | 0.08            | 7.18      | 0.03                     | 0.46                     | 269     | 0.1041    | -                            | 0.10                  | 2.3                   | 0.41      | 0.09      |
| 4                    | 0.6                            | 4S      | 0.5                         | 24.19  | 9.76 | 66.0            | 153.1      | 8.02      | 0.07            | 7.60      | 0.05                     | 0.05                     | 257     | 0.0973    | 0.6                          | 0.05                  | 1.1                   | 0.24      | 0.1       |
| 5                    | 10.4                           | 5S      | 0.5                         | 24.33  | 9.70 | 11.3            | 151.8      | 8.17      | 0.07            | 6.64      | 0.05                     | 0.05                     | 264     | 0.0971    | 1.1                          | 0.01                  | 1.7                   | 0.08      | 0.05      |
|                      |                                | 5M      | 6.0                         | 23.80  | 9.50 | 13.2            | 151.7      | 6.35      | 0.07            | 5.25      | 0.04                     | 0.14                     | 170     | 0.0972    | -                            |                       |                       |           |           |
|                      |                                | 5F      | 10.1                        | 23.43  | 8.10 | 8.1             | 152.8      | 3.75      | 0.07            | 5.09      | 0.03                     | 0.12                     | 153     | 0.0978    | -                            | 0.02                  | 1.7                   | 0.26      | 0.12      |
| 6                    | 21.7                           | 6S      | 0.5                         | 24.43  | 9.81 | 11.8            | 152.0      | 8.64      | 0.07            | 6.40      | 0.05                     | 0.11                     | 212     | 0.0974    | 1.1                          | 0.04                  | 1.1                   | 0.08      | 0.05      |
|                      |                                | 6M      | 14.0                        | 22.15  | 7.89 | 2.4             | 161.1      | 0.16      | 0.07            | 6.17      | 0.10                     | 0.21                     | -7      | 0.1029    | -                            |                       |                       |           |           |
|                      |                                | 6F      | 21.4                        | 21.85  | 8.95 | 7.2             | 165.7      | 2.94      | 0.07            | 7.54      | 0.07                     | 0.09                     | 44**    | 0.1062    | -                            | 0.06                  | 2.2                   | 0.74      | 0.27      |
| 7                    | 23.7                           | 7S      | 0.5                         | 24.05  | 9.76 | 13.7            | 152.1      | 7.84      | 0.07            | 5.27      | 0.05                     | 0.10                     | 182     | 0.0972    | 1.2                          | 0.04                  | 1.1                   | 0.10      | 0.05      |
|                      |                                | 7S*     | 0.5                         | 24.41  | 9.80 | 16.0            | 152.0      | 8.09      | 0.07            | 5.18      | 0.06                     | 0.39                     | 154     | 0.0976    | -                            | 0.04                  | 1.4                   | 0.11      | 0.05      |
|                      |                                | 7M1     | 2.5                         | 24.06  | 9.71 | 15.1            | 152.4      | 7.48      | 0.07            | 4.69      | 0.06                     | 0.58                     | 146     | 0.0974    | -                            |                       |                       |           |           |
|                      |                                | 7M2     | 5.0                         | 23.61  | 9.58 | 14.6            | 152.4      | 6.55      | 0.07            | 4.35      | 0.05                     | 0.97                     | 128     | 0.0975    | -                            |                       |                       |           |           |
|                      |                                | 7M3     | 8.0                         | 22.96  | 8.63 | 6.6             | 154.2      | 2.33      | 0.07            | 4.20      | 0.04                     | 0.83                     | 92      | 0.0988    | -                            |                       |                       |           |           |
|                      |                                | 7M4     | 11.0                        | 22.18  | 7.76 | 1.3             | 160.8      | 0.11      | 0.07            | 5.72      | 0.10                     | 0.36                     | -11     | 0.1031    | -                            |                       |                       |           |           |
|                      |                                | 7M5     | 14.0                        | 21.98  | 7.76 | 0.0             | 161.8      | 0.13      | 0.07            | 6.22      | 0.12                     | 0.31                     | -17     | 0.1035    | -                            | 0.05                  | 1.5                   | 0.40      | 0.24      |
|                      |                                | 7M5*    | 14.0                        | 21.94  | 8.02 | 0.0             | 162.3      | 0.23      | 0.07            | 7.24      | 0.13                     | 0.16                     | -48     | 0.1035    | -                            | 0.05                  | 1.4                   | 0.40      | 0.24      |
| 8                    | 8.0                            | 8S      | 0.5                         | 23.97  | 9.75 | 12.3            | 152.3      | 8.39      | 0.07            | 4.41      | 0.06                     | 0.13                     | 144     | 0.0974    | 1.0                          | 0.05                  | 1.3                   | 0.09      | 0.04      |
|                      |                                | 8F      | 7.7                         | 23.56  | 9.60 | 14.0            | 152.0      | 7.18      | 0.07            | 4.44      | 0.05                     | 0.12                     | 219     | 0.0971    | -                            | 0.04                  | 2.6                   | 0.10      | 0.05      |
| 9                    | 14.4                           | 9S      | 0.5                         | 24.35  | 9.78 | 13.4            | 151.9      | 8.36      | 0.07            | 4.39      | 0.06                     | 0.12                     | 175     | 0.0972    | 1.2                          | 0.01                  | 1.1                   | 0.10      | 0.06      |
|                      |                                | 9M      | 7.0                         | 23.08  | 8.78 | 3.3             | 153.8      | 2.62      | 0.07            | 4.44      | 0.05                     | 1.38                     | 106     | 0.0977    | -                            |                       |                       |           |           |
|                      |                                | 9F      | 14.1                        | 22.00  | 7.85 | 0.0             | 162.2      | 0.12      | 0.07            | 5.59      | 0.17                     | 0.21                     | 69      | 0.1036    | -                            | 0.02                  | 1.4                   | 0.58      | 0.23      |
| 10                   | 20.5                           | 10S     | 0.5                         | 24.30  | 9.77 | 12.8            | 152.0      | 8.49      | 0.07            | 4.69      | 0.06                     | 0.22                     | 155     | 0.0974    | 1.0                          | 0.02                  | 1.4                   | 0.07      | 0.06      |
|                      |                                | 10M     | 14.0                        | 21.94  | 8.06 | 0.0             | 162.0      | 0.13      | 0.07            | 5.99      | 0.16                     | 0.15                     | 0.35    | 0.1036    | -                            | 0.02                  | 1.7                   | 0.48      | 0.25      |

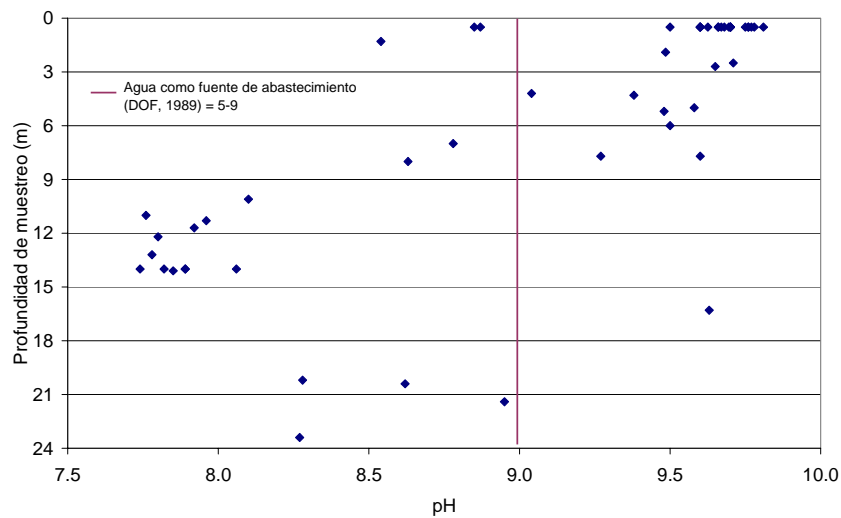
| Estación de muestreo | Profundidad de la estación (m) | Muestra | Profundidad de muestreo (m) | T (°C) | pH   | Turbiedad (NTU) | CE (µS/cm) | OD (mg/L) | Salinidad (g/L) | Cl (mg/L) | N-NH <sub>4</sub> (mg/L) | N-NO <sub>3</sub> (mg/L) | Eh (mV) | SDT (g/L) | Visibilidad Disco Secchi (m) | P <sub>T</sub> (mg/L) | N <sub>T</sub> (mg/L) | Fe (mg/L) | Mn (mg/L) |
|----------------------|--------------------------------|---------|-----------------------------|--------|------|-----------------|------------|-----------|-----------------|-----------|--------------------------|--------------------------|---------|-----------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|
|                      |                                | 10F     | 20.2                        | 21.66  | 8.28 | 22.5            | 164.3      | 0.70      | 0.07            | 7.19      | 0.08                     | 0.14                     | -0.27   | 0.1047    | -                            | 0.02                  | 1.7                   | 0.61      | 0.26      |
| 11                   | 20.7                           | 11S     | 0.5                         | 23.90  | 9.76 | 12.9            | 151.4      | 7.33      | 0.07            | 7.61      | 0.05                     | 0.06                     | 243     | 0.0971    | 1.1                          | 0.02                  | 1.0                   | 0.08      | 0.05      |
|                      |                                | 11M     | 14.0                        | 21.94  | 7.82 | 0.0             | 162.5      | 0.16      | 0.07            | 0.98      | 0.15                     | 0.09                     | -12     | 0.1041    | -                            | 0.03                  | 2.0                   | 0.44      | 0.2       |
|                      |                                | 11F     | 20.4                        | 21.39  | 8.62 | 0.0             | 165.2      | 1.71      | 0.07            | 8.31      | 0.06                     | 0.04                     | 93**    | 0.1064    | -                            | 0.05                  | 2.3                   | 0.57      | 0.33      |
|                      |                                | 12S     | 0.5                         | 24.00  | 9.66 | 10.2            | 151.0      | 7.17      | 0.07            | 5.70      | 0.05                     | 0.10                     | 192     | 0.0966    | 1.0                          | 0.03                  | 2.9                   | 0.09      | 0.05      |
| 12                   | 5.5                            | 12F     | 5.2                         | 23.98  | 9.48 | 11.9            | 151.0      | 6.80      | 0.07            | 4.57      | 0.06                     | 0.06                     | 198     | 0.0967    | -                            | 0.05                  | 2.7                   | 0.20      | 0.07      |
|                      |                                | 13S     | 0.5                         | 24.00  | 9.66 | 11.9            | 151.5      | 7.51      | 0.07            | 6.02      | 0.05                     | 0.09                     | 203     | 0.0970    | 1.0                          | 0.01                  | 2.4                   | 0.08      | 0.17      |
| 13                   | 17.0                           | 13M     | 14.0                        | 21.94  | 7.74 | 0.0             | 161.8      | 0.13      | 0.07            | 6.83      | 0.17                     | 0.12                     | -25     | 0.1040    | -                            | 0.03                  | 1.8                   | 0.09      | 0.2       |
|                      |                                | 13F     | 16.3                        | 23.02  | 9.63 | 8.0             | 154.7      | 6.84      | 0.07            | 6.79      | 0.04                     | 0.08                     | 208**   | 0.0986    | -                            | 0.03                  | 1.0                   | 0.11      | 0.13      |
|                      |                                | 14S     | 0.5                         | 23.90  | 9.70 | 9.8             | 151.4      | 7.39      | 0.07            | 5.73      | 0.06                     | 0.28                     | 154     | 0.0970    | 1.2                          | 0.03                  | 1.3                   | 0.10      | 0.23      |
| 14                   | 12.0                           | 14F     | 11.7                        | 22.47  | 7.92 | 3.5             | 157.9      | 0.13      | 0.07            | 5.20      | 0.09                     | 0.09                     | 59      | 0.1012    | -                            | 0.05                  | 1.7                   | 0.25      | 0.26      |
|                      |                                | 15S     | 0.5                         | 23.97  | 9.70 | 9.8             | 152.0      | 7.60      | 0.07            | 5.80      | 0.06                     | 0.17                     | 165     | 0.0975    | 1.2                          | 0.01                  | 1.3                   | 0.09      | 0.07      |
| 15                   | 13.5                           | 15F     | 13.2                        | 22.80  | 7.78 | 2.1             | 161.0      | 0.10      | 0.07            | 6.41      | 0.13                     | 0.15                     | -30     | 0.1026    | -                            | 0.03                  | 1.5                   | 0.27      | 0.26      |
|                      |                                | 16S     | 0.5                         | 23.90  | 9.67 | 12.0            | 151.9      | 7.48      | 0.07            | 5.10      | 0.06                     | 0.19                     | 153     | 0.0973    | 1.2                          | 0.03                  | 0.9                   | 0.09      | 0.19      |
| 16                   | 3.0                            | 16F     | 2.7                         | 22.35  | 9.65 | 20.0            | 150.7      | 7.87      | 0.07            | 4.33      | 0.06                     | 0.15                     | 168     | 0.0961    | -                            | 0.03                  | 1.8                   | 0.26      | 0.13      |
|                      |                                | 17S     | 0.5                         | 23.77  | 9.68 | 13.5            | 151.5      | 7.49      | 0.07            | 5.35      | 0.05                     | 0.15                     | 179     | 0.0970    | 1.0                          | 0.03                  | 2.1                   | 0.08      | 0.07      |
| 17                   | 1.0                            | 18S     | 0.5                         | 24.20  | 9.60 | 10.0            | 151.9      | 7.26      | 0.07            | 5.56      | 0.05                     | 0.12                     | 199     | 0.0971    | 1.2                          | 0.01                  | 1.5                   | 0.10      | 0.11      |
|                      |                                | 18F     | 4.2                         | 23.40  | 9.04 | 5.3             | 153.0      | 3.51      | 0.07            | 5.17      | 0.03                     | 0.11                     | 206     | 0.0978    | -                            | 0.02                  | 2.1                   | 0.24      | 0.1       |
| 18                   | 4.5                            | 19S     | 0.5                         | 22.00  | 9.50 | 50.0            | 144.7      | 7.76      | 0.05            | 4.50      | 0.04                     | 0.22                     | 213     | 0.0760    | 0.8                          | 0.15                  | 3.1                   | 1.69      | 0.24      |
|                      |                                | 20S     | 0.5                         | 24.30  | 9.70 | 12.0            | 151.9      | 7.55      | 0.07            | 6.40      | 0.06                     | 0.14                     | 212     | 0.0970    | 1.0                          | 0.02                  | 1.8                   | 0.10      | 0.11      |
| 20                   | 8.0                            | 20S*    | 0.5                         | 24.21  | 9.69 | 14.9            | 151.3      | 7.44      | 0.07            | 5.59      | 0.06                     | 0.25                     | 125     | 0.0970    | 1.0                          | 0.02                  | 1.3                   | 0.10      | 0.06      |
|                      |                                | 20F     | 7.7                         | 22.15  | 7.92 | 3.3             | 161.0      | 0.15      | 0.07            | 7.25      | 0.15                     | 0.10                     | -21     | 0.1031    | -                            | 0.02                  | 1.2                   | 0.10      | 0.11      |
|                      |                                | 20F*    | 7.7                         | 22.22  | 7.84 | 1.0             | 160.3      | 0.15      | 0.07            | 6.75      | 0.15                     | 0.15                     | -0.36   | 0.1023    | -                            | 0.02                  | 2.0                   | 0.48      | 0.31      |
|                      |                                | 21S     | 0.5                         | 24.40  | 9.60 | 21.0            | 150.0      | 7.80      | 0.06            | 5.07      | 0.06                     | 0.17                     | 178     | 0.0959    | 0.8                          | 0.03                  | 1.9                   | 0.15      | 0.06      |
| 21                   | 12.5                           | 21F     | 12.2                        | 22.16  | 7.80 | 2.1             | 161.0      | 0.12      | 0.07            | 6.30      | 0.17                     | 0.20                     | -37     | 0.1027    | -                            | 0.04                  | 2.1                   | 0.63      | 0.31      |
|                      |                                | 22S     | 0.5                         | 25.70  | 9.65 | 29.1            | 149.0      | 8.40      | 0.06            | 5.17      | 0.07                     | 0.37                     | 132     | 0.0954    | 0.7                          | 0.02                  | 1.5                   | 0.21      | 0.1       |
| 22                   | 2.2                            | 22S*    | 0.5                         | 25.60  | 9.60 | 33.4            | 149.0      | 8.21      | 0.06            | 5.00      | 0.06                     | 0.21                     | 161     | 0.0950    | 0.7                          | 0.01                  | 2.6                   | 0.25      | 0.08      |
|                      |                                | 22F     | 1.9                         | 24.90  | 9.48 | 34.7            | 148.0      | 8.38      | 0.06            | 4.00      | 0.07                     | 0.19                     | 158     | 0.0948    | -                            | 0.05                  | 3.7                   | 0.25      | 0.09      |
|                      |                                | 22F*    | 1.9                         | 25.30  | 9.49 | 36.0            | 148.1      | 8.49      | 0.06            | 4.10      | 0.07                     | 0.17                     | 166     | 0.0951    | -                            | 0.03                  | 4.1                   | 0.22      | 0.07      |
|                      |                                | 23S     | 0.5                         | 24.68  | 9.60 | 45.0            | 145.0      | 8.54      | 0.06            | 5.33      | 0.06                     | 0.20                     | 177     | 0.0934    | 0.4                          | 0.05                  | 3.6                   | 0.28      | 0.09      |

\* Duplicado

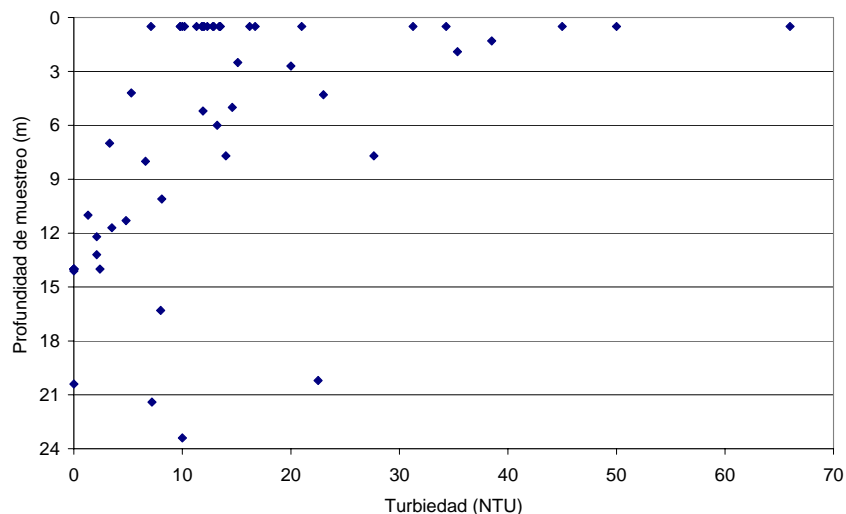
\*\* Para los niveles más profundos que 15 m se extrajo el agua para su medición, causando la oxidación de las muestras



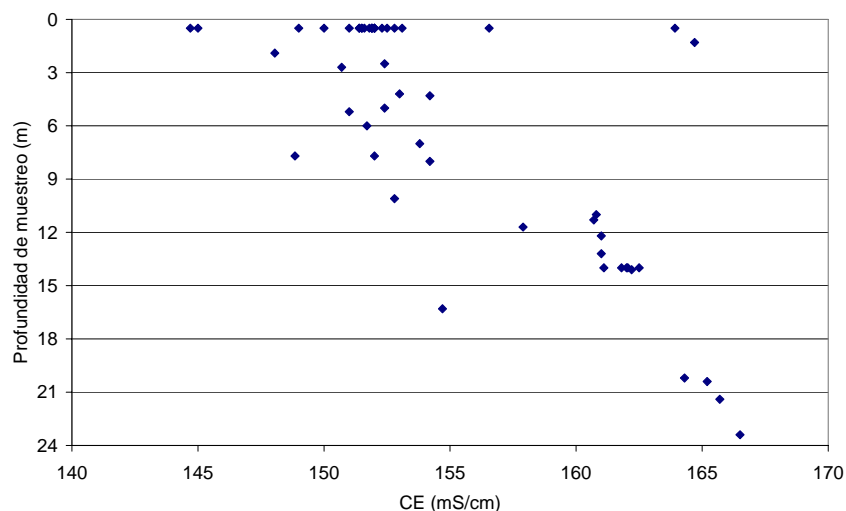
**Figura 16. Temperatura del agua con respecto a la profundidad de muestreo**



**Figura 17. pH del agua con respecto a la profundidad de muestreo**



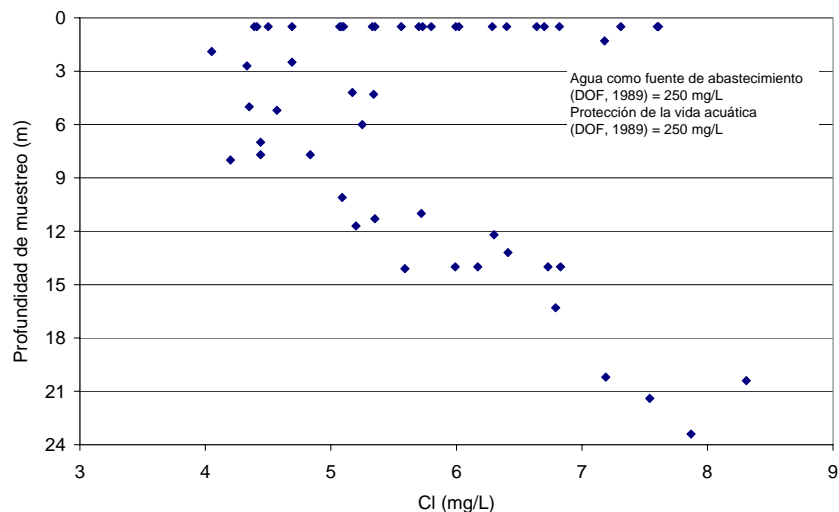
**Figura 18. Turbiedad del agua con respecto a la profundidad de muestreo**



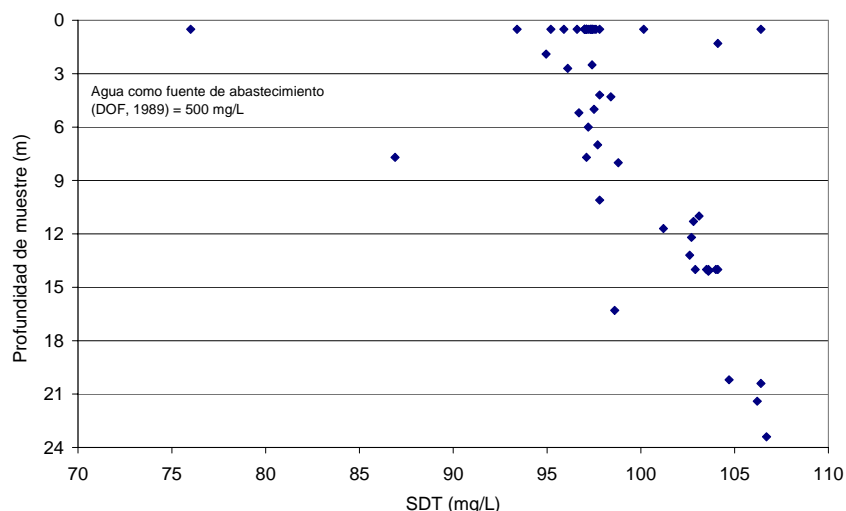
**Figura 19. Conductividad eléctrica del agua con respecto a la profundidad de muestreo**

Generalmente se observan mayores concentraciones de sólidos disueltos totales a mayor profundidad de muestreo (Figura 21). Este parámetro se encuentra muy por abajo del límite establecido de 500 mg/L en los criterios ecológicos para agua como fuente de abastecimiento (DOF, 1989).

La visibilidad del Disco Secchi es utilizada como uno de los parámetros que representa el estado trófico de cuerpos de agua. Una visibilidad del Disco Secchi menor a 0.9 m indica agua hipereutrófica (OECD, 1982), mientras que visibilidades entre 0.9 y 2.4 m indican agua eutrófica. Por ello, de acuerdo con la visibilidad del Disco Secchi, el agua de la presa Valle de Bravo (Figura 22) se puede clasificar entre eutrófica e hipereutrófica.



**Figura 20. Concentración de cloruros en agua respecto a la profundidad de muestreo**

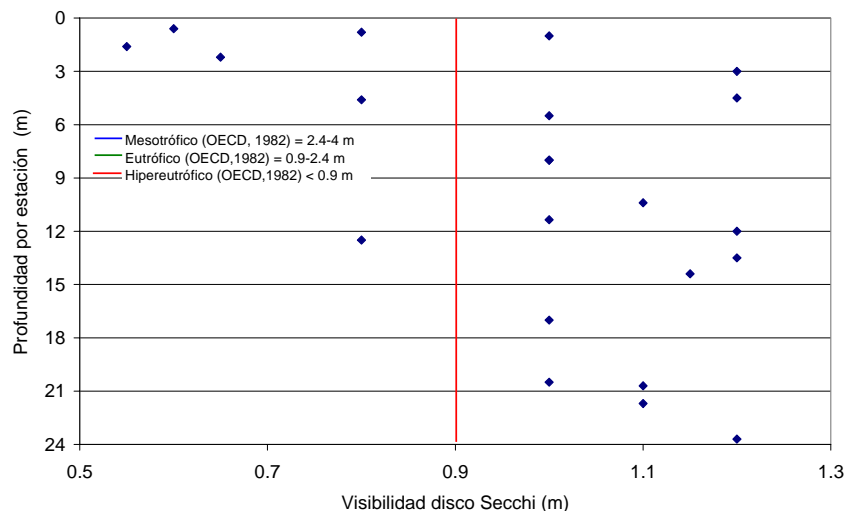


**Figura 21. Sólidos disueltos totales respecto a la profundidad de muestreo**

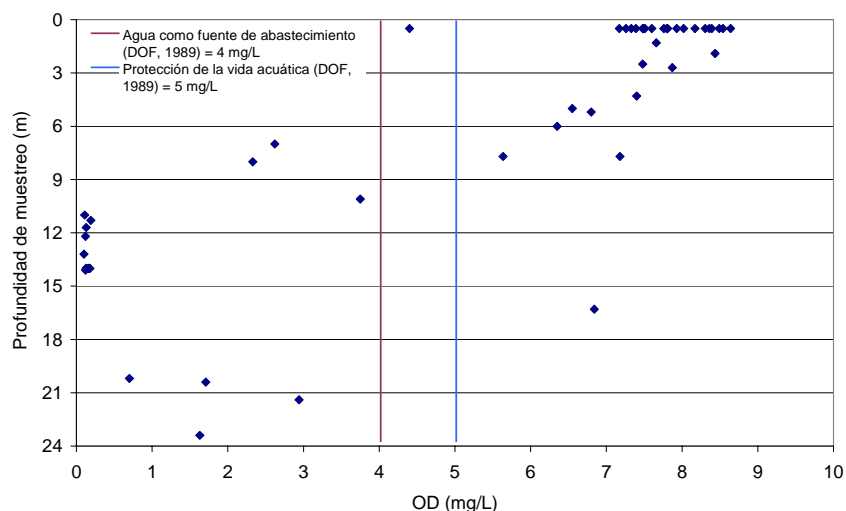
Se observa que en la mayoría de las estaciones someras el agua se clasifica como hipereutrófica mientras que el agua en las estaciones con profundidades mayores a 3 m, es mayormente eutrófica.

Existe una tendencia de disminuir la concentración de oxígeno disuelto conforme aumenta la profundidad de muestreo (Figura 23). En la superficie se observan concentraciones entre 4.4 y 8.6 mg/L, mientras que entre 11 y 14 m se encuentra una capa con concentraciones entre 0.1 y 0.2 mg/L. Se midieron concentraciones entre 0.7 y 6.8 mg/L en las muestras de agua extraídas de profundidades mayores a 15 m. Este aumento en la concentración de oxígeno disuelto se debe a la oxidación de estas

muestras al ser extraídas, ya que no se contaba con cable necesario para llegar a la profundidad decaada.



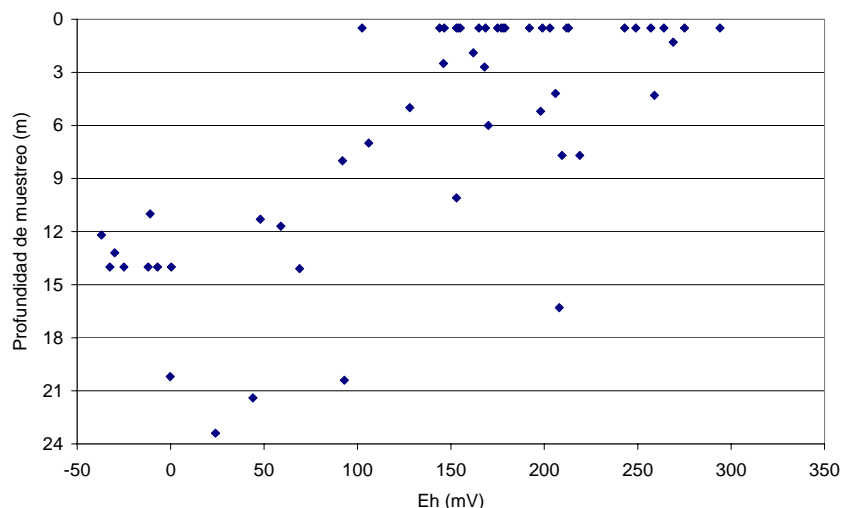
**Figura 22. Visibilidad de Disco Secchi en función de la profundidad de cada estación**



**Figura 23. Concentración de oxígeno disuelto respecto a la profundidad de muestreo**

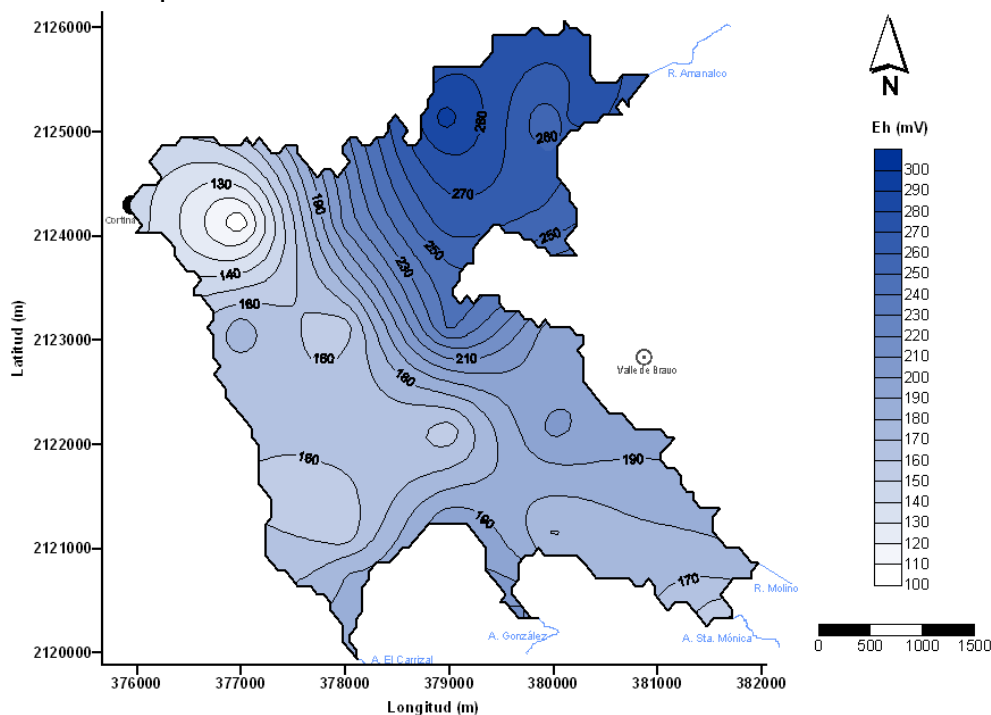
Las concentraciones de oxígeno disuelto obtenidas para la mayoría de las profundidades mayores a 11 m, no satisfacen el requerimiento mínimo de los criterios ecológicos de 5 mg/L para la protección de la vida acuática y de 4 mg/L para agua como fuente de abastecimiento (DOF, 1989).

Las condiciones redox en un embalse se rigen por el balance entre la descomposición de materia orgánica y el suministro de oxígeno por la circulación y mezcla vertical del agua. El potencial redox en la presa (Figura 24) tiende a disminuir conforme aumenta la profundidad de muestreo tal como se observó para oxígeno disuelto (Figura 23).



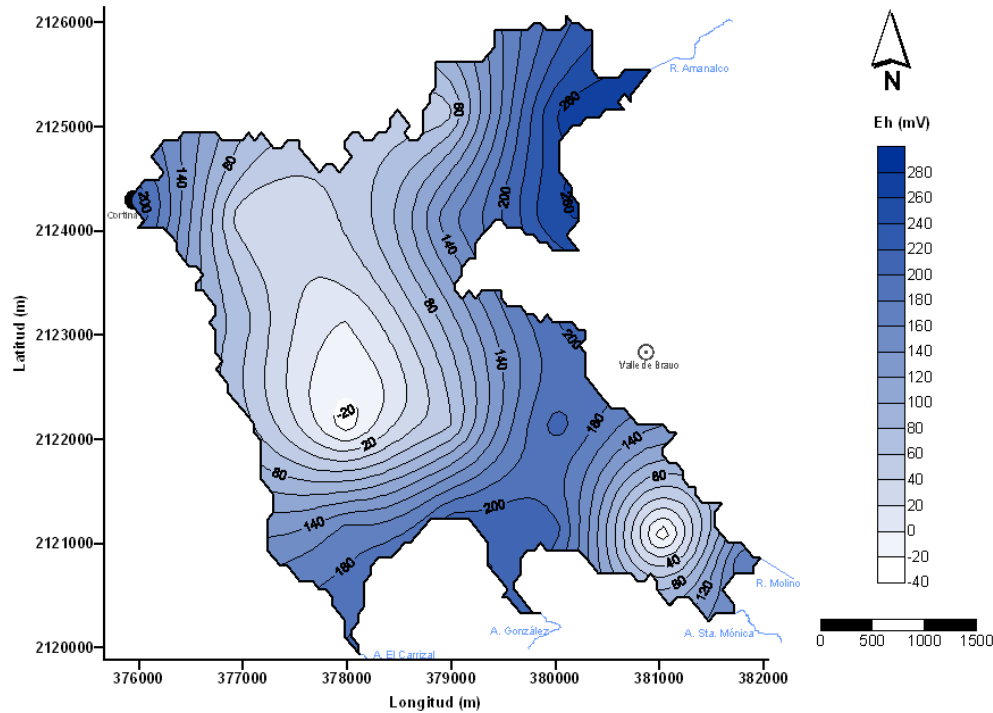
**Figura 24. Potencial redox del agua con respecto a la profundidad de muestreo**

En la Figura 25 se observa la influencia que tiene el río Amanalco sobre el potencial redox en el agua de superficie. Cabe mencionar que el muestreo en esta zona de la presa se realizó después de un fuerte evento de lluvias.



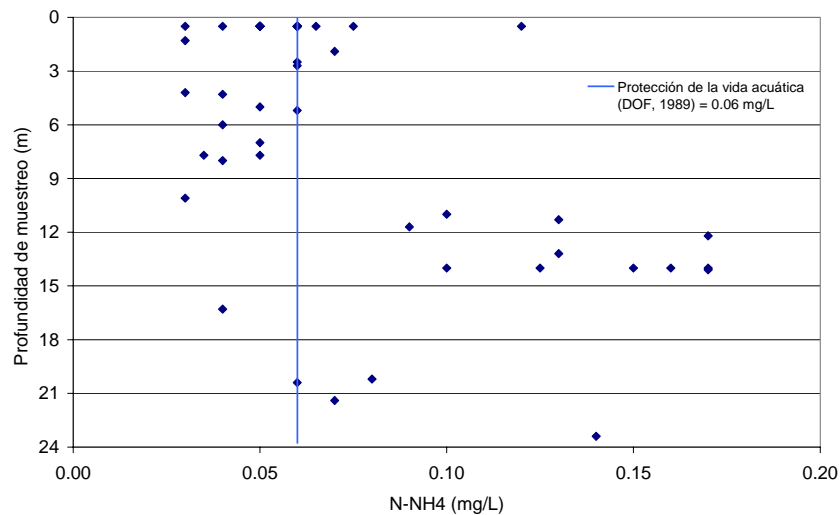
**Figura 25. Potencial redox en agua de superficie de la presa Valle de Bravo**

En agua de fondo se observa la influencia de todas las entradas de ríos y arroyos en el potencial redox (Figura 26). Se encontraron también potenciales redox arriba de 200 mV cerca de la cortina debido a la turbulencia en esta zona por la extracción de agua.



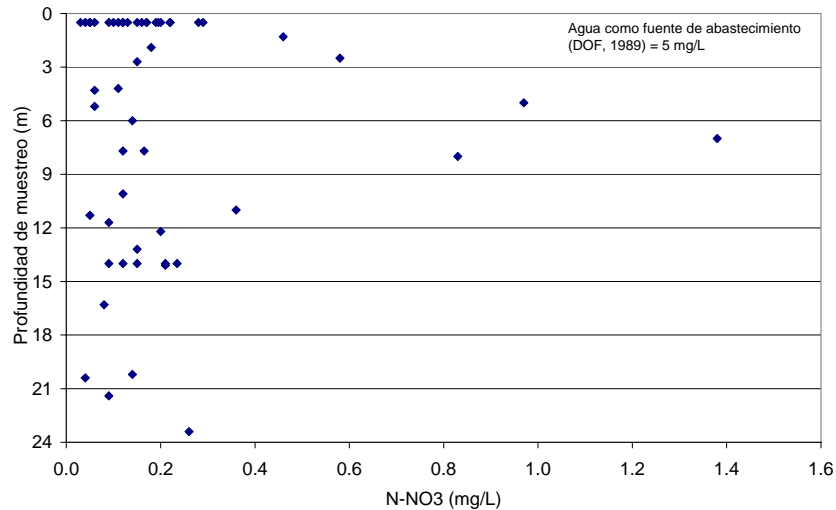
**Figura 26. Potencial redox en agua de fondo de la presa Valle de Bravo**

Se observa una capa de concentraciones elevadas de nitrógeno amoniacal entre 11 y 14 m de profundidad (Figura 27), coincidiendo con bajos niveles de oxígeno disuelto (Figura 23). Este parámetro rebasa en cuatro muestras someras el límite de 0.06 mg/L para la protección de la vida acuática (DOF, 1989). A profundidades mayores a 11 m, la mayoría de las muestras rebasan este límite.



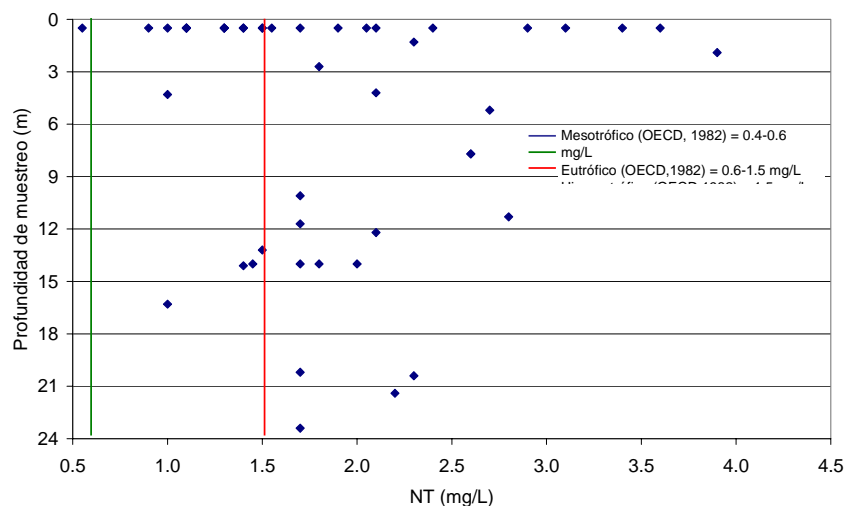
**Figura 27. Nitrógeno amoniacal en agua respecto a la profundidad de muestreo**

Las concentraciones de nitrógeno como nitratos varían entre 0.03 y 1.38 mg/L. Aunque sin mostrar una tendencia de variación con respecto a la profundidad (Figura 28). Estas concentraciones son inferiores al límite de 5 mg/L para agua como fuente de abastecimiento (DOF, 1989).



**Figura 28. Nitrógeno como nitratos en agua respecto a la profundidad de muestreo**

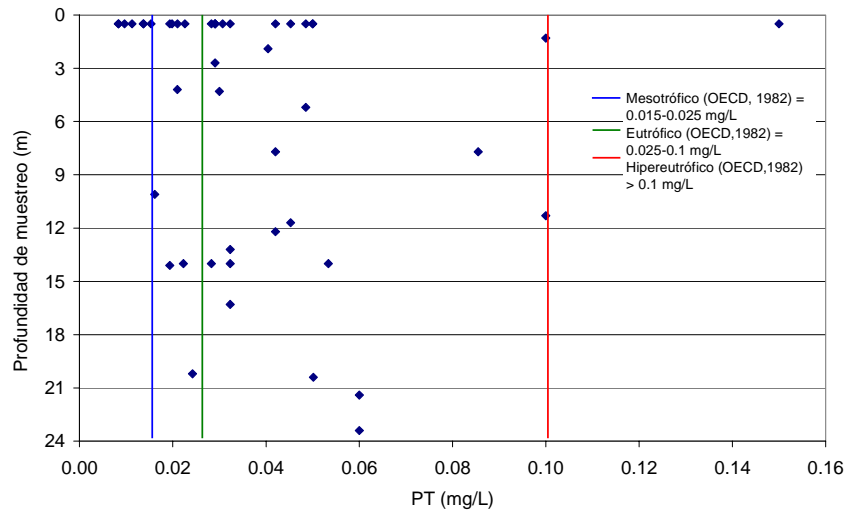
Las concentraciones de nitrógeno total varían entre 0.55 y 3.9 mg/L (Figura 29). Las concentraciones más altas se presentan en las entradas de los ríos. No existe una tendencia definida de este parámetro con respecto a la profundidad de muestreo. Según la clasificación trófica de la OECD (1982), el nitrógeno total clasifica al agua de la presa entre eutrófica e hipereutrófica.



**Figura 29. Nitrógeno total en agua respecto a la profundidad de muestreo**

El fósforo es un nutriente esencial para todos los seres vivos, ya que es el principal transportador de energía en el metabolismo y por ello es determinante para la productividad de cualquier sistema; sin embargo, cuando rebasa ciertos límites, se puede presentar la eutroficación de cuerpos de agua y el desarrollo de microorganismos tales como las cianobacterias (o algas verde-azules).

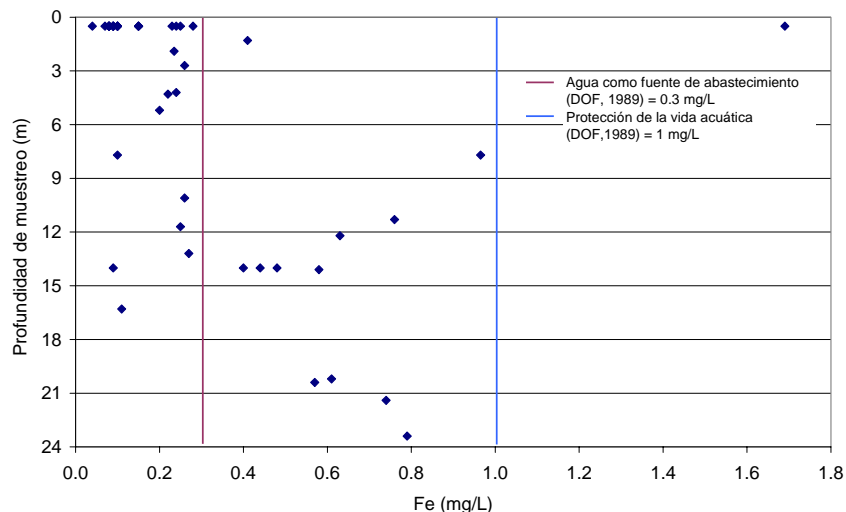
Las concentraciones de fósforo total en el agua de la presa varían entre 0.01 y 0.15 mg/L (Figura 30) con concentraciones más elevadas en las entradas del río Amanalco (estación 3), el arroyo González (estación 19) y el agua de fondo de la estación 1. Según la OECD (1982), concentraciones de fósforo total arriba de 0.025 mg/L clasifica al agua en la presa como eutrófica y arriba de 0.1 mg/L, como hipereutrófica. De acuerdo con estos límites, el agua de la presa se clasificaría entre mesotrófica e hipereutrófica.



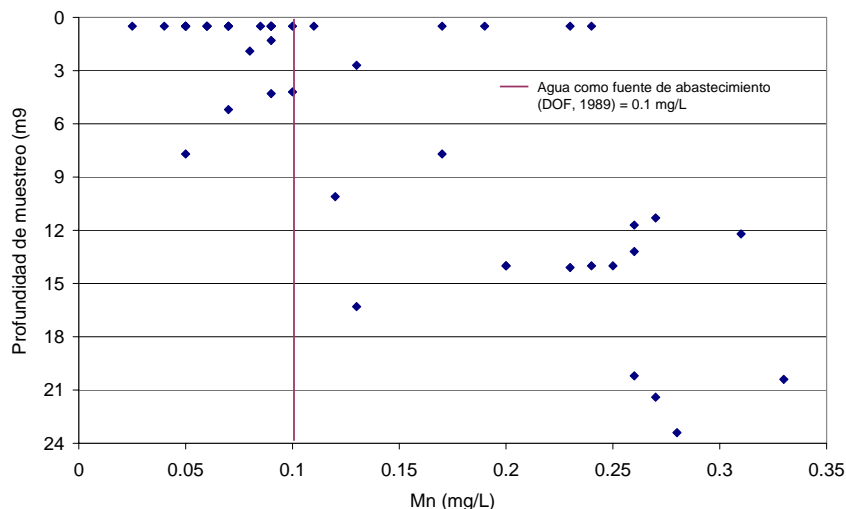
**Figura 30. Fósforo total en agua respecto a la profundidad de muestreo**

Generalmente se observan concentraciones de hierro inferiores al criterio ecológico de 0.3 mg/L para agua como fuente de abastecimiento (DOF, 1989) hasta 9 m de profundidad (Figura 31). A mayor profundidad es más frecuente que las concentraciones de hierro rebasan este límite. Para protección de la vida acuática las concentraciones de hierro no rebasan el criterio de 1 mg/L (DOF, 1989) a excepción de la entrada del arroyo González (Tabla 5).

Las concentraciones de manganeso en el agua de la presa (Figura 32), rebasan el límite de 0.1 mg/L de los criterios ecológicos para agua como fuente de abastecimiento (DOF, 1989) en la mayor parte de las estaciones. No se observa una relación de este parámetro con la profundidad de muestreo.



**Figura 31. Hierro en agua respecto a la profundidad de muestreo**



**Figura 32. Manganeso en agua respecto a la profundidad de muestreo**

### 2.5.2 Caracterización de sedimentos

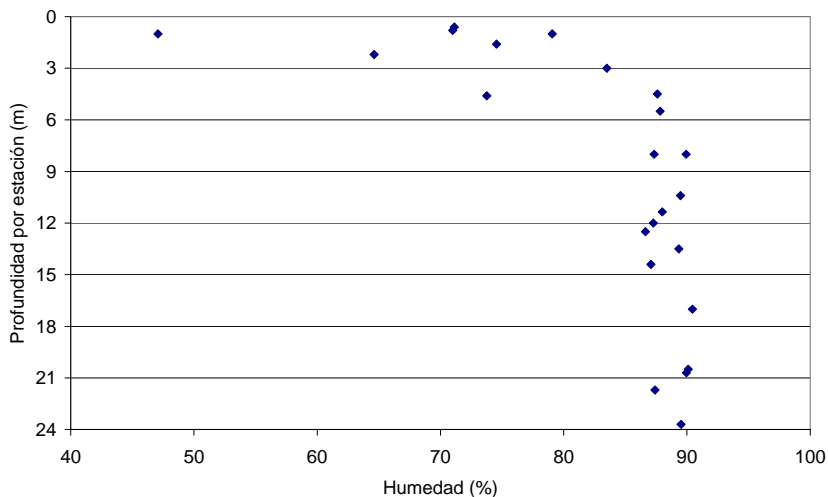
La caracterización de los sedimentos incluye la granulometría (contenidos de arenas, limos, arcillas), concentraciones de materia orgánica y de minerales adsorbentes en los sedimentos. Estos parámetros ayudarán a entender la carga interna y a definir acciones para su reducción.

En la Tabla 6 se presentan los resultados de caracterización de sedimentos. Se observan contenidos de humedad en los sedimentos superiores a 85% en estaciones con profundidades mayores a 5 m (Figura 33); en estaciones más someras con mayores contenidos de arena, la humedad es más baja.

**Tabla 6. Resultados de caracterización de sedimentos**

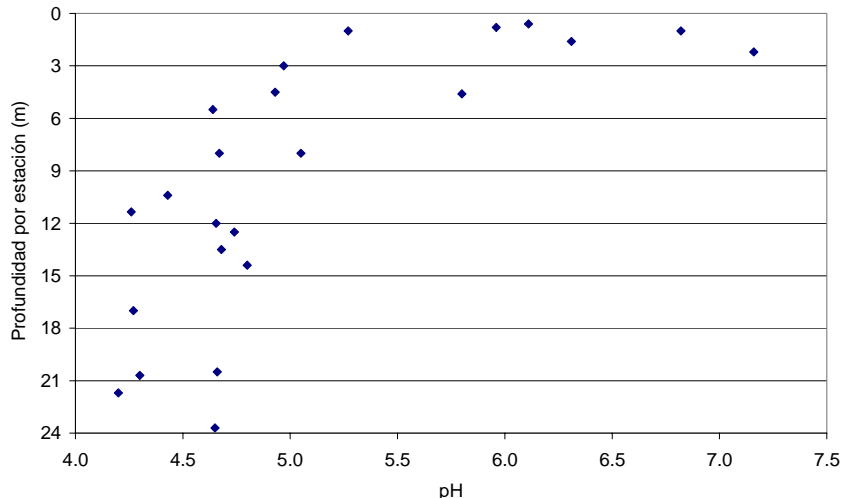
| Estación de muestreo | Latitud        | Longitud        | Profundidad (m) | Humedad (%) | MO (%) | pH   | Al (mg/kg) | Fe (mg/kg) | Mn (mg/kg) | NTK (mg/kg) | P <sub>T</sub> (mg/kg) | Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) |
|----------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------|--------|------|------------|------------|------------|-------------|------------------------|-----------|----------|-------------|
| 1                    | 19° 12' 57.88" | 100° 9' 5.87"   | 11.4            | 88.00       | 12.76  | 4.26 | 43656      | 36907      | 395        | 3136        | 1214                   | 0.06      | 59.94    | 40.00       |
| 2                    | 19° 12' 57.74" | 100° 8' 30.07"  | 4.6             | 73.76       | 13.76  | 5.80 | 54165      | 37441      | 565        | 3811        | 941                    | 0.15      | 84.65    | 15.20       |
| 3                    | 19° 12' 58.75" | 100° 8' 24.31"  | 1.6             | 74.55       | 25.98  | 6.31 | 60148      | 38182      | 1037       | 6977        | 780                    | 12.12     | 78.58    | 9.30        |
| 4                    | 19° 12' 26.24" | 100° 8' 30.50"  | 0.6             | 71.13       | 9.16   | 6.11 | 22074      | 30392      | 361        | 2303        | 624                    | 1.74      | 66.46    | 31.80       |
| 5                    | 19° 12' 25.00" | 100° 9' 5.08"   | 10.4            | 89.48       | 14.99  | 4.43 | 30152      | 32819      | 307        | 4019        | 1076                   | 0.06      | 60.54    | 39.40       |
| 6                    | 19° 12' 24.55" | 100° 9' 38.38"  | 21.7            | 87.41       | 12.72  | 4.20 | 31857      | 35511      | 516        | 4057        | 1016                   | 0.08      | 58.52    | 41.40       |
| 7*                   | 19° 12' 24.96" | 100° 10' 12.57" | 23.7            | 89.17       | 15.30  | 4.75 | 32094      | 36482      | 583        | 2620        | 1265                   | 0.04      | 60.56    | 39.40       |
| 8                    | 19° 12' 27.24" | 100° 10' 46.45" | 8.0             | 89.93       | 12.23  | 5.05 | 31329      | 26759      | 327        | 2843        | 1008                   | 1.08      | 65.22    | 33.70       |
| 9                    | 19° 11' 52.47" | 100° 10' 12.34" | 14.4            | 87.08       | 12.22  | 4.80 | 40392      | 37873      | 388        | 2484        | 651                    | 0.30      | 58.10    | 41.60       |
| 10                   | 19° 11' 52.69" | 100° 9' 37.82"  | 20.5            | 90.10       | 11.30  | 4.66 | 37885      | 35490      | 417        | 2867        | 1199                   | 0.04      | 64.56    | 35.40       |
| 11                   | 19° 11' 52.91" | 100° 9' 3.63"   | 20.7            | 89.95       | 14.30  | 4.30 | 25564      | 31171      | 483        | 3202        | 1376                   | 0.12      | 72.68    | 27.20       |
| 12                   | 19° 11' 51.87" | 100° 8' 29.10"  | 5.5             | 87.82       | 10.78  | 4.64 | 34988      | 45713      | 569        | 4114        | 1328                   | 2.00      | 73.40    | 24.60       |
| 13                   | 19° 11' 20.64" | 100° 8' 29.22"  | 17.0            | 90.44       | 11.66  | 4.27 | 41526      | 42096      | 635        | 4787        | 1360                   | 0.02      | 63.98    | 36.00       |
| 14*                  | 19° 11' 20.11" | 100° 9' 3.40"   | 12.0            | 88.41       | 11.48  | 4.70 | 44181      | 39584      | 389        | 2766        | 1038                   | 0.06      | 55.64    | 44.30       |
| 15                   | 19° 11' 19.89" | 100° 9' 37.92"  | 13.5            | 89.34       | 11.43  | 4.68 | 42640      | 43756      | 474        | 3926        | 1101                   | 0.08      | 58.12    | 41.80       |
| 16                   | 19° 10' 47.56" | 100° 9' 37.69"  | 3.0             | 83.51       | 13.07  | 4.97 | 54164      | 50338      | 564        | 2805        | 835                    | 0.40      | 75.30    | 24.30       |
| 17                   | 19° 10' 36.80" | 100° 9' 36.88"  | 1.0             | 79.06       | 12.53  | 5.27 | 36450      | 41971      | 818        | 2788        | 572                    | 0.78      | 73.22    | 26.00       |
| 18                   | 19° 10' 51.56" | 100° 9' 3.18"   | 4.5             | 87.60       | 10.38  | 4.93 | 29248      | 30408      | 344        | 3767        | 763                    | 3.40      | 70.60    | 26.00       |
| 19                   | 19° 10' 23.56" | 100° 8' 40.12"  | 0.8             | 70.99       | 23.25  | 5.96 | 64058      | 46647      | 678        | 3600        | 543                    | 12.18     | 77.12    | 10.70       |
| 20                   | 19° 10' 47.99" | 100° 8' 28.99"  | 8.0             | 87.34       | 13.61  | 4.67 | 44132      | 40519      | 330        | 2578        | 755                    | 0.26      | 67.14    | 32.60       |
| 21                   | 19° 10' 46.98" | 100° 7' 53.79"  | 12.5            | 86.63       | 16.69  | 4.74 | 55606      | 41001      | 423        | 3272        | 1605                   | 0.06      | 79.34    | 20.60       |
| 22                   | 19° 10' 21.50" | 100° 7' 29.64"  | 2.2             | 64.61       | 16.34  | 7.16 | 55292      | 45612      | 577        | 4988        | 467                    | 10.02     | 76.78    | 13.20       |
| 23                   | 19° 10' 37.67" | 100° 7' 27.98"  | 1.0             | 47.08       | 13.02  | 6.82 | 72832      | 39463      | 165        | 910         | 355                    | 67.64     | 28.51    | 3.85        |
| 24*                  | 19° 12' 24.96" | 100° 10' 12.57" | 23.7            | 89.88       | 13.03  | 4.55 | 43656      | 36907      | 395        | 4066        | 1209                   | 0.06      | 60.64    | 39.30       |
| 25*                  | 19° 11' 20.11" | 100° 9' 3.40"   | 12.0            | 86.12       | 13.84  | 4.61 | 54165      | 37441      | 565        | 2188        | 793                    | 0.06      | 53.84    | 46.10       |

\* Duplicado



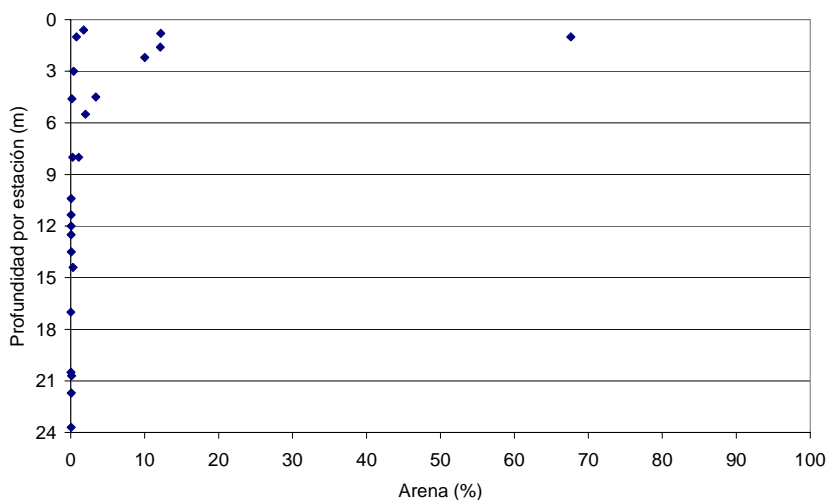
**Figura 33. Humedad de sedimentos en la presa Valle de Bravo**

Los valores de pH en los sedimentos se encuentran en el rango de 4.2 a 7.2 (Figura 34), presentando valores entre ligeramente ácidos y neutros. Los sedimentos obtenidos a profundidades menores a 3 m presentan pH menos ácidos (entre 5.0 y 7.2), mientras que las obtenidas a mayores profundidades, presentan pH más ácidos (entre 4.2 y 5.0).

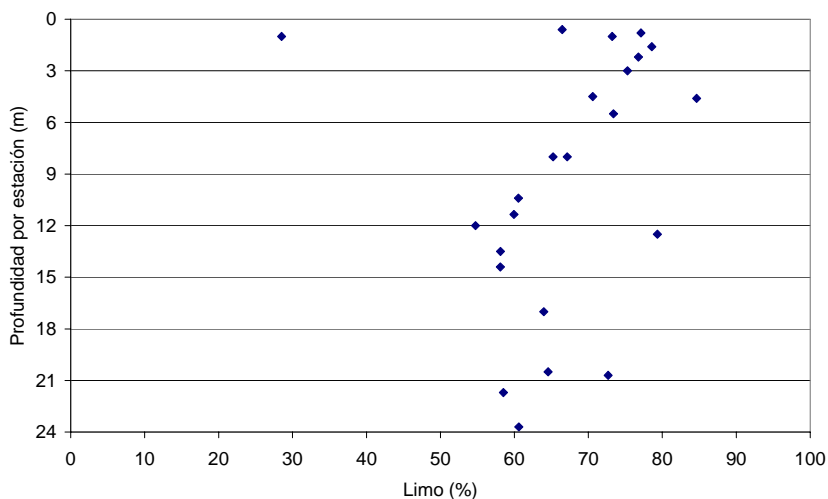


**Figura 34. pH en sedimentos de la presa Valle de Bravo**

De la Figura 35 a la Figura 37 se presentan las concentraciones de arenas, limos y arcillas en sedimentos de la presa. Se observa que el limo y las arcillas son los principales componentes de los sedimentos y existe una tendencia de aumentar el contenido de arcillas y disminuir el contenido de arenas con la profundidad de las estaciones de muestreo (Figura 37 y Figura 35).



**Figura 35. Contenido de arena en sedimentos**

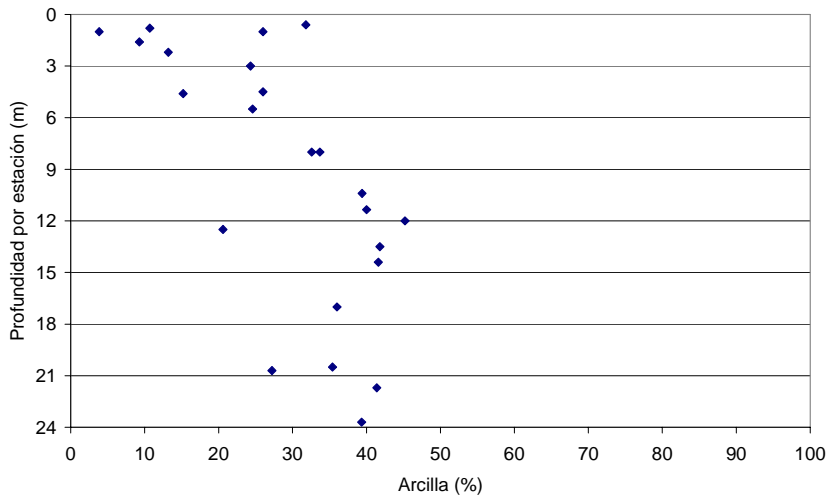


**Figura 36. Contenido de limo en sedimentos**

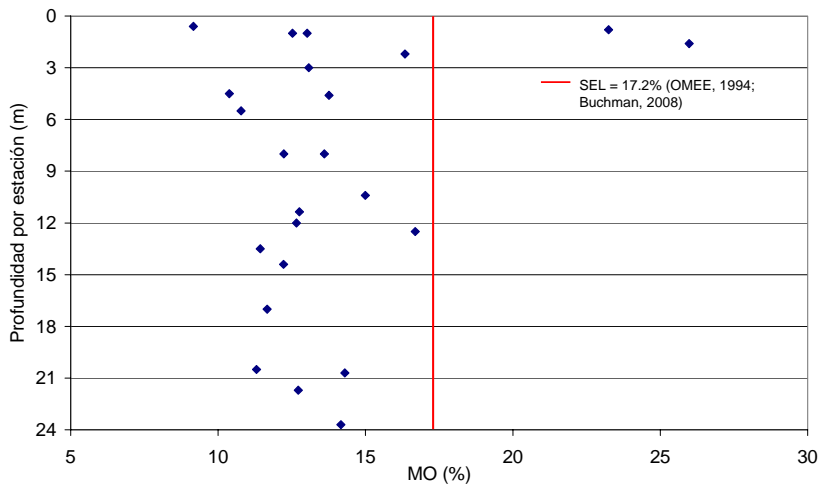
Los contenidos de materia orgánica en los sedimentos de la presa varían entre 9 y 17%, con excepción de las estaciones cercanas a las confluencias del río Amanalco (estación 3) y el arroyo González (estación 19), donde se observan concentraciones más elevadas de materia orgánica y por arriba del límite SEL (Figura 38 y Figura 39) (OMEE, 1994; Buchman, 2008).

El aluminio ocurre naturalmente en el ambiente, es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre, comprendiendo aproximadamente el 8.8% en peso. Se encuentra combinado generalmente con otros elementos tales como oxígeno, sílice y flúor. Estos compuestos se encuentran en suelos, rocas y arcillas (ATSDR, 2008).

Los resultados de aluminio en los sedimentos muestran que para los sedimentos someros (hasta 3 m de profundidad) las concentraciones presentan un rango más amplio (20 000 y 80 000 mg/kg), que en sedimentos más profundos, donde el aluminio se presenta entre 25 000 y 60 000 mg/kg (Figura 40). Se observa que los sedimentos con mayores concentraciones de aluminio se encuentran en las desembocaduras de los ríos Amanalco y Molino y el arroyo González (Figura 41).



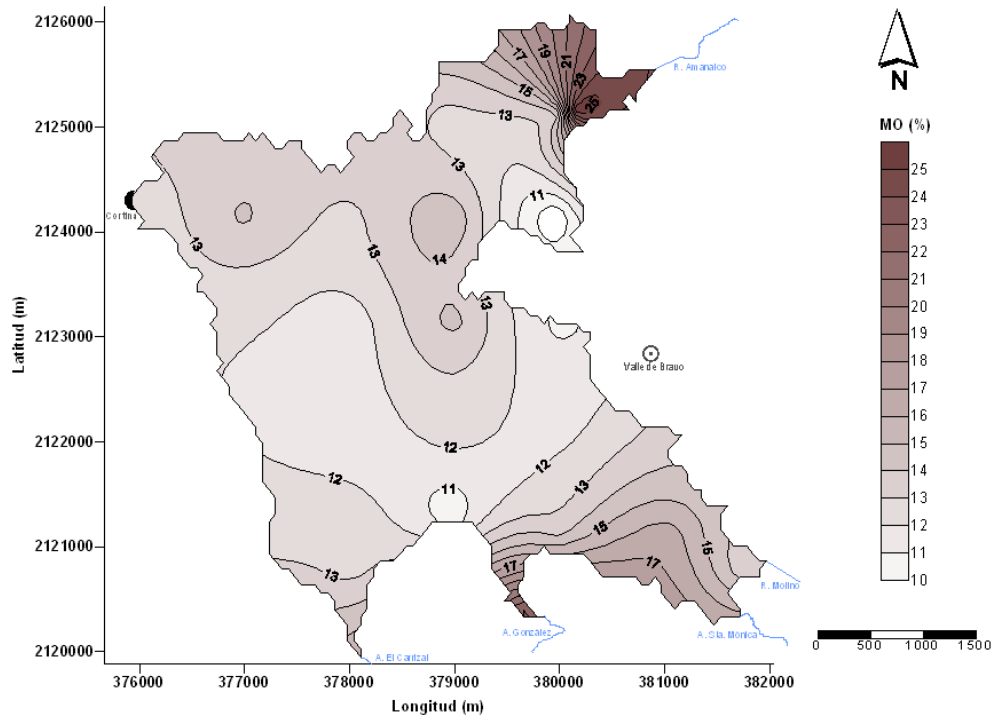
**Figura 37. Contenido de arcilla en sedimentos**



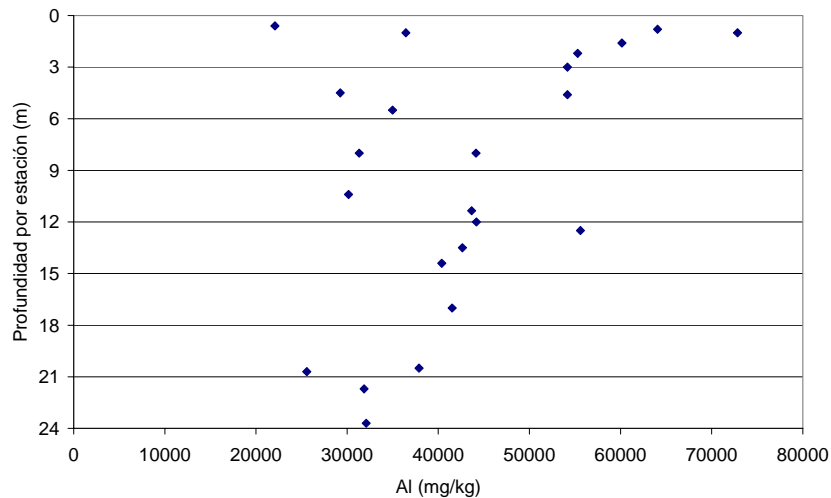
**Figura 38. Materia orgánica en sedimentos**

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre (5% de la corteza terrestre). Se encuentra en forma natural combinado con oxígeno, sílice y azufre (Shuman, 2005). El fósforo tiende a adsorberse en compuestos de hierro (Ruban *et al.*, 1999). En la Figura 42 se observan las concentraciones de hierro medidos en

sedimentos de la presa. Algunas concentraciones de hierro rebasan el SEL en las estaciones ubicadas en zonas someras y en profundidades medias del embalse.



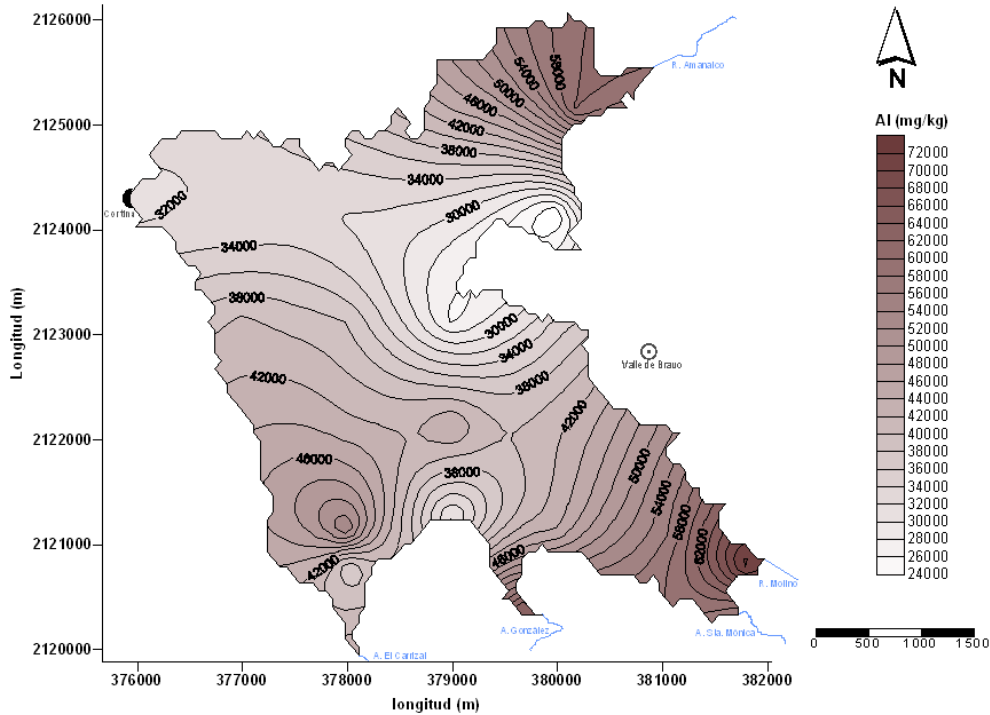
**Figura 39. Materia orgánica en sedimentos de la presa Valle de Bravo**



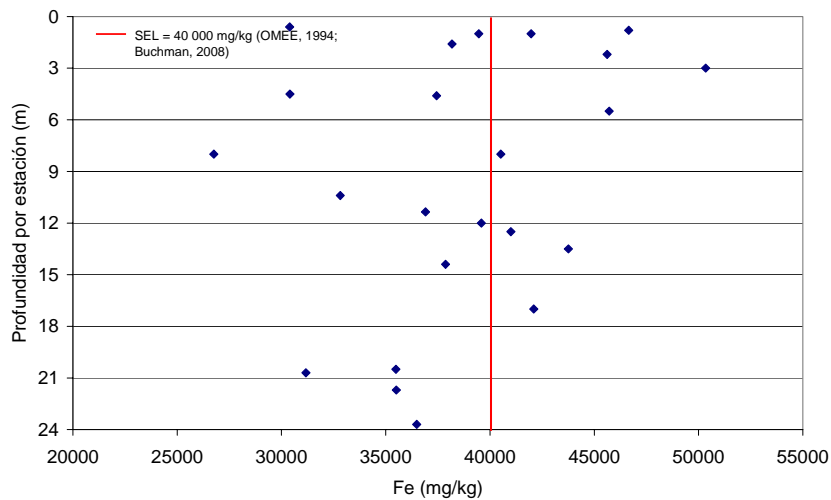
**Figura 40. Aluminio en sedimentos como función de la profundidad por estación**

Los sedimentos con mayores concentraciones de hierro son la porción sur de la presa Valle de Bravo y las confluencias de los arroyos Sta. Mónica y González así como la franja colindante con la cabecera municipal de Valle de Bravo (Figura 43). Las

concentraciones de hierro en estas zonas generalmente se encuentran por arriba del SEL (40 000 mg/kg) de la OMEE (1994) y Buchman (2008).



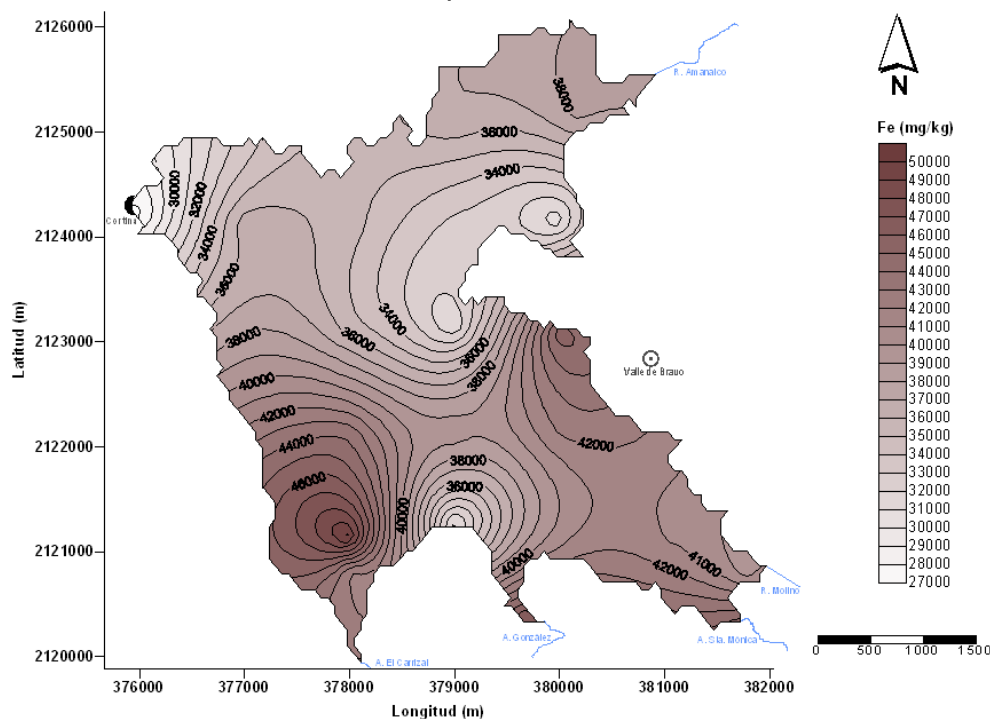
**Figura 41. Aluminio en sedimentos de la presa Valle de Bravo**



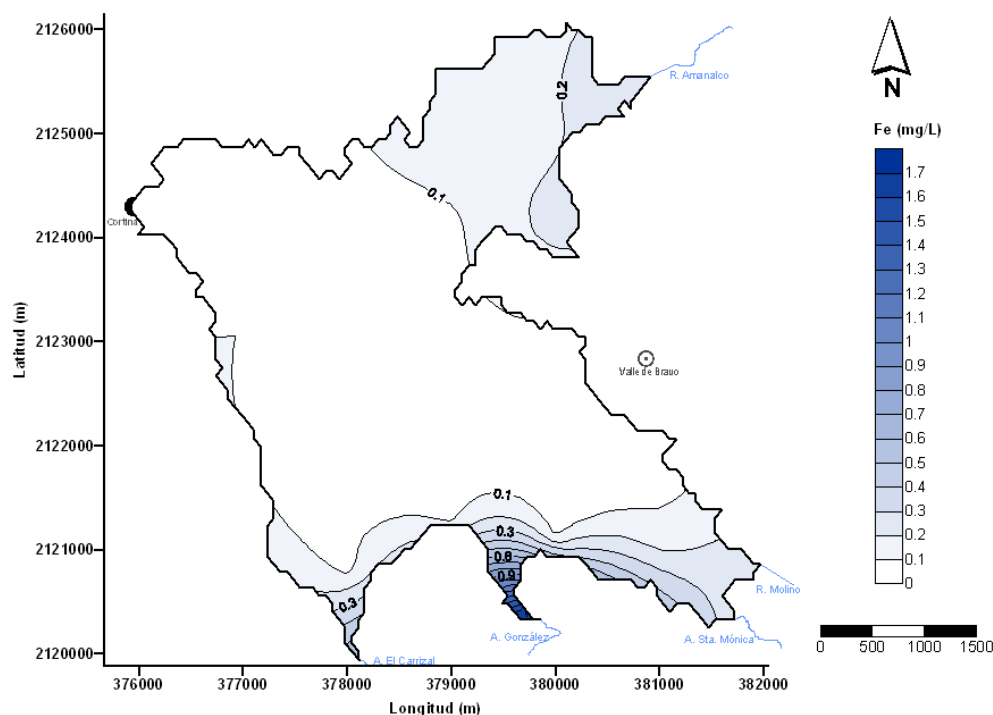
**Figura 42. Hierro en sedimentos de la presa Valle de Bravo como función de la profundidad por estación**

En la Figura 43 no se reconocen las influencias que tienen los ríos en los aportes de hierro en la presa. Sin embargo, al analizar los resultados de este parámetro para agua de superficie (Figura 44) y agua de fondo (Figura 45), se observa que los arroyos

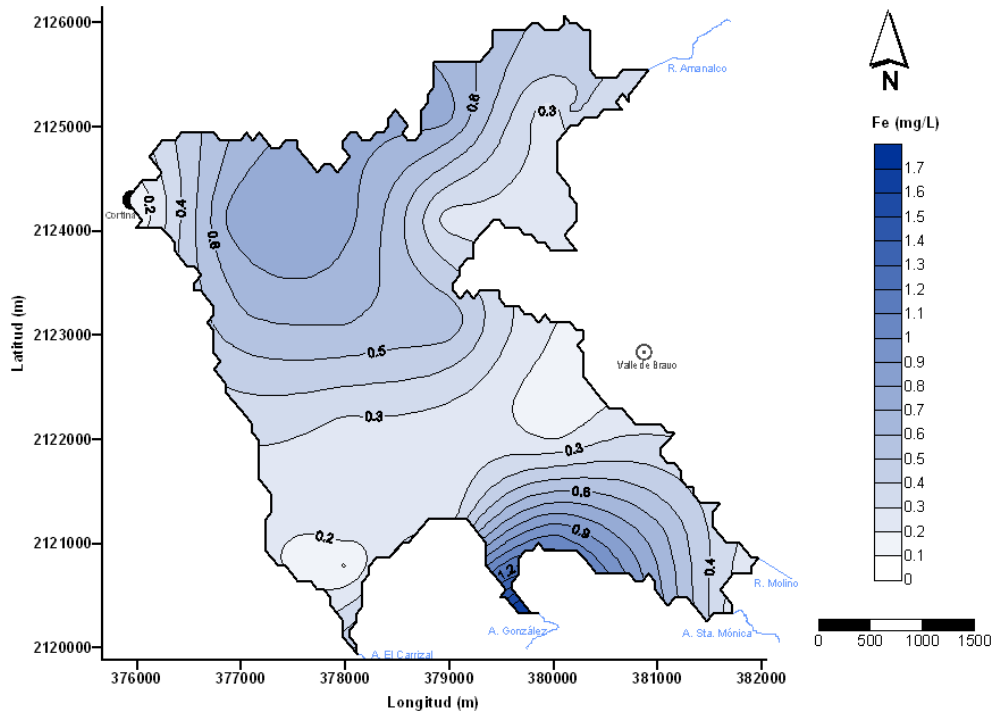
González, El Carrizal y río Amanalco, aportan concentraciones de este parámetro mayores a las encontradas dentro de la presa.



**Figura 43. Hierro en sedimentos de la presa Valle de Bravo**



**Figura 44. Hierro en agua de superficie de la presa Valle de Bravo**

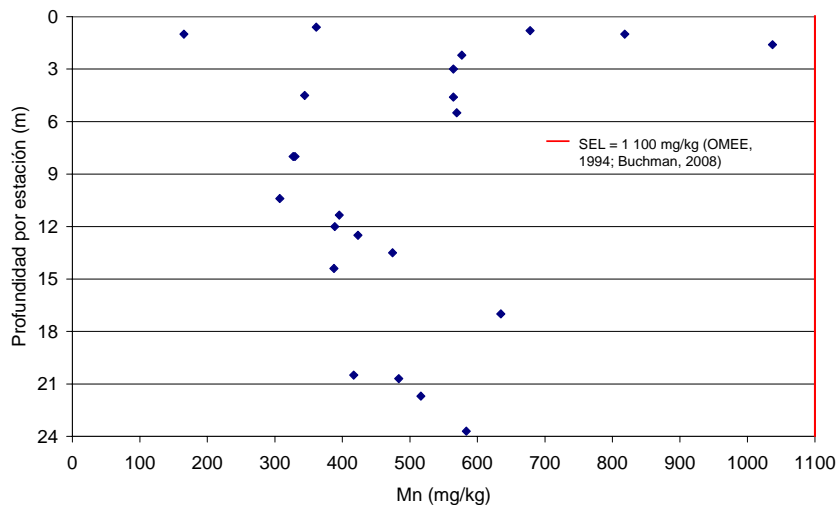


**Figura 45. Hierro en agua de fondo de la presa Valle de Bravo**

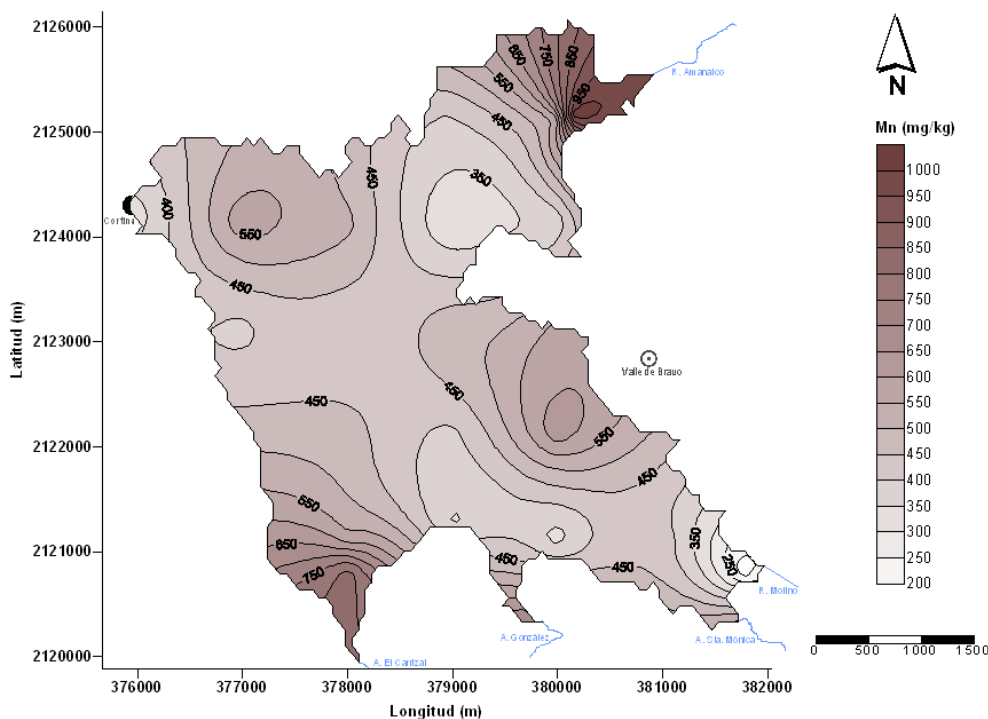
El manganeso se presenta en el ambiente acuático principalmente en dos formas, Mn (II) y Mn (IV). La transformación entre estas dos formas ocurre por reacciones de oxidación y reducción, que pueden ser mediadas tanto biótica o abióticamente. La química ambiental de manganeso está gobernada principalmente por pH y las condiciones redox; el Mn (II) se encuentra a pH y potencial redox bajos (WHO, 2004).

Los principales factores que controlan el ciclo del manganeso en sedimentos son los contenidos de oxígeno y carbono orgánico en el agua y el grado de oxidación de los sedimentos (WHO, 2004). Las concentraciones de manganeso en los sedimentos de la presa Valle de Bravo se encuentran en un rango de 150 a 1000 mg/kg (Figura 46) que no exceden el valor SEL de 1 100 mg/kg (OMEE, 1994; Buchman, 2008).

Los sedimentos con las mayores concentraciones de manganeso son los ubicados cerca de las entradas del río Amanalco y de los arroyos El Carrizal y González (Figura 47). También las isolíneas para manganeso en agua sugieren que arroyo González aporta concentraciones de manganeso a la presa (Figura 48 y Figura 49), aunque para agua de fondo, las concentraciones más elevadas de manganeso se encuentran en las zonas más profundas de la presa, relacionadas con los bajos potenciales redox en estas zonas (Figura 26).



**Figura 46. Manganeso en sedimentos como función de la profundidad por estación**



**Figura 47. Manganeso en sedimentos de la presa Valle de Bravo**

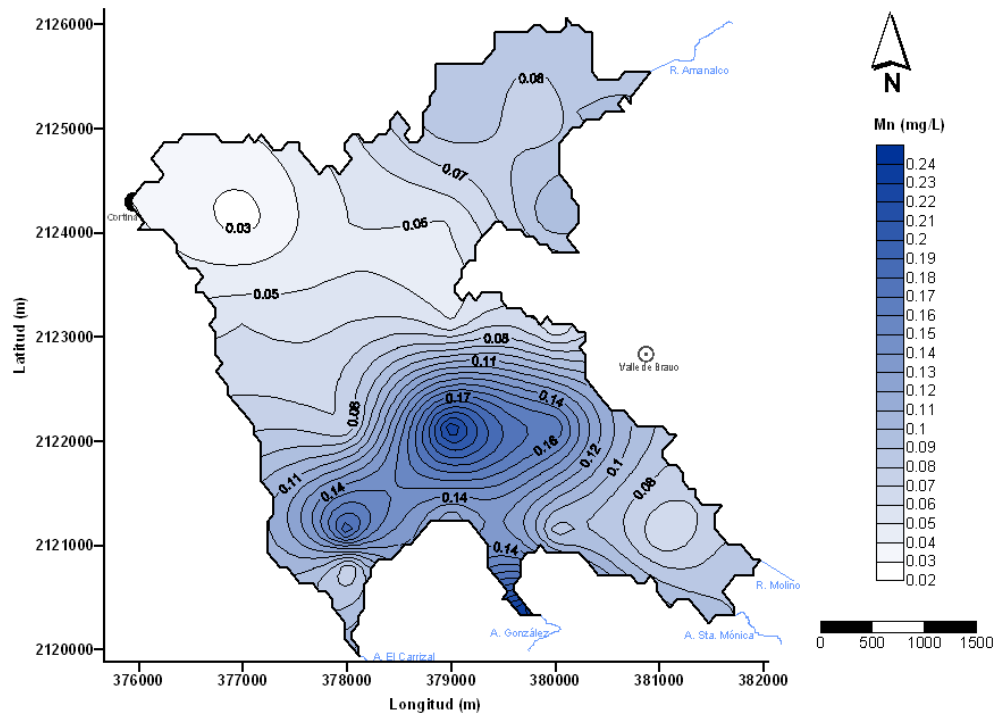


Figura 48. Manganeso en agua de superficie de la presa Valle de Bravo

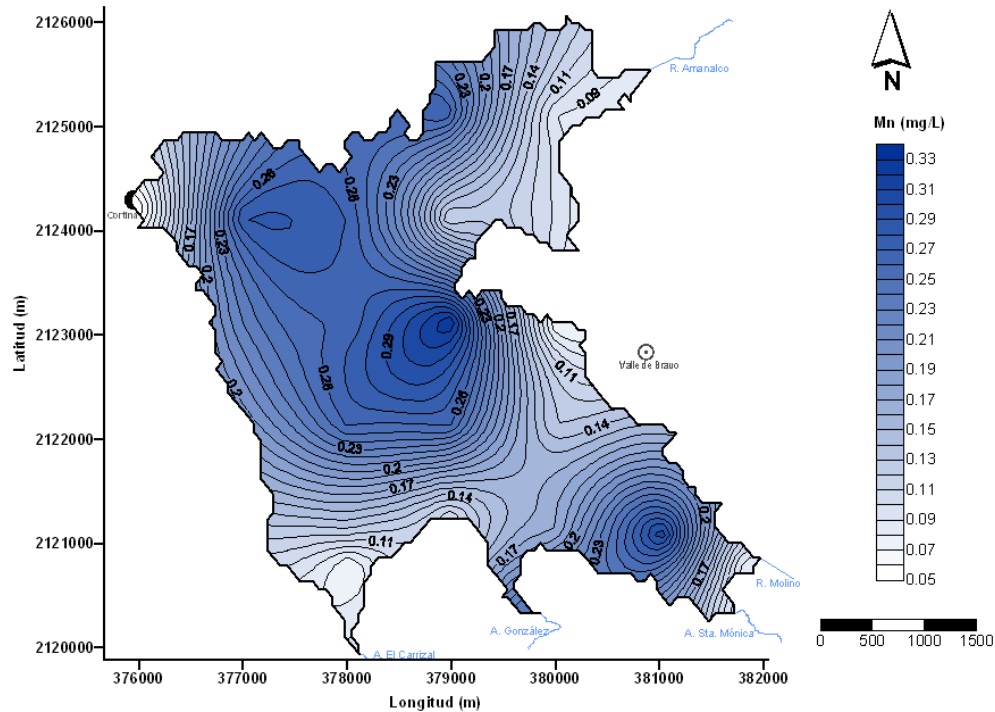
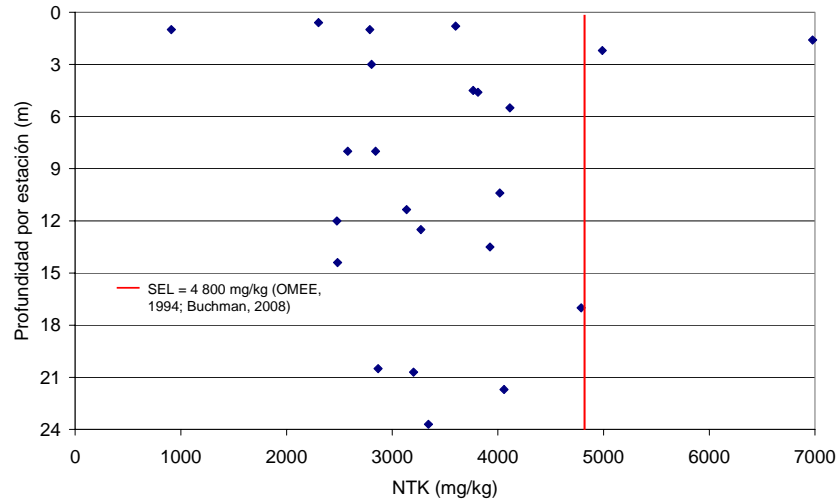
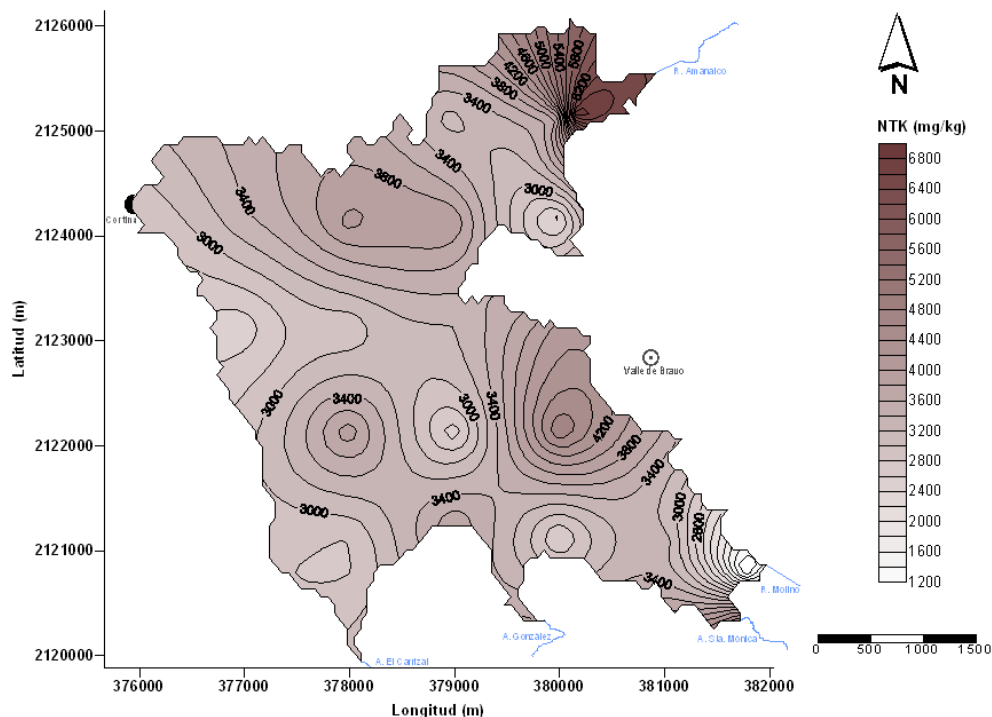


Figura 49. Manganeso en agua de fondo de la presa Valle de Bravo

Las concentraciones de nitrógeno total Kjeldahl en sedimentos se encuentran entre < 1 000 y 7 000 mg/kg (Figura 50). Se observa una mayor dispersión de los valores en estaciones someras. En las zonas con las mayores concentraciones de este parámetro son la confluencia con el río Amanalco, la sección colindante con la cabecera municipal de Valle de Bravo y la confluencia con el arroyo Sta. Mónica (Figura 51). En estas zonas se presentan valores de nitrógeno total Kjeldahl mayores a 4 800 mg/kg establecidos como valor SEL (OMEE, 1994; Buchman, 2008).

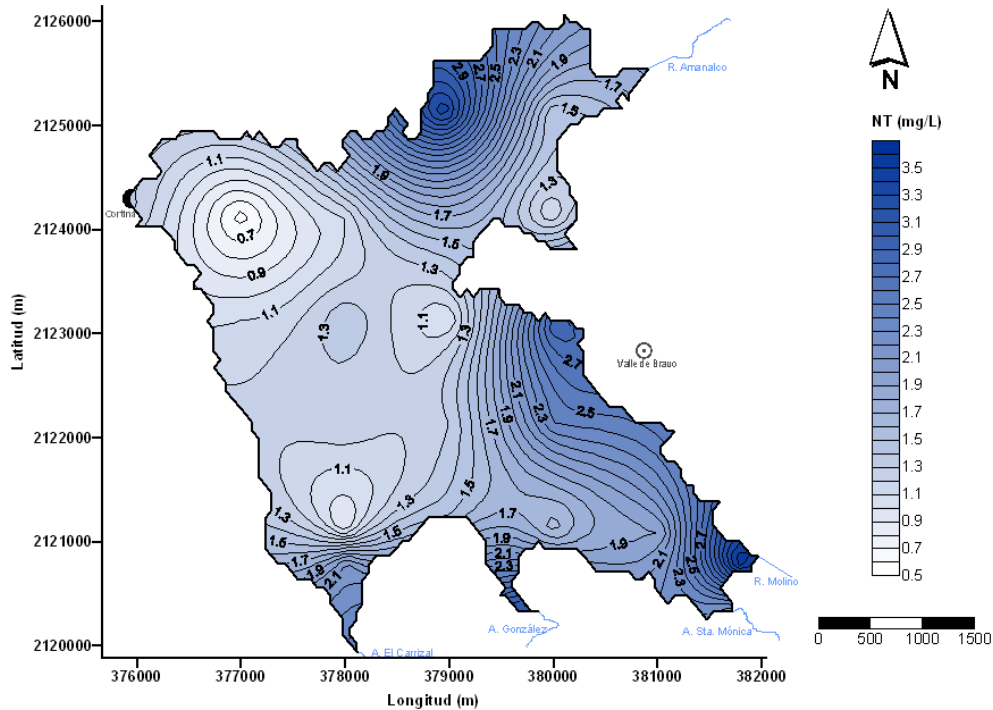


**Figura 50. Nitrógeno total Kjeldahl en sedimentos en función de la profundidad**

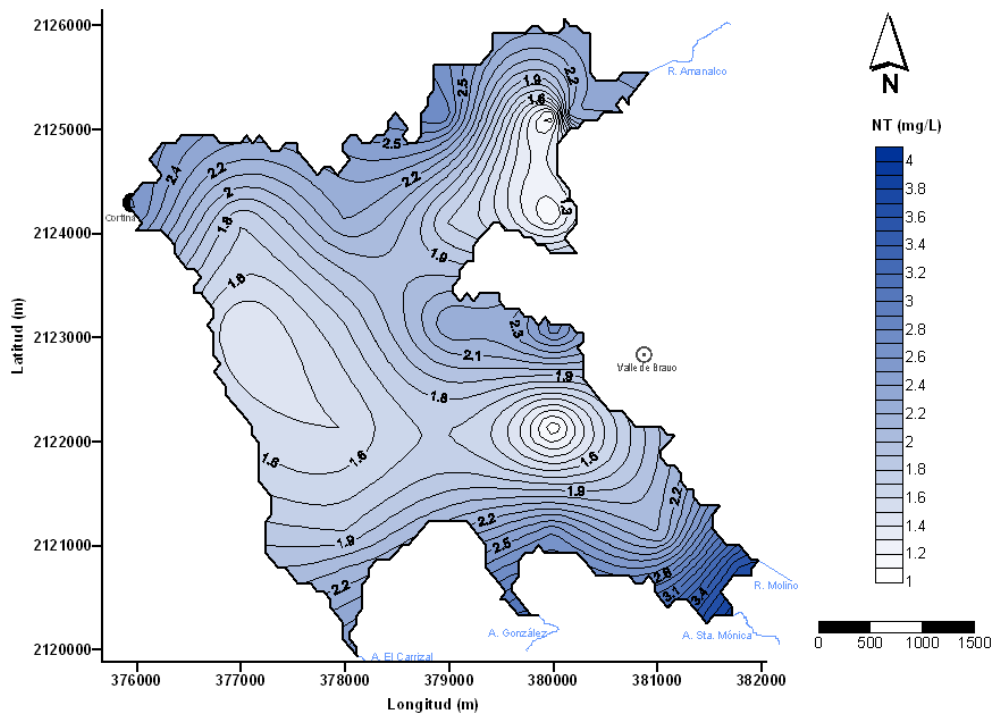


**Figura 51. Nitrógeno total Kjeldahl en sedimentos de la presa Valle de Bravo**

La Figura 52 y Figura 53 sugieren, que las entradas de arroyos y ríos aportan concentraciones de nitrógeno mayores a las encontradas dentro de la presa.



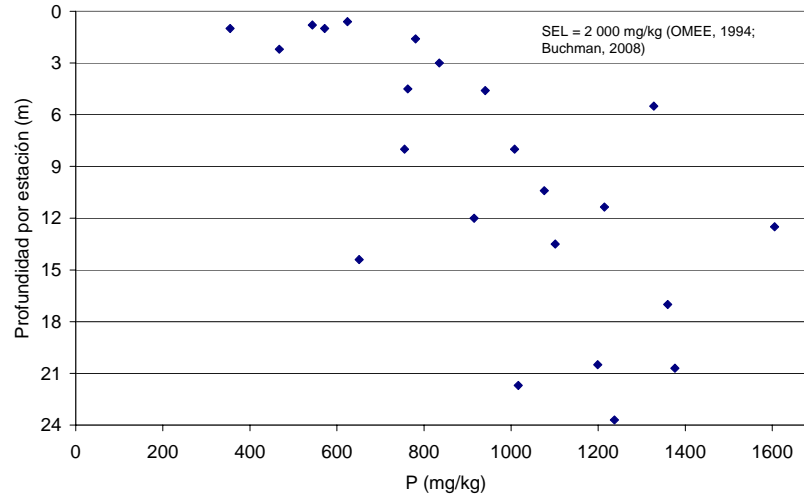
**Figura 52. Nitrógeno total en agua de superficie de la presa Valle de Bravo**



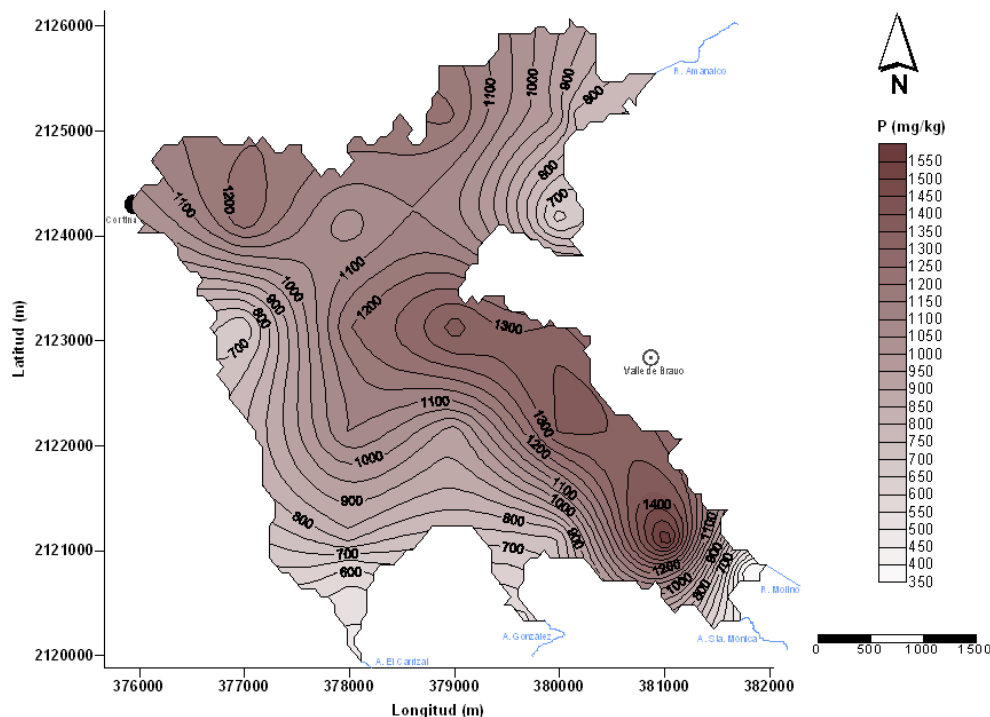
**Figura 53. Nitrógeno total en agua de fondo de la presa Valle de Bravo**

La concentración de fósforo total en sedimentos se encuentra en un rango de 300 a 1 600 mg/kg (Figura 54); se puede observar que dicha concentración incrementa a mayores profundidades de las estaciones de muestreo. Las concentraciones de este nutriente no exceden al límite SEL de 2 000 mg/kg (OMEE, 1994; Buchman, 2008).

Se observan las concentraciones más altas de fósforo en el eje central de la presa (región más profunda) y las más bajas en zonas someras (Figura 55).

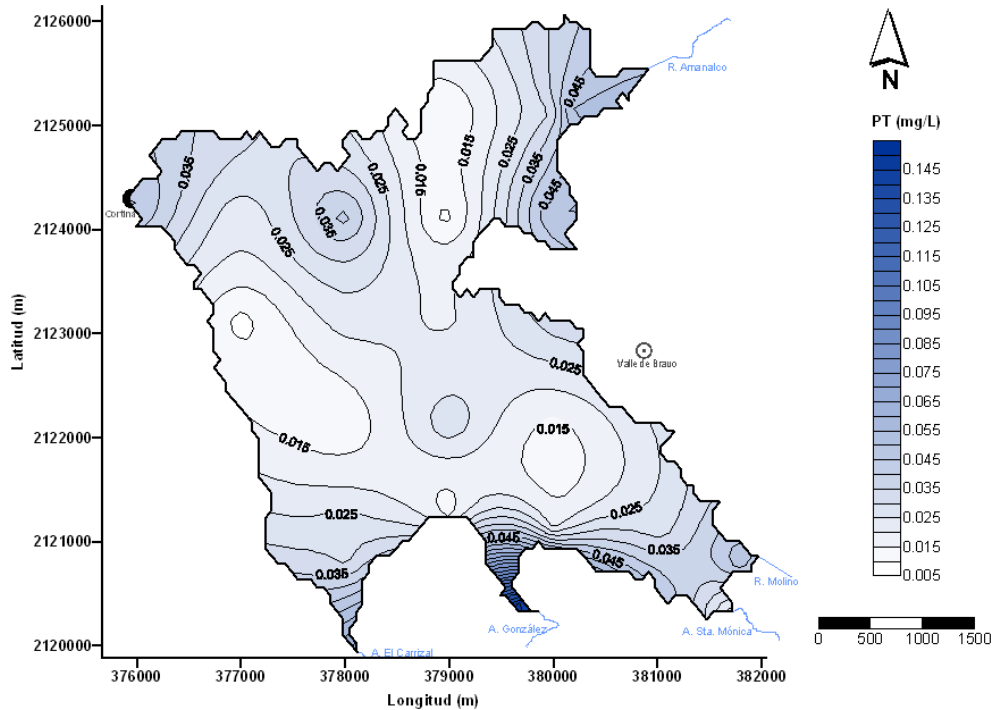


**Figura 54. Fósforo total en sedimentos en función de la profundidad**

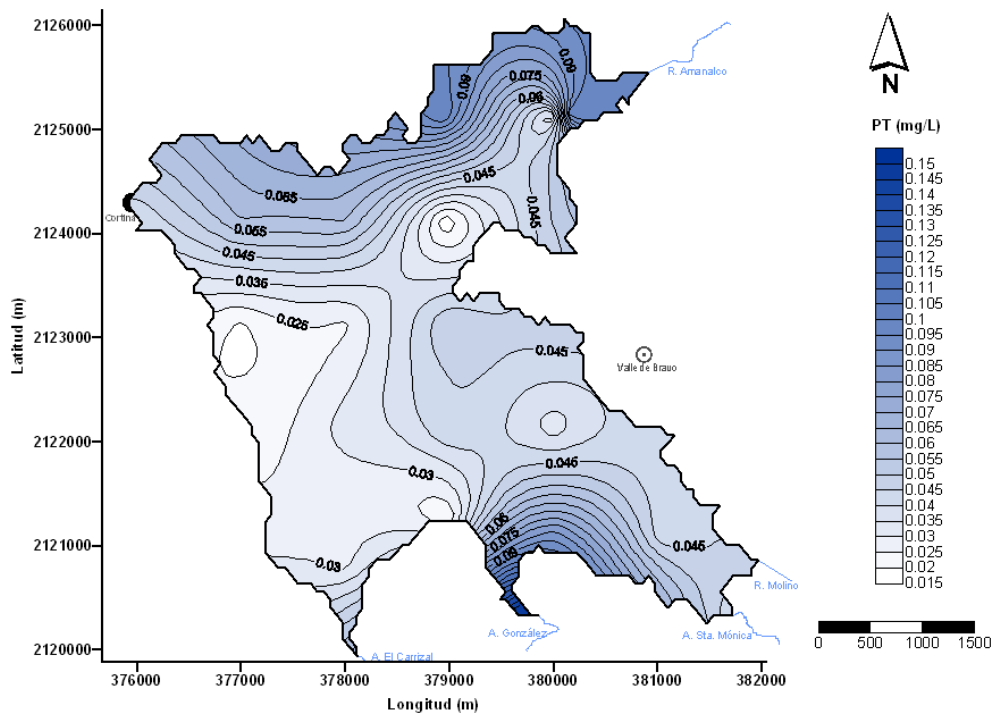


**Figura 55. Fósforo total en sedimentos de la presa Valle de Bravo**

El fósforo total en el agua de superficie (Figura 56) y en agua de fondo (Figura 57), es mayor en las entradas del arroyo González y el río Amanalco que dentro de la presa.



**Figura 56. Fósforo total en agua de superficie de la presa Valle de Bravo**



**Figura 57. Fósforo total en agua de fondo de la presa Valle de Bravo**

Durante el muestreo, se observó que el río Amanalco y el arroyo González aportaban concentraciones de minerales y de nutrientes mayores a las que se encontraban en el agua del embalse. Una vez transportados a la presa, estas sustancias se acumulan de diferente forma. En caso de materia orgánica, manganeso y nitrógeno total, la acumulación ocurre cerca de las entradas de los afluentes mientras que fósforo total se acumula en las partes más profundas de la presa.

## 2.6 Análisis de correlación de parámetros medidos en agua y sedimentos

Para conocer las relaciones entre parámetros medidos en agua y sedimentos, se realizaron análisis estadísticos de correlaciones entre estos parámetros. Para poder evaluar las relaciones entre los parámetros medidos sin la influencia de las entradas de contaminantes, como se discutió en la sección anterior, se excluyeron las estaciones correspondientes a las entradas de los ríos y arroyos a la presa.

Para el tratamiento estadístico de los parámetros medidos en agua, se evaluó la distribución de los resultados de cada parámetro con el programa XLSTAT v. 2009.4.06. Aplicando las ecuaciones (1) y (2), se determinó la asimetría (s) y la curtosis (k) de las distribuciones, encontrando que, con excepción de turbiedad y potencial redox, las poblaciones no se ajustan a distribuciones normales (Tabla 7). De acuerdo con lo anterior, las correlaciones entre parámetros medidos en agua deben determinarse por el método de Spearman (Zhou *et al.*, 2007).

$$s = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left( \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^3 \quad \text{Ec. 1}$$

$$k = \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left( \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-1)(n-2)} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

- s = asimetría
- k = curtosis
- N = número de datos
- $x_i$  = valor de la variable x
- $\bar{x}$  = valor promedio de la variable x
- $\sigma$  = varianza de los datos

Asimismo, se determinó la relación entre los parámetros medidos en agua de fondo y en sedimentos. Dado que las poblaciones de estos datos presentaron distribuciones normales (Tabla 8), se utilizó la correlación de Pearson (Berthouex y Brown, 2002).

**Tabla 7. Asimetría y curtosis de los parámetros medidos en agua**

| Variable                    | s      | k      |
|-----------------------------|--------|--------|
| Profundidad de muestreo (m) | 0.640  | -0.973 |
| T (°C)                      | -0.288 | -1.614 |
| pH                          | -0.458 | -1.675 |
| Turbiedad (NTU)             | 0.098  | -0.908 |
| CE (µS/cm)                  | 0.606  | -1.335 |
| OD (mg/L)                   | -0.372 | -1.759 |
| Salinidad (g/L)             | -6.025 | 35.141 |
| Cl (mg/L)                   | -0.975 | 2.802  |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/L)   | 5.936  | 34.419 |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/L)   | 1.148  | 1.251  |
| N <sub>T</sub> (mg/L)       | 0.887  | 0.277  |
| Eh (mV)                     | -0.315 | -0.310 |
| SDT (g/L)                   | 0.650  | -1.210 |
| P <sub>T</sub> (mg/L)       | 1.402  | 3.166  |
| Fe (mg/L)                   | 1.067  | -0.248 |
| Mn (mg/L)                   | 0.377  | -1.549 |

Intervalos de  $s = \pm 0,5$  y de  $k = \pm 1,5$  permiten considerar a la distribución normal (Ruiz y Sánchez, 2006)

A través de los coeficientes de correlación de Pearson y Sperman se puede medir el grado de covariación entre distintas variables relacionadas de manera lineal y no lineal, respectivamente (Ecuaciones 3 y 4).

$$r = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2][N \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

- $r$  = coeficiente de correlación de Pearson.
- $\sum xy$  = sumatoria de los productos de ambas variables.
- $\sum x$  = sumatoria de los valores de la variable independiente.
- $\sum y$  = sumatoria de los valores de la variable dependiente.
- $\sum x^2$  = sumatoria de los valores al cuadrado de la variable independiente.
- $\sum y^2$  = sumatoria de los valores al cuadrado de la variable dependiente.
- $N$  = tamaño de la muestra en función de parejas

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{N^3 - N} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

- $r_s$  = coeficiente de correlación de Spearman.
- $d^2$  = diferencias entre los rangos de las dos variables, elevadas al cuadrado.
- $N$  = tamaño de la muestra expresada en parejas de rangos de las variables.

Tales coeficientes de correlación oscilan entre -1 y +1, indicando asociaciones entre las variables:

- Valores negativos indican una relación inversa entre parámetros.
- Valores positivos indican una relación directa entre parámetros.
- Valor de cero indica que no hay correlación entre parámetros.

Cuanto se aproxima el coeficiente de correlación a -1 o +1, la correlación es mayor.

**Tabla 8. Asimetría y curtosis de los parámetros en agua de fondo y en sedimentos**

| Variable                     | s      | k      |
|------------------------------|--------|--------|
| Profundidad por estación (m) | 0.231  | -1.311 |
| T (°C)                       | 0.239  | -1.252 |
| pH                           | 0.418  | -1.418 |
| Turbiedad (NTU)              | 0.436  | -0.820 |
| CE (µS/cm)                   | -0.032 | -1.433 |
| OD (mg/L)                    | 0.442  | -1.163 |
| Cl (mg/L)                    | 0.296  | -1.345 |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/L)    | 0.421  | -1.467 |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/L)    | 0.465  | -0.438 |
| N <sub>T</sub> (mg/L)        | 0.118  | -0.985 |
| Eh (mV)                      | 0.448  | -1.418 |
| SDT (g/L)                    | 0.035  | -1.467 |
| P <sub>T</sub> (mg/L)        | 1.293  | 1.534  |
| Fe (mg/L)                    | 0.354  | -1.429 |
| Mn (mg/L)                    | -0.228 | -1.418 |
| Humedad (%)                  | -2.467 | 5.892  |
| MO (%)                       | 0.448  | -0.704 |
| pH                           | 1.108  | 1.578  |
| Al (mg/kg)                   | 0.318  | -1.139 |
| Fe (mg/kg)                   | 0.145  | -0.504 |
| Mn (mg/kg)                   | 0.185  | -1.470 |
| NTK (mg/kg)                  | 0.297  | -1.085 |
| P <sub>T</sub> (mg/kg)       | 0.081  | -0.908 |
| Arena (%)                    | 2.189  | 3.811  |
| Limo (%)                     | 0.416  | -0.836 |
| Arcilla (%)                  | -0.410 | -1.102 |

### 2.6.1 Correlación entre los parámetros medidos en agua

Los resultados del análisis de correlación entre la profundidad de muestreo y las propiedades físicas y químicas del agua se presentan en la Tabla 9, donde los valores en negritas indican qué parámetros tienen un grado de relación significativo (nivel de significancia mayor al 95%).

El potencial redox presenta una relación negativa con las concentraciones de fósforo total, hierro y manganeso, indicando que a condiciones reducidas se favorece la solubilidad de éstos, siendo hierro y manganeso adsorbentes naturales de nutrientes.

El hierro presenta una relación positiva con nitrógeno total y fósforo total, indicando ser el adsorbente de nutrientes dentro de la presa.

### 2.6.2 Correlación entre parámetros medidos en agua de fondo y sedimentos

Los resultados del análisis de correlación de Pearson entre las concentraciones de los parámetros medidos en agua de fondo y los parámetros de sedimentos, se presentan en la Tabla 10. En este análisis los parámetros medidos presentan pocas relaciones significativas.

Entre las relaciones que presentan un nivel de significancia mayor a 95% se encuentra la relación negativa de nitrógeno total Kjeldahl en sedimentos con amonio disuelto en agua de fondo, indicando que la disminución de nitrógeno total Kjeldahl en sedimentos originan un incremento en las concentraciones de amonio en agua de fondo. Esto puede deberse a que al mineralizarse la materia orgánica, el nitrógeno orgánico se transforma a amonio incrementando las concentraciones en el agua.

El coeficiente de correlación entre aluminio y fósforo en sedimentos es de -0.01, siendo una correlación negativa muy baja y no significativa ( $P < 95\%$ ). Por lo tanto, se puede decir que en sedimentos, aluminio y fósforo no están relacionados y que aluminio no es el principal adsorbente de tal nutriente.

En los análisis estadísticos no se encontraron correlaciones entre la granulometría y el contenido de materia orgánica de los sedimentos con el contenido de nutrientes en agua de fondo. Se observa que los sedimentos en el embalse son mayormente limosos. Existe una tendencia de acumularse el nitrógeno en los limos cerca de la entrada del río Amanalco, donde también se encuentran elevadas concentraciones de materia orgánica. Los sedimentos arcillosos tienden a acumularse en las zonas más profundas del embalse.

**Tabla 9. Matriz de correlación (Spearman) para parámetros en agua**

| Variables                   | Profundidad de muestreo (m) | T (°C)       | pH           | Turbiedad (NTU) | CE (µS/cm)   | OD (mg/L)    | Salinidad (g/L) | Cl (mg/L)    | N-NH <sub>4</sub> (mg/L) | N-NO <sub>3</sub> (mg/L) | N <sub>T</sub> (mg/L) | Eh (mV)      | SDT (g/L)    | P <sub>T</sub> (mg/L) | Fe (mg/L)    | Mn (mg/L)    |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|
| Profundidad de muestreo (m) | <b>1.00</b>                 | <b>-0.88</b> | <b>-0.79</b> | <b>-0.62</b>    | <b>0.84</b>  | <b>-0.80</b> | 0.16            | <b>0.34</b>  | <b>0.44</b>              | 0.00                     | 0.26                  | <b>-0.63</b> | <b>0.83</b>  | <b>0.46</b>           | <b>0.78</b>  | <b>0.76</b>  |
| T (°C)                      | <b>-0.88</b>                | <b>1.00</b>  | <b>0.81</b>  | <b>0.62</b>     | <b>-0.82</b> | <b>0.81</b>  | -0.24           | <b>-0.39</b> | <b>-0.55</b>             | 0.04                     | -0.24                 | <b>0.67</b>  | <b>-0.81</b> | <b>-0.34</b>          | <b>-0.72</b> | <b>-0.79</b> |
| pH                          | <b>-0.79</b>                | <b>0.81</b>  | <b>1.00</b>  | <b>0.69</b>     | <b>-0.69</b> | <b>0.92</b>  | -0.01           | -0.21        | <b>-0.59</b>             | -0.03                    | <b>-0.41</b>          | <b>0.69</b>  | <b>-0.68</b> | -0.25                 | <b>-0.70</b> | <b>-0.76</b> |
| Turbiedad (NTU)             | <b>-0.62</b>                | <b>0.62</b>  | <b>0.69</b>  | <b>1.00</b>     | <b>-0.61</b> | <b>0.76</b>  | -0.24           | -0.28        | <b>-0.43</b>             | -0.07                    | -0.18                 | <b>0.65</b>  | <b>-0.61</b> | -0.21                 | <b>-0.39</b> | <b>-0.63</b> |
| CE (µS/cm)                  | <b>0.84</b>                 | <b>-0.82</b> | <b>-0.69</b> | <b>-0.61</b>    | <b>1.00</b>  | <b>-0.68</b> | 0.26            | <b>0.45</b>  | <b>0.57</b>              | -0.01                    | 0.11                  | <b>-0.64</b> | <b>0.98</b>  | <b>0.37</b>           | <b>0.69</b>  | <b>0.69</b>  |
| OD (mg/L)                   | <b>-0.80</b>                | <b>0.81</b>  | <b>0.92</b>  | <b>0.76</b>     | <b>-0.68</b> | <b>1.00</b>  | -0.14           | -0.30        | <b>-0.54</b>             | -0.08                    | -0.30                 | <b>0.71</b>  | <b>-0.67</b> | -0.27                 | <b>-0.66</b> | <b>-0.76</b> |
| Salinidad (g/L)             | 0.16                        | -0.24        | -0.01        | -0.24           | 0.26         | -0.14        | <b>1.00</b>     | 0.17         | 0.03                     | -0.14                    | -0.11                 | -0.07        | 0.26         | 0.04                  | -0.01        | 0.14         |
| Cl (mg/L)                   | <b>0.34</b>                 | <b>-0.39</b> | -0.21        | -0.28           | <b>0.45</b>  | -0.30        | 0.17            | <b>1.00</b>  | 0.29                     | -0.18                    | -0.01                 | -0.16        | <b>0.46</b>  | 0.09                  | 0.17         | <b>0.39</b>  |
| N-NH <sub>4</sub> (mg/L)    | <b>0.44</b>                 | <b>-0.55</b> | <b>-0.59</b> | <b>-0.43</b>    | <b>0.57</b>  | <b>-0.54</b> | 0.03            | 0.29         | <b>1.00</b>              | 0.22                     | 0.23                  | <b>-0.68</b> | <b>0.59</b>  | 0.16                  | <b>0.51</b>  | <b>0.57</b>  |
| N-NO <sub>3</sub> (mg/L)    | 0.00                        | 0.04         | -0.03        | -0.07           | -0.01        | -0.08        | -0.14           | -0.18        | 0.22                     | <b>1.00</b>              | -0.25                 | <b>-0.45</b> | -0.01        | 0.03                  | 0.07         | 0.12         |
| N <sub>T</sub> (mg/L)       | 0.26                        | -0.24        | <b>-0.41</b> | -0.18           | 0.11         | -0.30        | -0.11           | -0.01        | 0.23                     | -0.25                    | <b>1.00</b>           | -0.07        | 0.07         | 0.13                  | <b>0.38</b>  | 0.30         |
| Eh (mV)                     | <b>-0.63</b>                | <b>0.67</b>  | <b>0.69</b>  | <b>0.65</b>     | <b>-0.64</b> | <b>0.71</b>  | -0.07           | -0.16        | <b>-0.68</b>             | <b>-0.45</b>             | -0.07                 | <b>1.00</b>  | <b>-0.65</b> | <b>-0.36</b>          | <b>-0.54</b> | <b>-0.68</b> |
| SDT (g/L)                   | <b>0.83</b>                 | <b>-0.81</b> | <b>-0.68</b> | <b>-0.61</b>    | <b>0.98</b>  | <b>-0.67</b> | 0.26            | <b>0.46</b>  | <b>0.59</b>              | -0.01                    | 0.07                  | <b>-0.65</b> | <b>1.00</b>  | <b>0.33</b>           | <b>0.66</b>  | <b>0.69</b>  |
| P <sub>T</sub> (mg/L)       | <b>0.46</b>                 | <b>-0.34</b> | -0.25        | -0.21           | <b>0.37</b>  | -0.27        | 0.04            | 0.09         | 0.16                     | 0.03                     | 0.13                  | <b>-0.36</b> | <b>0.33</b>  | <b>1.00</b>           | <b>0.39</b>  | 0.27         |
| Fe (mg/L)                   | <b>0.78</b>                 | <b>-0.72</b> | <b>-0.70</b> | <b>-0.39</b>    | <b>0.69</b>  | <b>-0.66</b> | -0.01           | 0.17         | <b>0.51</b>              | 0.07                     | <b>0.38</b>           | <b>-0.54</b> | <b>0.66</b>  | <b>0.39</b>           | <b>1.00</b>  | <b>0.76</b>  |
| Mn (mg/L)                   | <b>0.76</b>                 | <b>-0.79</b> | <b>-0.76</b> | <b>-0.63</b>    | <b>0.69</b>  | <b>-0.76</b> | 0.14            | <b>0.39</b>  | <b>0.57</b>              | 0.12                     | 0.30                  | <b>-0.68</b> | <b>0.69</b>  | 0.27                  | <b>0.76</b>  | <b>1.00</b>  |

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significancia < 0.05

**Tabla 10. Matriz de correlación (Pearson) para parámetros en agua de fondo y sedimentos**

| Variables                    | Profundidad por estación (m) | T (°C)       | pH           | Turbiedad (NTU) | CE (µS/cm)   | OD (mg/L)    | Cl (mg/L)    | N-NH <sub>4</sub> (mg/L) | N-NO <sub>3</sub> (mg/L) | N <sub>T</sub> (mg/L) | Eh (mV)      | SDT (g/L)    | P <sub>T</sub> (mg/L) | Fe (mg/L)    | Mn (mg/L)    |
|------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|
| Profundidad por estación (m) | <b>1.00</b>                  | <b>-0.66</b> | -0.33        | -0.24           | <b>0.84</b>  | <b>-0.74</b> | <b>0.85</b>  | 0.27                     | 0.25                     | -0.08                 | <b>-0.79</b> | <b>0.85</b>  | 0.28                  | <b>0.67</b>  | <b>0.71</b>  |
| T (°C)                       | <b>-0.66</b>                 | <b>1.00</b>  | <b>0.48</b>  | 0.27            | <b>-0.83</b> | <b>0.68</b>  | <b>-0.69</b> | <b>-0.51</b>             | -0.24                    | 0.05                  | <b>0.73</b>  | <b>-0.83</b> | -0.20                 | <b>-0.74</b> | <b>-0.87</b> |
| pH                           | -0.33                        | <b>0.48</b>  | <b>1.00</b>  | <b>0.59</b>     | <b>-0.61</b> | <b>0.72</b>  | -0.32        | <b>-0.74</b>             | -0.39                    | 0.07                  | <b>0.58</b>  | <b>-0.60</b> | -0.07                 | <b>-0.50</b> | <b>-0.72</b> |
| Turbiedad (NTU)              | -0.24                        | 0.27         | <b>0.59</b>  | <b>1.00</b>     | -0.37        | <b>0.65</b>  | -0.29        | <b>-0.49</b>             | -0.08                    | -0.15                 | <b>0.50</b>  | -0.39        | -0.15                 | -0.22        | <b>-0.50</b> |
| CE (µS/cm)                   | <b>0.84</b>                  | <b>-0.83</b> | <b>-0.61</b> | -0.37           | <b>1.00</b>  | <b>-0.81</b> | <b>0.85</b>  | <b>0.60</b>              | 0.31                     | -0.03                 | <b>-0.81</b> | <b>1.00</b>  | 0.32                  | <b>0.83</b>  | <b>0.90</b>  |
| OD (mg/L)                    | <b>-0.74</b>                 | <b>0.68</b>  | <b>0.72</b>  | <b>0.65</b>     | <b>-0.81</b> | <b>1.00</b>  | <b>-0.73</b> | <b>-0.58</b>             | -0.23                    | 0.14                  | <b>0.90</b>  | <b>-0.81</b> | -0.21                 | <b>-0.59</b> | <b>-0.83</b> |
| Cl (mg/L)                    | <b>0.85</b>                  | <b>-0.69</b> | -0.32        | -0.29           | <b>0.85</b>  | <b>-0.73</b> | <b>1.00</b>  | 0.28                     | 0.15                     | -0.19                 | <b>-0.81</b> | <b>0.85</b>  | 0.14                  | <b>0.57</b>  | <b>0.71</b>  |
| N-NH <sub>4</sub> (mg/L)     | 0.27                         | <b>-0.51</b> | <b>-0.74</b> | <b>-0.49</b>    | <b>0.60</b>  | <b>-0.58</b> | 0.28         | <b>1.00</b>              | <b>0.60</b>              | -0.02                 | <b>-0.60</b> | <b>0.57</b>  | 0.20                  | <b>0.55</b>  | <b>0.65</b>  |
| N-NO <sub>3</sub> (mg/L)     | 0.25                         | -0.24        | -0.39        | -0.08           | 0.31         | -0.23        | 0.15         | <b>0.60</b>              | <b>1.00</b>              | -0.26                 | -0.32        | 0.28         | -0.25                 | 0.33         | 0.26         |
| N <sub>T</sub> (mg/L)        | -0.08                        | 0.05         | 0.07         | -0.15           | -0.03        | 0.14         | -0.19        | -0.02                    | -0.26                    | <b>1.00</b>           | 0.15         | 0.01         | <b>0.61</b>           | 0.25         | 0.04         |
| Eh (mV)                      | <b>-0.79</b>                 | <b>0.73</b>  | <b>0.58</b>  | <b>0.50</b>     | <b>-0.81</b> | <b>0.90</b>  | <b>-0.81</b> | <b>-0.60</b>             | -0.32                    | 0.15                  | <b>1.00</b>  | <b>-0.80</b> | -0.23                 | <b>-0.58</b> | <b>-0.84</b> |
| SDT (g/L)                    | <b>0.85</b>                  | <b>-0.83</b> | <b>-0.60</b> | -0.39           | <b>1.00</b>  | <b>-0.81</b> | <b>0.85</b>  | <b>0.57</b>              | 0.28                     | 0.01                  | <b>-0.80</b> | <b>1.00</b>  | 0.35                  | <b>0.83</b>  | <b>0.90</b>  |
| P <sub>T</sub> (mg/L)        | 0.28                         | -0.20        | -0.07        | -0.15           | 0.32         | -0.21        | 0.14         | 0.20                     | -0.25                    | <b>0.61</b>           | -0.23        | 0.35         | <b>1.00</b>           | <b>0.54</b>  | 0.38         |
| Fe (mg/L)                    | <b>0.67</b>                  | <b>-0.74</b> | <b>-0.50</b> | -0.22           | <b>0.83</b>  | <b>-0.59</b> | <b>0.57</b>  | <b>0.55</b>              | 0.33                     | 0.25                  | <b>-0.58</b> | <b>0.83</b>  | <b>0.54</b>           | <b>1.00</b>  | <b>0.78</b>  |
| Mn (mg/L)                    | <b>0.71</b>                  | <b>-0.87</b> | <b>-0.72</b> | <b>-0.50</b>    | <b>0.90</b>  | <b>-0.83</b> | <b>0.71</b>  | <b>0.65</b>              | 0.26                     | 0.04                  | <b>-0.84</b> | <b>0.90</b>  | 0.38                  | <b>0.78</b>  | <b>1.00</b>  |
| Humedad (%)                  | <b>0.49</b>                  | -0.20        | -0.28        | -0.48           | 0.27         | <b>-0.52</b> | 0.30         | 0.13                     | 0.14                     | 0.34                  | <b>-0.51</b> | 0.28         | 0.12                  | 0.15         | 0.30         |
| MO (%)                       | 0.21                         | -0.30        | -0.31        | -0.12           | 0.30         | -0.13        | 0.31         | 0.33                     | 0.36                     | -0.06                 | -0.28        | 0.30         | 0.11                  | 0.41         | 0.36         |
| pH                           | <b>-0.56</b>                 | 0.39         | 0.28         | <b>0.54</b>     | -0.40        | <b>0.63</b>  | -0.44        | -0.12                    | 0.15                     | -0.33                 | <b>0.63</b>  | -0.42        | -0.38                 | -0.38        | -0.47        |
| Al (mg/kg)                   | -0.40                        | -0.05        | -0.08        | 0.23            | -0.17        | 0.13         | -0.28        | 0.35                     | 0.13                     | -0.37                 | 0.01         | -0.21        | -0.07                 | -0.10        | 0.03         |
| Fe (mg/kg)                   | -0.24                        | 0.00         | 0.04         | 0.10            | -0.17        | 0.08         | -0.17        | 0.26                     | 0.12                     | -0.26                 | -0.14        | -0.20        | -0.05                 | -0.14        | 0.02         |
| Mn (mg/kg)                   | 0.22                         | 0.00         | <b>0.50</b>  | 0.34            | 0.02         | 0.12         | 0.24         | -0.16                    | -0.06                    | -0.26                 | -0.13        | 0.02         | 0.21                  | 0.04         | -0.02        |
| NTK (mg/kg)                  | 0.02                         | 0.46         | 0.37         | 0.19            | -0.27        | 0.05         | -0.01        | <b>-0.49</b>             | -0.40                    | -0.26                 | 0.05         | -0.28        | 0.05                  | -0.31        | -0.34        |
| P <sub>T</sub> (mg/kg)       | 0.42                         | -0.09        | -0.04        | -0.07           | 0.22         | -0.25        | 0.35         | 0.05                     | -0.09                    | 0.26                  | -0.42        | 0.23         | 0.44                  | 0.26         | 0.34         |
| Arena (%)                    | <b>-0.52</b>                 | <b>0.56</b>  | 0.40         | 0.02            | <b>-0.51</b> | 0.43         | -0.43        | -0.38                    | -0.15                    | 0.37                  | <b>0.57</b>  | <b>-0.49</b> | -0.18                 | -0.37        | <b>-0.56</b> |
| Limo (%)                     | -0.48                        | 0.21         | 0.45         | 0.41            | -0.37        | <b>0.56</b>  | -0.17        | -0.24                    | -0.18                    | -0.01                 | 0.42         | -0.37        | -0.19                 | -0.23        | -0.31        |
| Arcilla (%)                  | <b>0.52</b>                  | -0.26        | -0.48        | -0.40           | 0.41         | <b>-0.59</b> | 0.21         | 0.27                     | 0.20                     | -0.03                 | -0.47        | 0.41         | 0.20                  | 0.26         | 0.36         |

**Tabla 10. Matriz de correlación (Pearson) para parámetros medidos en agua de fondo y sedimentos (cont.)**

| Variables                    | Humedad (%)  | MO (%)       | pH           | Al (mg/kg)   | Fe (mg/kg)  | Mn (mg/kg)  | NTK (mg/kg)  | P <sub>T</sub> (mg/kg) | Arena (%)    | Limo (%)     | Arcilla (%)  |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Profundidad por estación (m) | <b>0.49</b>  | 0.21         | <b>-0.56</b> | -0.40        | -0.24       | 0.22        | 0.02         | 0.42                   | <b>-0.52</b> | -0.48        | <b>0.52</b>  |
| T (°C)                       | -0.20        | -0.30        | 0.39         | -0.05        | 0.00        | 0.00        | 0.46         | -0.09                  | <b>0.56</b>  | 0.21         | -0.26        |
| pH                           | -0.28        | -0.31        | 0.28         | -0.08        | 0.04        | <b>0.50</b> | 0.37         | -0.04                  | 0.40         | 0.45         | -0.48        |
| Turbiedad (NTU)              | -0.48        | -0.12        | <b>0.54</b>  | 0.23         | 0.10        | 0.34        | 0.19         | -0.07                  | 0.02         | 0.41         | -0.40        |
| CE (µS/cm)                   | 0.27         | 0.30         | -0.40        | -0.17        | -0.17       | 0.02        | -0.27        | 0.22                   | <b>-0.51</b> | -0.37        | 0.41         |
| OD (mg/L)                    | <b>-0.52</b> | -0.13        | <b>0.63</b>  | 0.13         | 0.08        | 0.12        | 0.05         | -0.25                  | 0.43         | <b>0.56</b>  | <b>-0.59</b> |
| Cl (mg/L)                    | 0.30         | 0.31         | -0.44        | -0.28        | -0.17       | 0.24        | -0.01        | 0.35                   | -0.43        | -0.17        | 0.21         |
| N-NH <sub>4</sub> (mg/L)     | 0.13         | 0.33         | -0.12        | 0.35         | 0.26        | -0.16       | <b>-0.49</b> | 0.05                   | -0.38        | -0.24        | 0.27         |
| N-NO <sub>3</sub> (mg/L)     | 0.14         | 0.36         | 0.15         | 0.13         | 0.12        | -0.06       | -0.40        | -0.09                  | -0.15        | -0.18        | 0.20         |
| N <sub>T</sub> (mg/L)        | 0.34         | -0.06        | -0.33        | -0.37        | -0.26       | -0.26       | -0.26        | 0.26                   | 0.37         | -0.01        | -0.03        |
| Eh (mV)                      | <b>-0.51</b> | -0.28        | <b>0.63</b>  | 0.01         | -0.14       | -0.13       | 0.05         | -0.42                  | <b>0.57</b>  | 0.42         | -0.47        |
| SDT (g/L)                    | 0.28         | 0.30         | -0.42        | -0.21        | -0.20       | 0.02        | -0.28        | 0.23                   | <b>-0.49</b> | -0.37        | 0.41         |
| P <sub>T</sub> (mg/L)        | 0.12         | 0.11         | -0.38        | -0.07        | -0.05       | 0.21        | 0.05         | 0.44                   | -0.18        | -0.19        | 0.20         |
| Fe (mg/L)                    | 0.15         | 0.41         | -0.38        | -0.10        | -0.14       | 0.04        | -0.31        | 0.26                   | -0.37        | -0.23        | 0.26         |
| Mn (mg/L)                    | 0.30         | 0.36         | -0.47        | 0.03         | 0.02        | -0.02       | -0.34        | 0.34                   | <b>-0.56</b> | -0.31        | 0.36         |
| Humedad (%)                  | <b>1.00</b>  | -0.17        | <b>-0.77</b> | <b>-0.60</b> | -0.22       | -0.28       | -0.03        | 0.30                   | 0.02         | <b>-0.65</b> | <b>0.63</b>  |
| MO (%)                       | -0.17        | <b>1.00</b>  | 0.01         | 0.21         | -0.06       | 0.00        | -0.38        | 0.36                   | <b>-0.51</b> | 0.28         | -0.22        |
| pH                           | <b>-0.77</b> | 0.01         | <b>1.00</b>  | 0.44         | 0.02        | 0.04        | -0.20        | -0.39                  | 0.22         | <b>0.57</b>  | <b>-0.57</b> |
| Al (mg/kg)                   | <b>-0.60</b> | 0.21         | 0.44         | <b>1.00</b>  | <b>0.66</b> | 0.21        | -0.07        | -0.01                  | -0.34        | 0.41         | -0.36        |
| Fe (mg/kg)                   | -0.22        | -0.06        | 0.02         | <b>0.66</b>  | <b>1.00</b> | <b>0.53</b> | 0.18         | 0.07                   | -0.20        | 0.16         | -0.14        |
| Mn (mg/kg)                   | -0.28        | 0.00         | 0.04         | 0.21         | <b>0.53</b> | <b>1.00</b> | 0.45         | 0.36                   | -0.18        | 0.28         | -0.25        |
| NTK (mg/kg)                  | -0.03        | -0.38        | -0.20        | -0.07        | 0.18        | 0.45        | <b>1.00</b>  | 0.14                   | 0.06         | -0.14        | 0.13         |
| P <sub>T</sub> (mg/kg)       | 0.30         | 0.36         | -0.39        | -0.01        | 0.07        | 0.36        | 0.14         | <b>1.00</b>            | -0.27        | 0.17         | -0.13        |
| Arena (%)                    | 0.02         | <b>-0.51</b> | 0.22         | -0.34        | -0.20       | -0.18       | 0.06         | -0.27                  | <b>1.00</b>  | 0.24         | -0.34        |
| Limo (%)                     | <b>-0.65</b> | 0.28         | <b>0.57</b>  | 0.41         | 0.16        | 0.28        | -0.14        | 0.17                   | 0.24         | <b>1.00</b>  | <b>-0.99</b> |
| Arcilla (%)                  | <b>0.63</b>  | -0.22        | <b>-0.57</b> | -0.36        | -0.14       | -0.25       | 0.13         | -0.13                  | -0.34        | <b>-0.99</b> | <b>1.00</b>  |

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significancia < 0.05

### 2.6.3 Síntesis de las correlaciones

Se encontraron correlaciones positivas entre contenido de hierro y concentraciones de amonio, nitrógeno total y fósforo total. Manganeso se relacionó positivamente sólo con amonio. Asimismo, hierro y manganeso presentaron correlaciones negativas con potencial redox.

Existe una relación negativa de nitrógeno total Kjeldahl en sedimentos con amonio disuelto en agua de fondo, indicando que la disminución de nitrógeno en sedimentos originan un incremento en las concentraciones de amonio en agua de fondo. Esto puede deberse a que al mineralizarse la materia orgánica, el nitrógeno orgánico se transforma a amonio incrementando las concentraciones en el agua.

Los experimentos de liberación de nutrientes se diseñaron en base a los resultados anteriores, al considerar que el factor controlante en la liberación de nutrientes es el potencial redox.

### 3. Análisis de la evolución de calidad del agua en la presa

Con el objetivo de conocer cómo han variado las concentraciones de los parámetros de calidad del agua en la presa Valle de Bravo, se analizaron los resultados de los muestreos realizados, tanto en función del tiempo como respecto al volumen de almacenamiento en la presa. Asimismo, se diferenciaron resultados obtenidos en agua superficial y en agua de fondo.

Se recopiló información de calidad del agua reportada por el IMTA (1993), por IDECA (1999 y 2000), Acuagranjas/CNA (2002-2004) y Acuagranjas/CONAGUA (2005-2007) y se construyó una base de datos (Tabla 52), que incluye los siguientes parámetros:

1. Oxígeno Disuelto (OD)
2. Temperatura (T)
3. pH
4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)
6. Sólidos Totales (ST)
7. Sólidos Suspendidos Totales (SST)
8. Sólidos Disueltos Totales (SDT)
9. Nitrógeno como nitritos (N-NO<sub>2</sub>)
10. Nitrógeno como Nitratos (N-NO<sub>3</sub>)
11. Nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>4</sub>)
12. Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)
13. Fósforo como Fosfatos (P-PO<sub>4</sub>)
14. Fósforo Total (P<sub>T</sub>)
15. Hierro (Fe)
16. Manganeseo (Mn)
17. Aluminio (Al)
18. Alcalinidad Total (Alc Tot)
19. Visibilidad del Disco Secchi (DS)

Se buscaron también informes de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) y del Consejo de Cuenca Valle de Bravo, encontrando sólo datos de un evento de muestreo de COFEPRIS de 1998. Éstos no se incluyeron en el análisis debido a que sólo se incluía muestreo en agua de superficie y no de agua de fondo.

Para conocer la variación en la calidad del agua, se calcularon las medias aritméticas, las desviaciones estándar y los coeficientes de variación para cada evento de muestreo. Las fórmulas utilizadas para calcular los parámetros estadísticos fueron las siguientes (Miller *et al.*, 1997):

1. Media aritmética,  $\bar{x}$ :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{Ec. 5}$$

2. Desviación estándar,  $s$ :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{Ec. 6}$$

3. Coeficiente de variación,  $CV$ :

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

$n$  = número de datos

$x_i$  = valor de la variable  $x$  durante el evento  $i$

Los resultados se graficaron en orden cronológico y en función del volumen de almacenamiento. Se realizó un filtrado estadístico de los datos, eliminando aquellos con un  $CV > 0.15$  para los parámetros que tienen suficientes resultados de muestreo. Se estableció como criterio que deben permanecer al menos 50% de la población original de datos, en caso contrario no se aplicó el filtrado. Los resultados fueron graficados y ajustados a una línea de tendencia lineal o potencial, seleccionada de acuerdo al mejor coeficiente de correlación, y se calcularon las ecuaciones de la regresión.

En la Tabla 11 y las Figuras del Anexo 2 se presentan los resultados del análisis de la tendencia cronológica de calidad del agua y como función del volumen de almacenamiento. Se asignaron factores de -1 y 1 para definir a las tendencias de empeorar o mejorar la calidad del agua pero con coeficientes de correlación ( $R$ ) inferiores a 0.707 ( $R < 0.707$  o  $R^2 < 0.5$ ) y valores de -2 y 2 a tendencias de empeorar o mejorar la calidad del agua con coeficientes de correlación superiores a 0.707 ( $R > 0.707$  o  $R^2 > 0.5$ ). Cuando los parámetros no presentan tendencia alguna se asignó el valor de cero.

Las sumatorias de los factores arriba definidos sugieren que la calidad del agua ha disminuido desde 1993 a la fecha ( $\Sigma$  factores = -10) mientras que existe una tendencia ( $\Sigma$  factores = +22) de mejorar la calidad del agua conforme aumenta el volumen de almacenamiento de la presa.

A continuación se discuten con mayor detalle aquellos parámetros que rebasan alguno de los criterios de calidad del agua (Tabla 11).

**Tabla 11. Análisis de tendencias de calidad del agua**

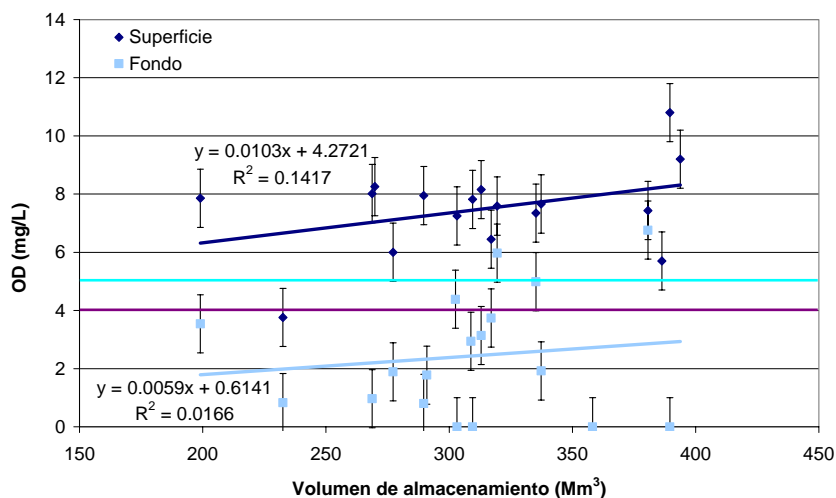
| Parámetro         | Profundidad | Función del tiempo                            |                     | Función del volumen de almacenamiento         |                     | Número de datos con CV<0.15 (%) | Límites que son rebasados |
|-------------------|-------------|---|---------------------|---|---------------------|---------------------------------|---------------------------|
|                   |             | Coefficiente de correlación (R <sup>2</sup> ) | Factor de tendencia | Coefficiente de correlación (R <sup>2</sup> ) | Factor de tendencia |                                 |                           |
| OD                | superficie  | 0.084   | -1                  | 0.142   | 1                   | 16 (76.2)                       |                           |
|                   | fondo       | 0.360   | 1                   | 0.017   | 1                   | 1 (8.3)                         | 1, 2                      |
| T                 | superficie  | 0.002   | 0                   | 0.130   | 0                   | 16 (100)                        |                           |
|                   | fondo       | 0.001   | 0                   | 0.080   | 0                   | 16 (100)                        |                           |
| pH                | superficie  | 0.677   | -2                  | 0.459   | 1                   | 27 (92.9)                       | 1                         |
|                   | fondo       | 0.796   | -2                  | 0.401   | 1                   | 25 (100)                        |                           |
| DBO <sub>5</sub>  | superficie  | 0.419   | 1                   | 0.196   | 1                   | 3 (20.0)                        |                           |
|                   | fondo       | 0.200   | 1                   | 0.366   | 1                   | 1 (6.7)                         |                           |
| DQO               | superficie  | 0.079   | 0                   | 0.084   | 1                   | 5 (11.5)                        |                           |
|                   | fondo       | 0.094   | 0                   | 0.045   | 1                   | 1 (3.9)                         |                           |
| ST                | superficie  | 0.109   | 1                   | 0.004   | 0                   | 21 (75.0)                       |                           |
|                   | fondo       | 0.001   | 0                   | 0.056   | 1                   | 12 (42.9)                       |                           |
| SST               | superficie  | 0.284   | 1                   | 0.012   | -1                  | 0 (0.0)                         |                           |
|                   | fondo       | 0.004   | 0                   | 0.115   | 1                   | 0 (0.0)                         |                           |
| SDT               | superficie  | 0.001   | 0                   | 0.005   | 0                   | 20 (69.0)                       |                           |
|                   | fondo       | 0.058   | 0                   | 0.058   | 1                   | 16 (55.2)                       |                           |
| N-NO <sub>2</sub> | superficie  | 0.276   | -1                  | 0.036   | 1                   | 0 (0.0)                         |                           |
|                   | fondo       | 0.226   | -1                  | 0.165   | 1                   | 1 (4.2)                         | 1                         |
| N-NO <sub>3</sub> | superficie  | 0.513   | -2                  | 0.227   | 1                   | 9 (33.3)                        |                           |
|                   | fondo       | 0.183   | -1                  | 0.170   | 1                   | 2 (7.4)                         |                           |
| N-NH <sub>4</sub> | superficie  | 0.104   | 1                   | 0.028   | 1                   | 1 (6.7)                         | 2                         |
|                   | fondo       | 0.364   | 1                   | 0.065   | 1                   | 0 (0.0)                         | 2                         |

| Parámetro         | Profundidad | Función del tiempo                            |                     | Función del volumen de almacenamiento         |                     | Número de datos con CV<0.15 (%) | Límites que son rebasados |
|-------------------|-------------|---|---------------------|---|---------------------|---------------------------------|---------------------------|
|                   |             | Coefficiente de correlación (R <sup>2</sup> ) | Factor de tendencia | Coefficiente de correlación (R <sup>2</sup> ) | Factor de tendencia |                                 |                           |
| NTK               | superficie  | 0.023   | 1                   | 0.097   | 1                   | 4 (13.3)                        | 3, 4, 5                   |
|                   | fondo       | 0.213   | -1                  | 0.432   | 1                   | 2 (6.7)                         |                           |
| P-PO <sub>4</sub> | superficie  | 0.164   | 1                   | 0.044   | -1                  | 2 (16.7)                        | 1                         |
|                   | fondo       | 0.145   | 1                   | 0.050   | -1                  | 2 (16.7)                        | 1                         |
| PT                | superficie  | 0.318   | 1                   | 0.028   | -1                  | 3 (20.0)                        | 3, 4, 5                   |
|                   | fondo       | 0.223   | 1                   | 0.002   | -1                  | 0 (0.0)                         | 3, 4, 5                   |
| Fe                | superficie  | 0.984   | -2                  | 0.980   | 2                   | 0 (0.0)                         | 1                         |
|                   | fondo       | 0.760   | -2                  | 0.399   | 1                   | 0 (0.0)                         |                           |
| Mn                | fondo       | 0.768   | -2                  | 0.521   | 2                   | 0 (0.0)                         | 1                         |
| Al                | superficie  | 0.702   | -2                  | 0.389   | -1                  | 1 (11.1)                        | 1, 2                      |
|                   | fondo       | 0.150   | -1                  | 0.173   | 1                   | 1 (11.1)                        | 1, 2                      |
| Alc Tot           | superficie  | 0.012   | 0                   | 0.030   | 1                   | 19 (86.4)                       |                           |
|                   | fondo       | 0.028   | 0                   | 0.012   | 1                   | 12 (54.5)                       |                           |
| DS                | superficie  | 0.600   | -2                  | 0.134   | 1                   | 31 (96.9)                       | 3, 4                      |
| Suma de factores  |             |   | -10                 |   | 22                  |                                 |                           |

- 1 Fuente de abastecimiento de agua potable (DOF, 1989)
- 2 Protección de la vida acuática (DOF, 1989)
- 3 Hipereutrófico OECD (1982)
- 4 Eutrófico OECD (1982)
- 5 Mesotrófico OECD (1982)

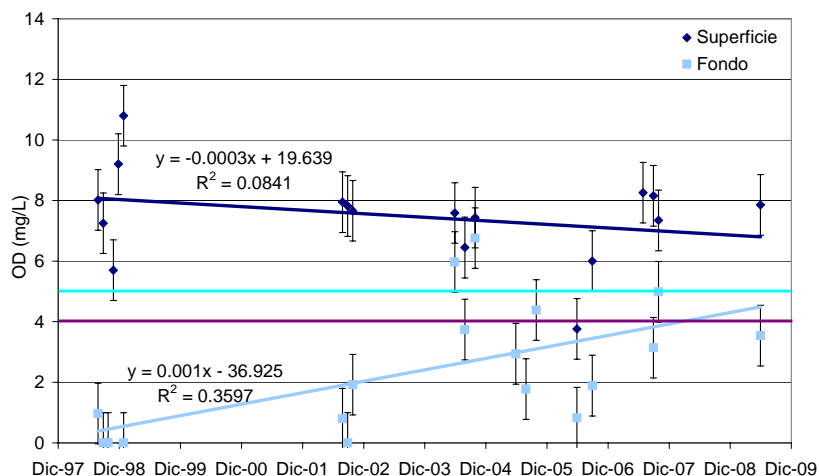
### 3.1 Oxígeno Disuelto

Con excepción de un evento de muestreo, el agua de superficie presenta concentraciones arriba de los límites para agua como fuente de abastecimiento y para protección de la vida acuática (DOF, 1989). En la mayoría de los eventos de muestreo el agua de fondo presenta concentraciones de oxígeno disuelto por debajo de estos límites.



**Figura 58. Oxígeno disuelto en función del volumen de almacenamiento (CV<0.15)**

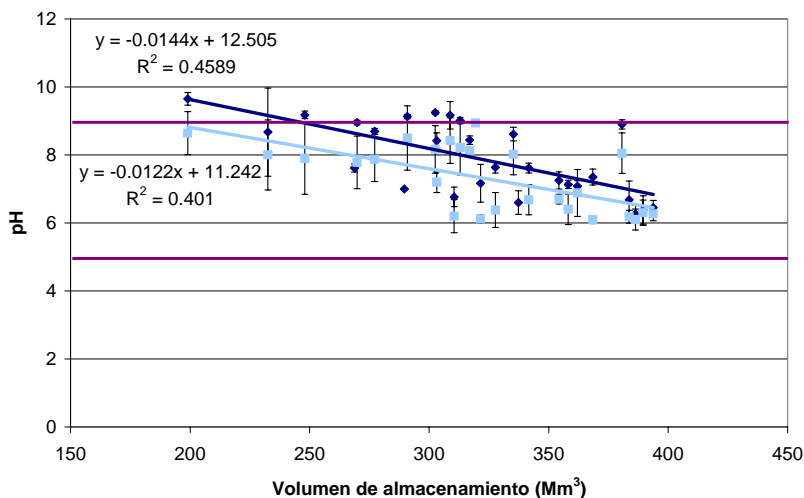
En la Figura 59 se presentan las concentraciones de oxígeno disuelto con respecto al tiempo. Se observa que aunque las regresiones muestran una tendencia con el tiempo, éstas no son significativas.



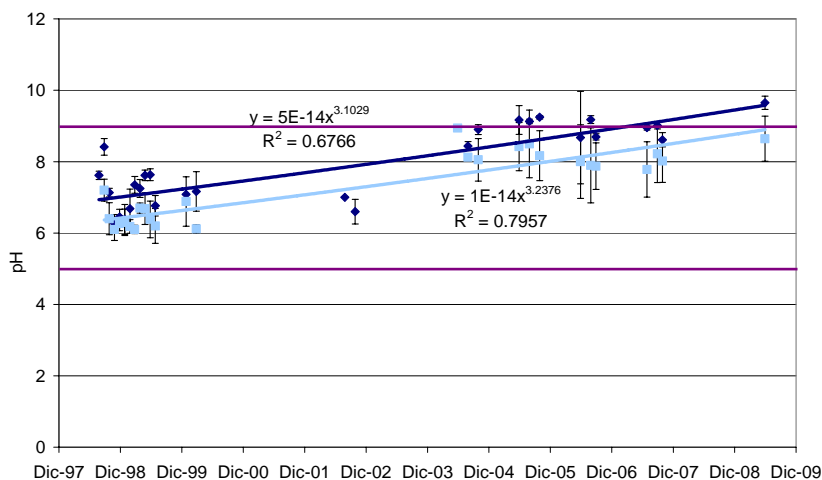
**Figura 59. Oxígeno disuelto en agua en función del tiempo (CV<0.15)**

### 3.2 pH

Sólo a partir de volúmenes de almacenamiento inferiores a 310 Mm<sup>3</sup> y en agua de superficie (Figura 60) se observan valores de pH que rebasan el límite establecido en los criterios ecológicos para agua como fuente de abastecimiento de agua potable (DOF, 1989). Asimismo, existe una tendencia significativa de aumentar el pH desde 1998 a la fecha (Figura 61).



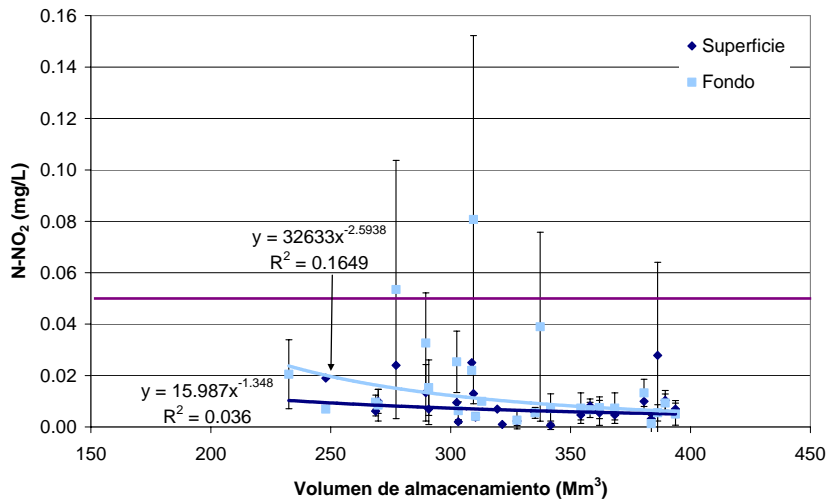
**Figura 60. pH del agua en función del volumen de almacenamiento (CV<0.15)**



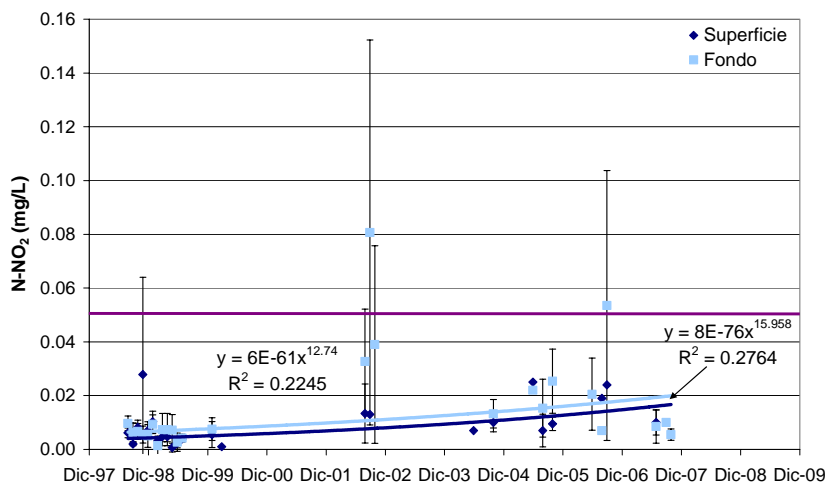
**Figura 61. pH del agua en función del tiempo (CV<0.15)**

### 3.3 Nitrógeno como Nitritos

Generalmente, se observan concentraciones para nitritos inferiores al límite para agua como fuente de abastecimiento. Sólo en algunos eventos de muestreo se presentan concentraciones que rebasan este límite en agua del fondo de la presa (Figura 62 y Figura 63).



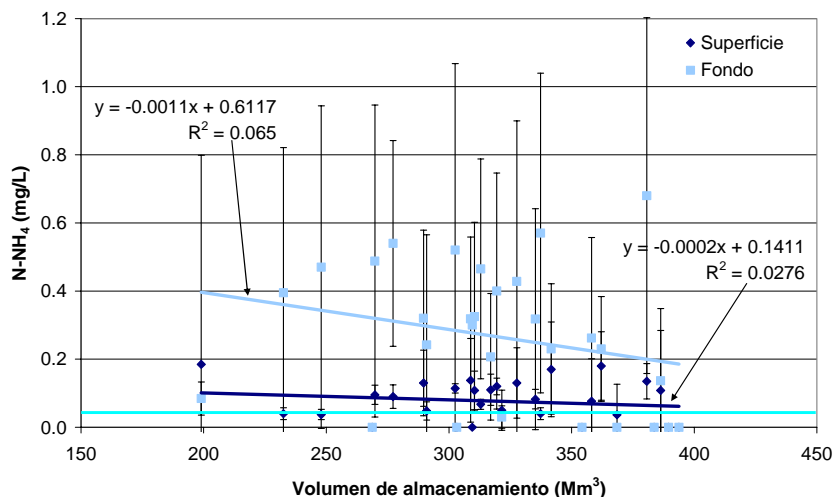
**Figura 62. Nitrógeno como nitritos en función del volumen de almacenamiento**



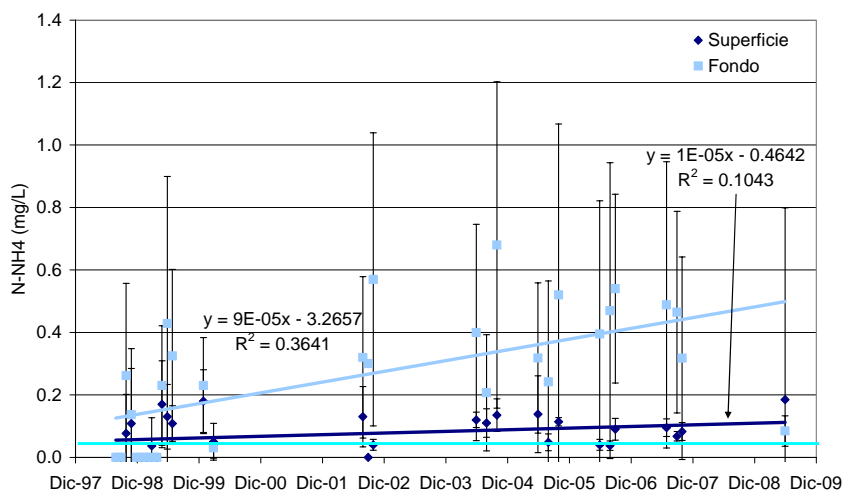
**Figura 63. Nitrógeno como nitritos en agua en función del tiempo**

### 3.4 Nitrógeno Amoniacal

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal rebasan el límite establecido para protección de la vida acuática (DOF, 1989). Las concentraciones en el agua de fondo de la presa son más altas que las medidas en el agua de superficie (Figura 64 y Figura 65).



**Figura 64. Nitrógeno amoniacal en función del volumen de almacenamiento**



**Figura 65. Nitrógeno amoniacal en agua en función del tiempo**

### 3.5 Nitrógeno Total Kjeldahl

Según la clasificación trófica de la OECD (1982), el nitrógeno total clasifica al agua de la presa entre mesotrófica y eutrófica (Figura 66 y Figura 67). De acuerdo a las concentraciones medidas en el 2009 el agua de la presa se encuentra en estado hipereutrófico.

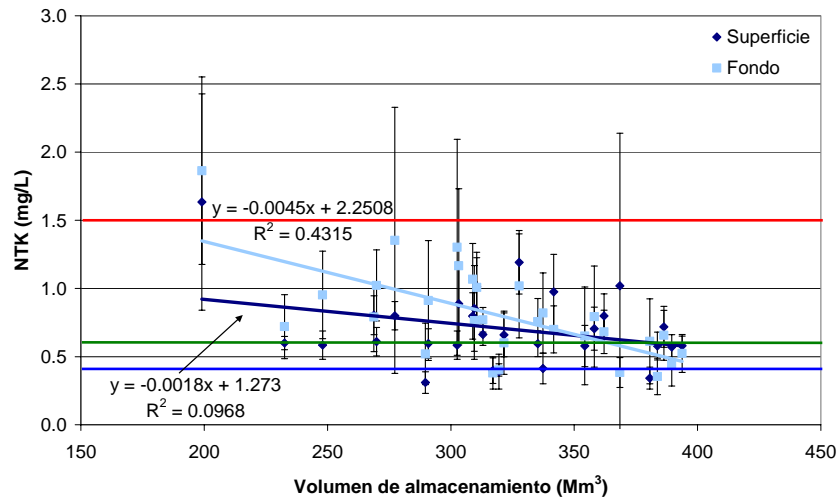


Figura 66. Nitrógeno total Kjeldahl en función del volumen de almacenamiento

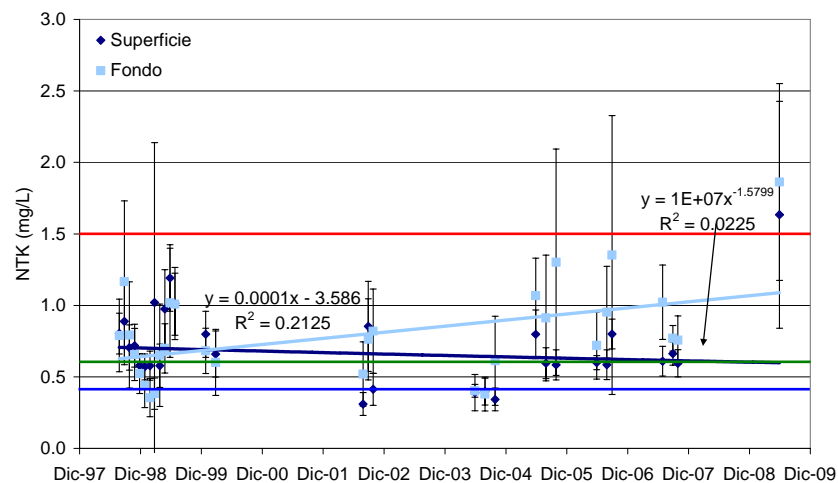
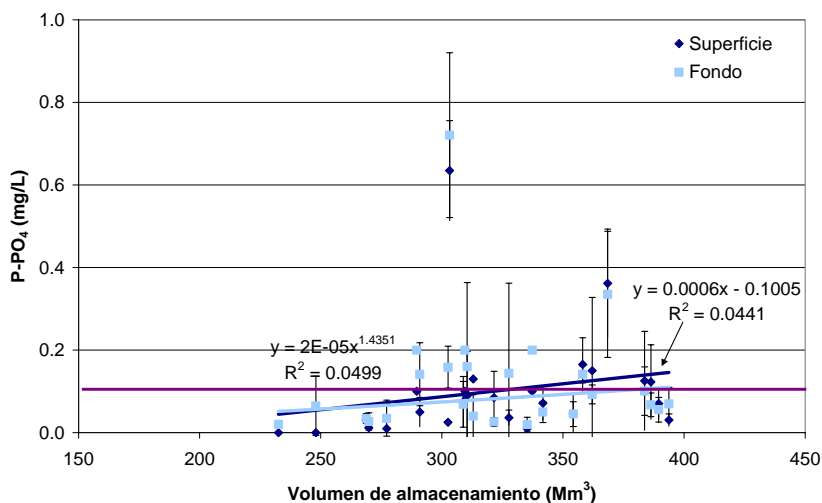


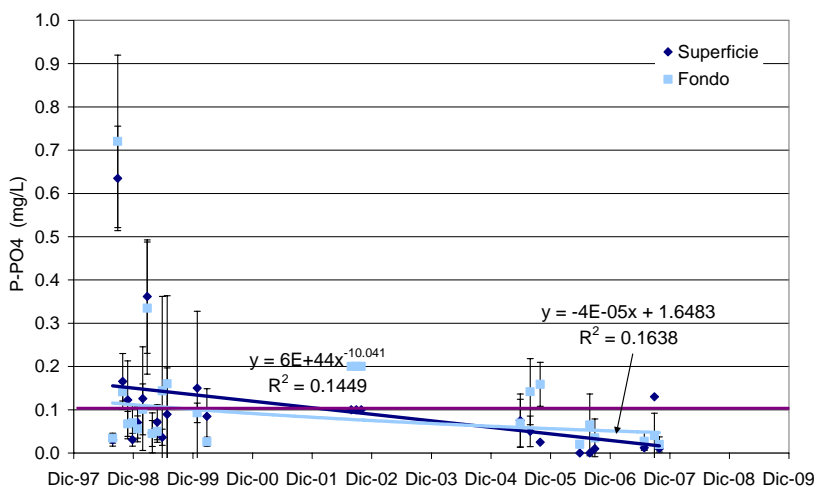
Figura 67. Nitrógeno total Kjeldahl en el agua en función del tiempo

### 3.6 Fosfatos

En la Figura 68 y Figura 69 se observa que las concentraciones de fosfatos medidas en el agua rebasan el límite establecido para agua como fuente de abastecimiento (DOF, 1989) a volúmenes superiores de 290 Mm<sup>3</sup>.



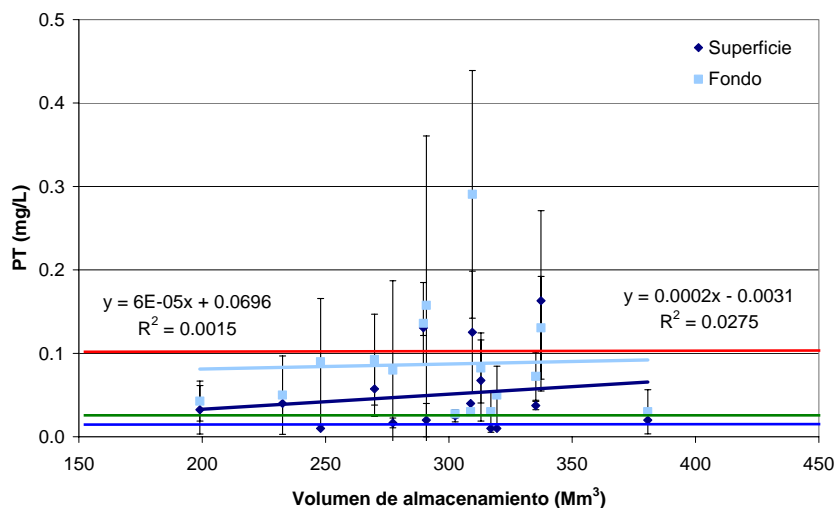
**Figura 68. Fosfatos en función del volumen de almacenamiento**



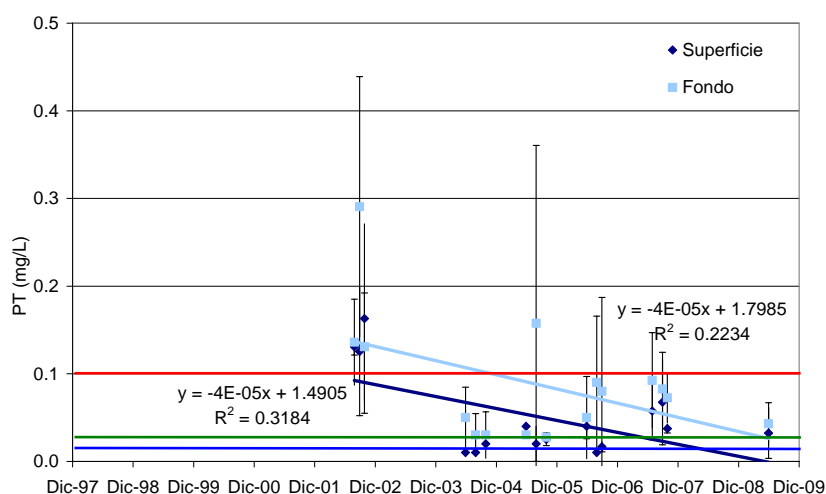
**Figura 69. Fosfatos en el agua en función del tiempo**

### 3.7 Fósforo total

Se observan concentraciones de fósforo total que clasifica al agua en la presa como eutrófica e hipereutrófica según la OECD (1982) (Figura 70 y Figura 71). Las concentraciones de fósforo total en agua de superficie tienden a ser menores que en el agua del fondo.



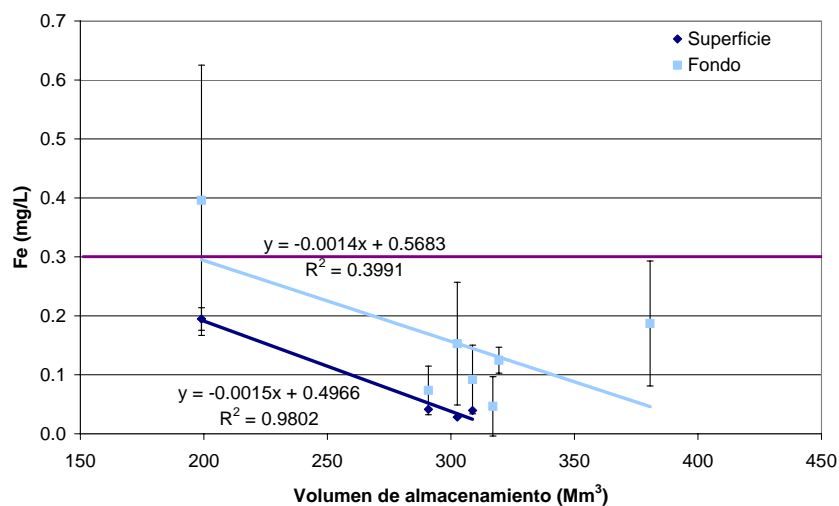
**Figura 70. Fósforo total en función del volumen de almacenamiento**



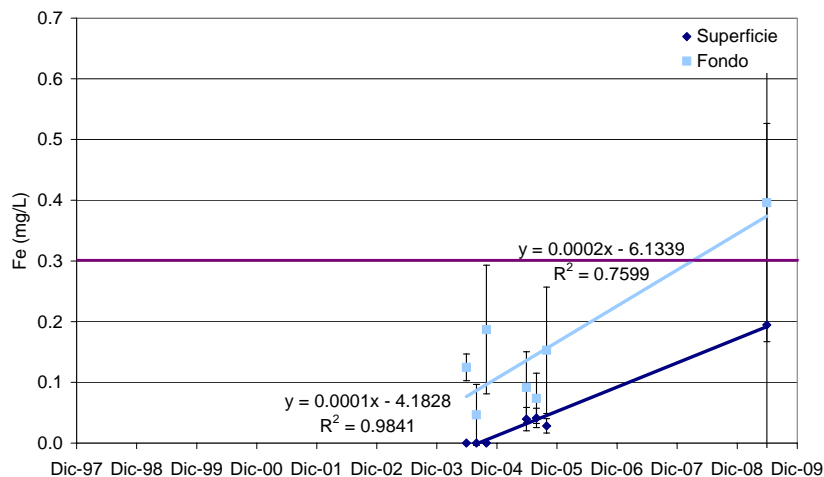
**Figura 71. Fósforo total en agua en función del tiempo**

### 3.8 Hierro, manganeso y aluminio

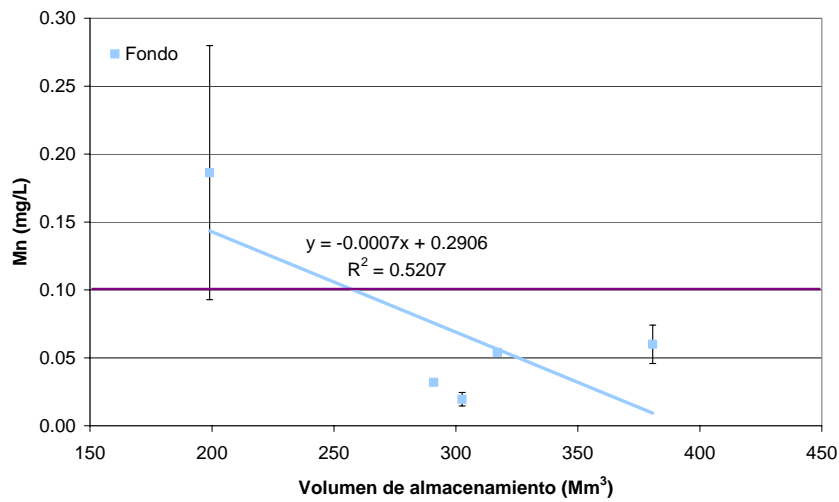
Las concentraciones de minerales en el agua se relaciona con la liberación de nutrientes bajo condiciones reducidas (anóxicas). Se observan tendencias significativas de aumentar las concentraciones de hierro en agua de superficie y de manganeso en el agua de fondo al disminuir el volúmen de almacenamiento (Figura 72 y Figura 74). Ambos metales muestran tendencias significativas de aumentar sus concentraciones con el tiempo (Figura 73 y Figura 75). Las concentraciones de aluminio en el agua de superficie tienden a disminuir con el tiempo en el periodo 2004-2007 (Figura 76 y Figura 77).



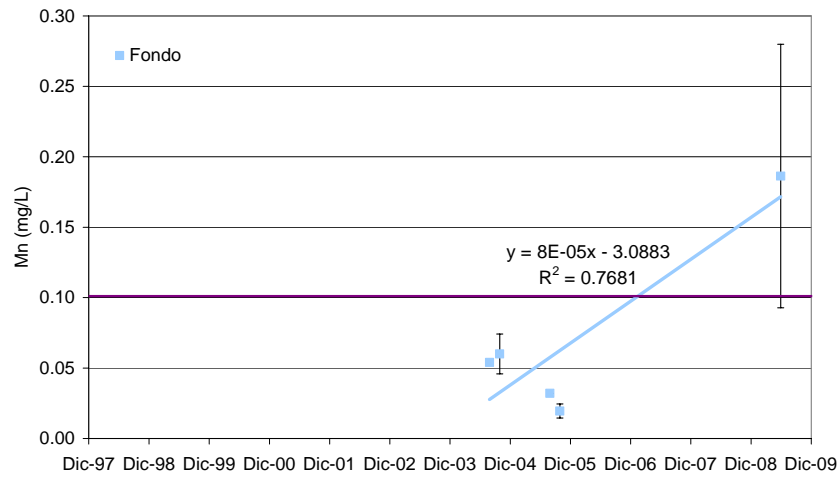
**Figura 72. Hierro en el agua función del volumen de almacenamiento**



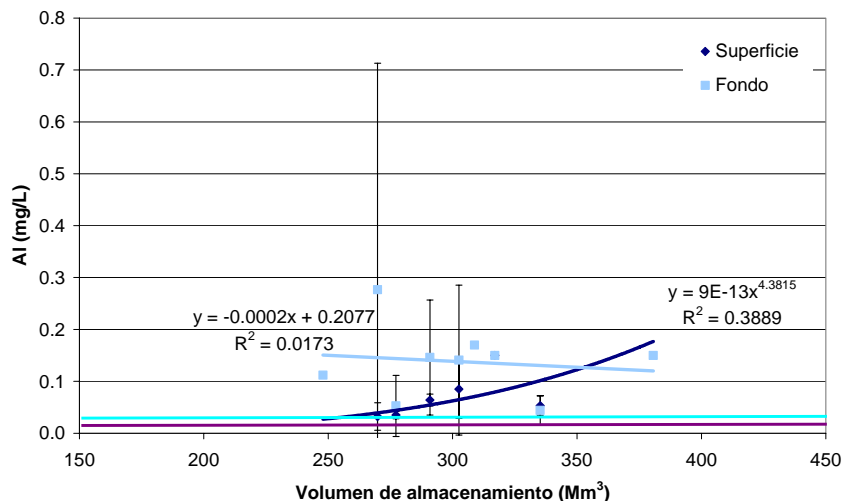
**Figura 73. Hierro en el agua en función del tiempo**



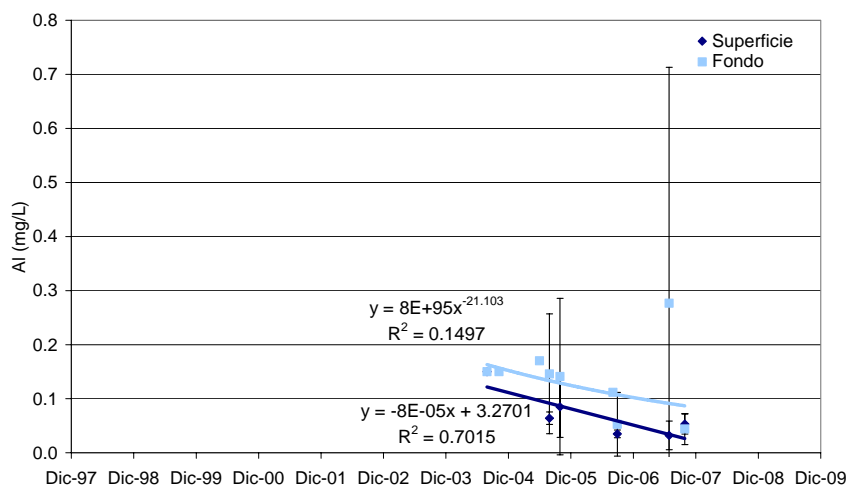
**Figura 74. Manganeso en el agua en función del volumen de almacenamiento**



**Figura 75. Manganeso en el agua en función del tiempo**



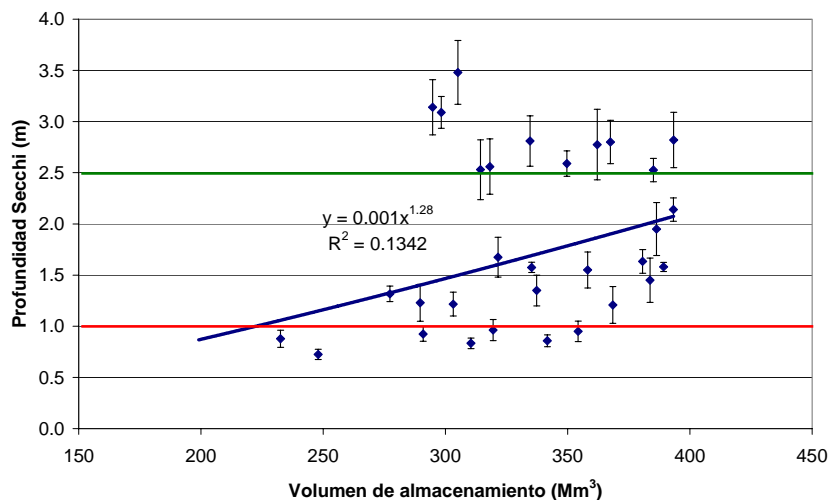
**Figura 76. Aluminio en el agua en función del volumen de almacenamiento**



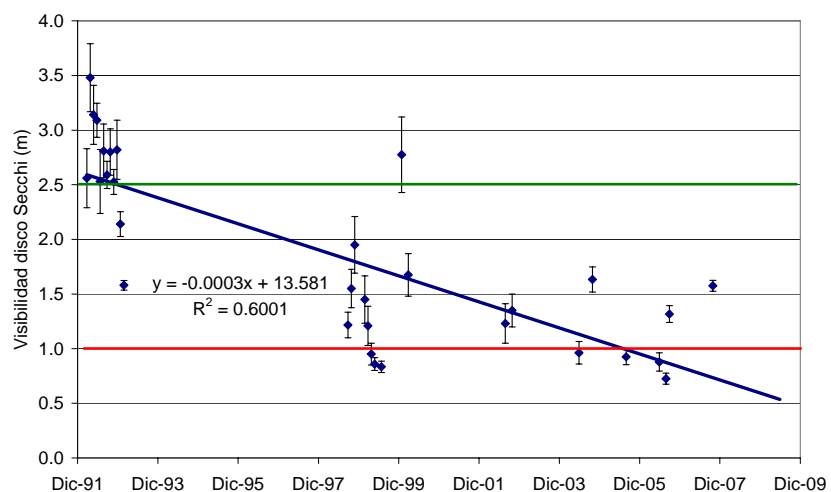
**Figura 77. Aluminio en el agua en función del tiempo**

### 3.9 Visibilidad del Disco Secchi

La visibilidad del Disco Secchi es uno de los parámetros utilizados para describir el estado trófico de cuerpos de agua (OECD, 1982). De acuerdo con esta clasificación el estado trófico de la presa varía entre mesotrófico e hipereutrófico (Figura 78). En la Figura 79 se observa que la visibilidad del Disco Secchi disminuye significativamente con respecto al tiempo.



**Figura 78. Visibilidad del Disco Secchi en función del volumen de almacenamiento (CV<0.15)**



**Figura 79. Visibilidad del Disco Secchi en función del tiempo (CV<0.15)**



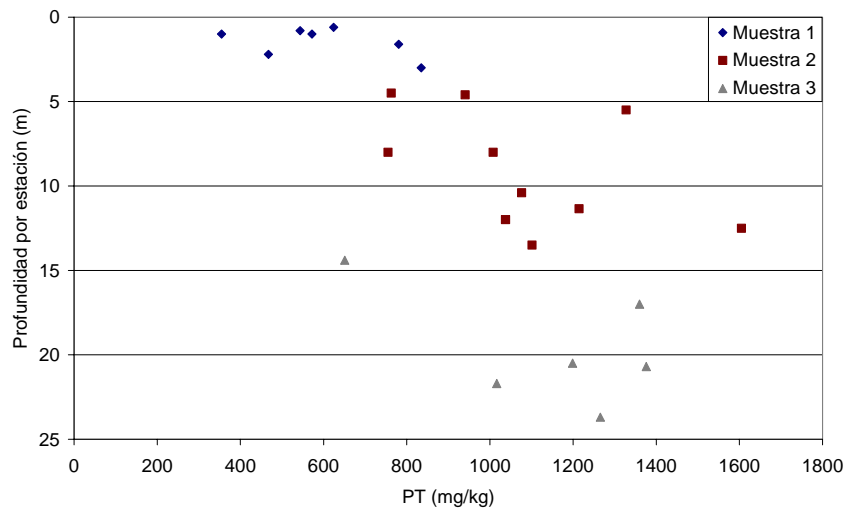
#### 4. Evaluación de la liberación de nitrógeno y fósforo de sedimentos

En este capítulo se describen los experimentos y los resultados de la liberación de minerales, nitrógeno y fósforo, respiración de los sedimentos como indicador de su actividad biológica y la extrapolación de los resultados para estimar la carga interna de nutrientes en la presa Valle de Bravo.

##### 4.1 Metodología para evaluar la liberación de nutrientes y minerales

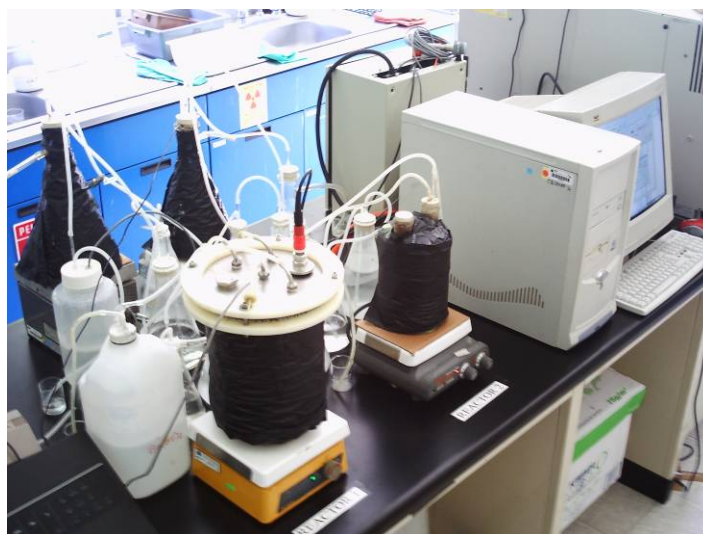
Para determinar la liberación de nutrientes y la respiración de los sedimentos, se realizaron experimentos en laboratorio de acuerdo a la metodología descrita por Miao *et al.* (2006) y por van Afferden *et al.* (2006).

Se prepararon tres muestras combinadas de sedimento y un duplicado. Se efectuó la combinación de las muestras en base a las profundidades de las estaciones de muestreo y sus concentraciones de fósforo. La liberación de nutrientes de las muestras combinadas de sedimento se evaluó en reactores. Se preparó una muestra combinada con sedimentos de estaciones con profundidad entre 0 y 3 m, que representan concentraciones bajas de fósforo; otra con sedimentos de las estaciones con profundidades entre 3 y 13.5 m con concentraciones de fósforo intermedias; la última muestra se combinó con sedimentos de las estaciones con profundidades mayores a 13.5 m y que representan concentraciones de fósforo más altas (Figura 80).



**Figura 80. Selección de muestras a combinar**

La relación agua:sedimento en los reactores fue de 8:1 (w/w). Los sedimentos fueron suspendidos con agitador magnético y los reactores se mantuvieron a temperatura de 25 °C y cubiertos para evitar la entrada de luz (Figura 81).



**Figura 81. Montaje experimental para evaluar la liberación de nutrientes**

En la Tabla 12 se observa la masa de sedimento húmedo y el volumen de agua agregada en cada reactor para obtener la relación agua:sedimento seco de 8:1. Se presentan también las concentraciones de fósforo total, nitrógeno total y materia orgánica en cada muestra combinada.

**Tabla 12. Relación agua-sedimento y concentración de nutrientes en cada reactor**

| Reactor | Sedimento húmedo (g) | Agua agregada (mL) | P <sub>T</sub> (mg/kg) | NTK (mg/kg)    | MO (%)    |
|---------|----------------------|--------------------|------------------------|----------------|-----------|
| 1*      | 1 838                | 2 662              | 597 ± 168.35           | 3482 ± 1976.74 | 16 ± 6.17 |
| 2*      | 919                  | 1 331              | 597 ± 168.35           | 3482 ± 1976.74 | 16 ± 6.17 |
| 3       | 2 250                | 0                  | 1083 ± 255.63          | 3394 ± 614.27  | 13 ± 1.93 |
| 4       | 1 919                | 331                | 1145 ± 274.79          | 3457 ± 837.04  | 13 ± 1.26 |

Las concentraciones son mostradas en promedio ± desviación estándar

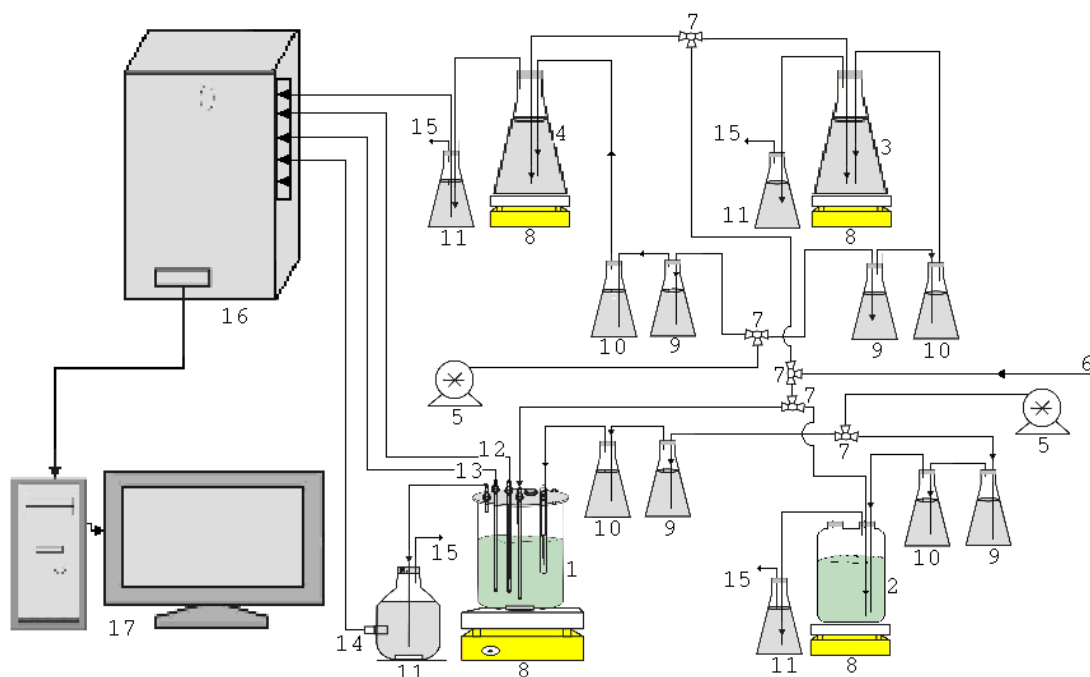
\* Duplicados

En la Figura 82 se presenta en forma esquemática el montaje experimental. Cada reactor tiene una conexión para alimentar gas inerte (N<sub>2</sub>) y una para alimentar aire, dependiendo las condiciones reducidas u oxidadas que se requieran. El flujo de aire es pasado previamente por una solución de Ba(OH)<sub>2</sub> con el objetivo de eliminar el CO<sub>2</sub> contenido en los gases. Posterior al reactor es atrapado el CO<sub>2</sub> producido por los sedimentos en una solución de Ba(OH)<sub>2</sub>.

El pH, la temperatura y la conductividad eléctrica de la solución alcalina son registrados con un medidor equipado con sensor de pH, de temperatura y de conductividad

eléctrica e interfase RS-232, que permite la transferencia de datos a una computadora personal.

Para cuantificar la influencia del potencial redox (Eh) en la distribución de nutrientes en sedimentos, se varió el Eh de -200 a +500 mV en intervalos de 50 mV y dejando estabilizar dos días después de cada incremento. Al llegar a +500 mV, el Eh es reducido nuevamente en intervalos de 50 mV hasta su valor inicial de acuerdo con la metodología descrita por Miao *et al.* (2006).



**Figura 82. Diagrama de flujo del sistema de liberación de nutrientes**

**Leyenda**

- |  |   |
|--|---|
| 1. Reactor uno   | 11. Trampa de Ba(OH) <sub>2</sub> para CO <sub>2</sub> generado |
| 2. Reactor dos (duplicado)   | 12. Termopar  |
| 3. Reactor tres  | 13. Electrodo ce pH   |
| 4. Reactor cuatro  | 14. Electrodo de conductividad                                  |
| 5. Bombas de aire  | 15. Salida de gas a la atmósfera                                |
| 6. Alimentación de gas inerte (N <sub>2</sub> )                            | 16. Caja de interconexiones del sistema de adquisición de datos |
| 7. Válvula de tres vías  | 17. Computador con sistema de adquisición de datos              |
| 8. Parrilla de agitación   |   |
| 9. Trampa de seguridad de Ba(OH) <sub>2</sub> para CO <sub>2</sub> en aire |   |
| 10. Trampa de agua para Ba(OH) <sub>2</sub>                                |   |

Para alcanzar estos Eh se inyectaron N<sub>2</sub> o aire. En cada intervalo se monitorearon pH con potenciómetro marca WTW modelo 340i y electrodo Sentix 41-3 y Eh con potenciómetro Orion modelo EA 940 y electrodo Redox combinado marca Corning.

Se tomaron alícuotas de 40 mL de la suspensión agua-sedimento, las cuales fueron centrifugadas durante 20 min a 9 000 rpm. Con el sobrenadante de cada muestra se determinaron amonio, nitratos, nitrógeno total, fosfatos, fósforo total, hierro y manganeso liberados del sedimento, con espectrofotómetro Merck de acuerdo con los métodos anteriormente descritos.

Se calculó la liberación de estos parámetros por masa de sedimento utilizando la siguiente ecuación:

$$C_1 = \left( \frac{C_0}{125} \right) \times 1000 \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

- C<sub>0</sub> = concentración en el sobrenadante, mg/L
- C<sub>1</sub> = liberación por masa de sedimento, mg/kg
- 125 = relación agua:sedimento (8;1), g/L

Se evaluó la respiración de los sedimentos a partir de la generación de CO<sub>2</sub> en las muestras compuestas de los reactores 1 y 4. El CO<sub>2</sub> producto de la actividad microbiana en los sedimentos se monitoreó a través de la variación de la conductividad eléctrica en una solución de Ba(OH)<sub>2</sub>. El CO<sub>2</sub> reacciona con el Ba(OH)<sub>2</sub> y forma BaCO<sub>3</sub>, que precipita, provocando una disminución en la conductividad eléctrica de la solución (van Afferden *et al.*, 2006).

La aplicación de esta metodología requiere la medición de temperatura en la solución de Ba(OH)<sub>2</sub>, ya que este parámetro tiene una fuerte influencia sobre los valores medidos de conductividad eléctrica. Los datos de temperatura se ajustarán con la ecuación 9, misma que permite la normalización de las mediciones de conductividad hechas a diferentes temperaturas. Asimismo, se utilizó la ecuación 10 para la corrección de conductividad del agua utilizada en la preparación de la solución de Ba(OH)<sub>2</sub> (0.003 mS/cm a 25 °C).

$$a[T_x] = 0.00658 \times T_x + 0.2297 \quad \text{Ec. 9}$$

$$k[T_x] = 0.0002 \times T_x + 0.0077 \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

- a[T<sub>x</sub>] = factor de ajuste de la conductividad como función de la temperatura, mS/cm mM

$T_x$  = temperatura en el tiempo  $x$ , °C

$k[T_x]$  = conductividad eléctrica de agua a temperatura  $T_x$ , mS/cm

Debido a que los cambios en la concentración de  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  son estequiométricamente proporcionales al flujo de  $\text{CO}_2$ , es posible determinar el  $\text{CO}_2$  generado mediante la ecuación 11, la cual considera la temperatura corregida y la corrección de la conductividad del agua (Ecuaciones 9 y 10).

$$\Delta n_{\text{CO}_2} = \left[ \frac{S_{T1} - k[T_1]}{a[T_1]} - \frac{S_{T2} - k[T_2]}{a[T_2]} \right] \times V \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

$\Delta n_{\text{CO}_2}$  = moles de  $\text{CO}_2$  evolucionado, mmol

$S_{T1}$  = conductividad medida en tiempo y temperatura 1, mS/cm

$S_{T2}$  = conductividad medida en tiempo y temperatura 2, mS/cm

$k[T_1]$  = conductividad del agua en tiempo y temperatura 1, mS/cm

$k[T_2]$  = conductividad del agua en tiempo y temperatura 2, mS/cm

$a[T_1]$  = factor de ajuste de la conductividad en tiempo y temperatura 1, mS/cm mM

$a[T_2]$  = factor de ajuste de la conductividad en tiempo y temperatura 2, mS/cm mM

$V$  = volumen de la solución de  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  en la trampa de  $\text{CO}_2$ , L

## 4.2 Resultados de liberación de nutrientes y minerales en sedimento

Los resultados de liberación de nutrientes y minerales de muestras compuestas de sedimentos de las diferentes zonas del embalse, se presentan de la Tabla 13 a la Tabla 16.

En las Figura 83 a la Figura 86 se presentan los resultados de liberación de minerales y nutrientes con respecto al potencial redox. Se observa la tendencia a aumentar la liberación de nitrógeno total conforme incrementa el potencial redox (Figura 83), Se observa también que los sedimentos provenientes de profundidades mayores a 3 m muestran mayor liberación de nitrógeno que los sedimentos provenientes de zonas someras. El aumento en la liberación de nitrógeno total en condiciones oxidadas se debe a la descomposición del nitrógeno orgánico a nitrógeno inorgánico, formando amonio y posteriormente, nitratos (Pacheco-Avila *et al.*, 2002).

La liberación de fósforo disminuye al aumentar el potencial redox (Figura 84). Bajo condiciones reducidas ( $E_h < 0$  mV), los sedimentos de zonas someras liberan menos fósforo que los sedimentos de las zonas intermedias y profundas.

**Tabla 13. Liberación de nutrientes y minerales. Zonas someras (0-3 m)**

| Eh (mV) | pH   | T (°C) | N <sub>T</sub> (mg/kg) | N-NH <sub>4</sub> (mg/kg) | N-NO <sub>3</sub> (mg/kg) | P <sub>T</sub> (mg/kg) | PO <sub>4</sub> (mg/kg) | Fe (mg/kg) | Mn (mg/kg) |
|---------|------|--------|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|------------|------------|
| -197.6  | 6.94 | 26     | 40.0                   | 35.2                      | 2.4                       | 0.8                    | 2.4                     | 14.4       | 9.4        |
| -160.2  | 6.88 | 25     | 48.8                   | 38.4                      | 3.2                       | 0.5                    | 1.6                     | 13.8       | 9.3        |
| -99.3   | 6.81 | 26     | 76.0                   | 36.0                      | 27.2                      | 0.7                    | 2.4                     | 11.8       | 7.7        |
| -54.0   | 6.77 | 24     | 84.8                   | 26.4                      | 38.4                      | 0.6                    | 1.6                     | 7.8        | 5.4        |
| -2.3    | 6.64 | 24     | 98.4                   | 31.2                      | 60.8                      | 0.6                    | 1.6                     | 5.2        | 3.6        |
| 52.3    | 6.98 | 25     | 83.2                   | 14.4                      | 65.6                      | 0.9                    | 4.0                     | 6.0        | 1.0        |
| 103.7   | 6.56 | 24     | 101.6                  | 18.4                      | 72.8                      | 0.8                    | 2.4                     | 3.2        | 1.0        |
| 156.4   | 6.48 | 24     | 91.2                   | 9.6                       | 77.6                      | 0.7                    | 2.4                     | 3.2        | 2.6        |
| 209.9   | 6.70 | 24     | 88.4                   | 2.4                       | 85.2                      | 0.6                    | 1.6                     | 1.8        | 1.3        |
| 253.1   | 6.78 | 25     | 92.0                   | 2.4                       | 86.4                      | 0.5                    | 1.6                     | 2.2        | 1.8        |
| 305.4   | 6.87 | 25     | 90.4                   | 2.4                       | 83.2                      | 0.5                    | 1.6                     | 2.2        | 2.1        |
| 355.2   | 6.93 | 25     | 92.0                   | 2.4                       | 84.0                      | 0.6                    | 1.6                     | 2.1        | 2.6        |
| 408.4   | 6.86 | 25     | 103.2                  | 2.4                       | 91.2                      | 0.6                    | 1.6                     | 2.2        | 1.7        |

**Tabla 14. Liberación de nutrientes y minerales. Zonas someras (0-3 m duplicado)**

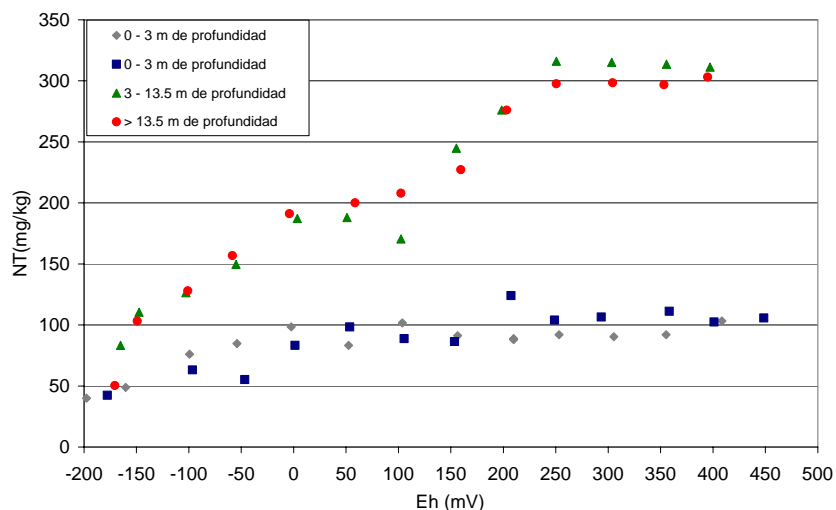
| Eh (mV) | pH   | T (°C) | N <sub>T</sub> (mg/kg) | N-NH <sub>4</sub> (mg/kg) | N-NO <sub>3</sub> (mg/kg) | P <sub>T</sub> (mg/kg) | PO <sub>4</sub> (mg/kg) | Fe (mg/kg) | Mn (mg/kg) |
|---------|------|--------|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|------------|------------|
| -177.8  | 7.16 | 26     | 42.4                   | 36.0                      | 4.8                       | 3.6                    | 10.8                    | 232.8      | 13.6       |
| -96.6   | 6.92 | 25     | 63.2                   | 37.6                      | 6.4                       | 1.3                    | 4.2                     | 222.1      | 11.8       |
| -46.7   | 6.87 | 26     | 55.2                   | 41.6                      | 12.8                      | 1.2                    | 3.9                     | 207.8      | 4.3        |
| 1.3     | 6.84 | 25     | 83.2                   | 41.6                      | 30.4                      | 1.2                    | 3.6                     | 197.1      | 2.5        |
| 53.4    | 6.75 | 24     | 98.4                   | 43.2                      | 53.6                      | 0.6                    | 2.4                     | 182.1      | 1.8        |
| 105.5   | 6.63 | 25     | 88.8                   | 23.2                      | 59.2                      | 0.9                    | 4.8                     | 106.4      | 1.3        |
| 153.4   | 6.82 | 24     | 86.4                   | 21.6                      | 62.4                      | 0.8                    | 2.4                     | 83.2       | 0.8        |
| 207.3   | 6.74 | 24     | 124.0                  | 12.0                      | 106.4                     | 0.6                    | 2.4                     | 83.6       | 1.3        |
| 248.9   | 6.91 | 24     | 104.0                  | 2.4                       | 101.6                     | 0.5                    | 1.6                     | 2.3        | 0.6        |
| 293.5   | 7.17 | 25     | 106.4                  | 2.4                       | 96.0                      | 0.6                    | 1.6                     | 2.4        | 1.1        |
| 358.4   | 7.37 | 25     | 111.2                  | 2.4                       | 100.8                     | 0.6                    | 1.6                     | 2.1        | 1.7        |
| 400.9   | 7.45 | 25     | 102.4                  | 2.4                       | 96.8                      | 0.6                    | 1.6                     | 3.7        | 1.9        |
| 448.6   | 7.56 | 25     | 105.6                  | 2.4                       | 100.0                     | 0.6                    | 1.6                     | 2.5        | 1.3        |

**Tabla 15. Liberación de nutrientes y minerales. Zonas intermedias (3-13.5 m)**

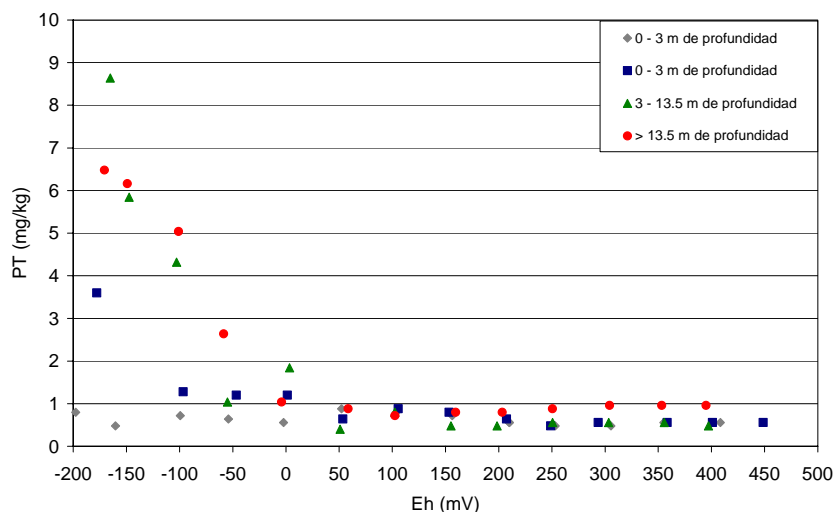
| Eh (mV) | pH   | T (°C) | N <sub>T</sub> (mg/kg) | N-NH <sub>4</sub> (mg/kg) | N-NO <sub>3</sub> (mg/kg) | P <sub>T</sub> (mg/kg) | PO <sub>4</sub> (mg/kg) | Fe (mg/kg) | Mn (mg/kg) |
|---------|------|--------|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|------------|------------|
| -165.1  | 7.01 | 27     | 83.2                   | 81.0                      | 2.2                       | 8.6                    | 26.4                    | 307.2      | 39.4       |
| -147.4  | 6.73 | 25     | 110.4                  | 60.0                      | 47.2                      | 5.8                    | 18.4                    | 281.8      | 30.6       |
| -102.8  | 6.49 | 25     | 126.4                  | 66.0                      | 44.4                      | 4.3                    | 12.8                    | 184.0      | 17.0       |
| -55.0   | 6.25 | 24     | 149.6                  | 66.4                      | 80.8                      | 1.0                    | 3.2                     | 162.8      | 22.4       |
| 3.4     | 6.45 | 26     | 187.2                  | 57.6                      | 125.6                     | 1.8                    | 5.6                     | 130.4      | 14.4       |
| 50.9    | 6.50 | 25     | 188.0                  | 49.8                      | 123.8                     | 0.4                    | 1.6                     | 148.0      | 28.2       |
| 102.4   | 6.85 | 24     | 170.4                  | 48.6                      | 105.8                     | 0.8                    | 2.4                     | 120.0      | 25.3       |
| 155.2   | 6.36 | 24     | 244.8                  | 42.4                      | 188.0                     | 0.5                    | 1.6                     | 87.2       | 20.5       |
| 198.5   | 4.76 | 25     | 276.0                  | 15.2                      | 260.0                     | 0.5                    | 1.6                     | 10.0       | 20.2       |
| 250.6   | 4.41 | 24     | 316.0                  | 13.6                      | 284.8                     | 0.6                    | 1.6                     | 12.0       | 19.2       |
| 303.4   | 4.35 | 25     | 315.2                  | 12.8                      | 285.6                     | 0.6                    | 1.6                     | 11.4       | 18.9       |
| 355.6   | 4.24 | 25     | 313.6                  | 8.0                       | 288.8                     | 0.6                    | 1.6                     | 9.4        | 18.4       |
| 397.2   | 4.12 | 25     | 311.2                  | 10.4                      | 283.2                     | 0.5                    | 1.6                     | 9.8        | 19.2       |

**Tabla 16. Liberación de nutrientes y minerales. Zonas profundas (>13.5 m)**

| Eh (mV) | pH   | T (°C) | N <sub>T</sub> (mg/kg) | N-NH <sub>4</sub> (mg/kg) | N-NO <sub>3</sub> (mg/kg) | P <sub>T</sub> (mg/kg) | PO <sub>4</sub> (mg/kg) | Fe (mg/kg) | Mn (mg/kg) |
|---------|------|--------|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|------------|------------|
| -170.7  | 6.68 | 27     | 50.4                   | 46.4                      | 2.4                       | 6.5                    | 20.0                    | 342.4      | 63.4       |
| -149.2  | 6.71 | 25     | 103.2                  | 46.4                      | 54.4                      | 6.2                    | 19.2                    | 306.4      | 40.0       |
| -101.0  | 6.38 | 25     | 128.0                  | 36.8                      | 84.8                      | 5.0                    | 15.2                    | 279.2      | 28.2       |
| -58.5   | 6.20 | 26     | 156.8                  | 33.6                      | 97.6                      | 2.6                    | 8.0                     | 194.4      | 22.7       |
| -4.1    | 6.33 | 24     | 191.2                  | 27.2                      | 155.2                     | 1.0                    | 3.2                     | 122.0      | 10.2       |
| 58.5    | 6.10 | 25     | 200.0                  | 22.4                      | 158.4                     | 0.9                    | 1.6                     | 132.0      | 37.1       |
| 102.4   | 6.31 | 24     | 208.0                  | 20.0                      | 180.0                     | 0.7                    | 1.6                     | 96.0       | 28.5       |
| 159.5   | 6.21 | 24     | 227.2                  | 20.0                      | 188.0                     | 0.8                    | 1.6                     | 132.0      | 12.2       |
| 203.3   | 3.58 | 24     | 276.0                  | 20.8                      | 251.2                     | 0.8                    | 2.4                     | 104.0      | 13.8       |
| 250.5   | 3.64 | 25     | 297.6                  | 16.8                      | 276.0                     | 0.9                    | 3.2                     | 49.2       | 15.1       |
| 304.2   | 3.65 | 25     | 298.4                  | 14.4                      | 279.2                     | 1.0                    | 3.2                     | 47.2       | 13.9       |
| 353.3   | 3.73 | 25     | 296.8                  | 12.0                      | 282.4                     | 1.0                    | 3.2                     | 44.8       | 13.4       |
| 394.9   | 3.54 | 25     | 302.8                  | 12.0                      | 291.6                     | 1.0                    | 3.2                     | 40.3       | 13.8       |



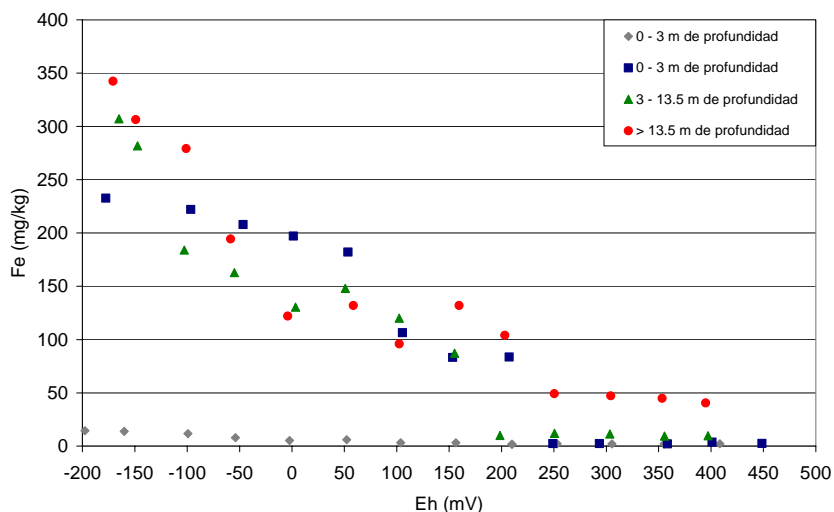
**Figura 83. Nitrógeno liberado como función del potencial redox**



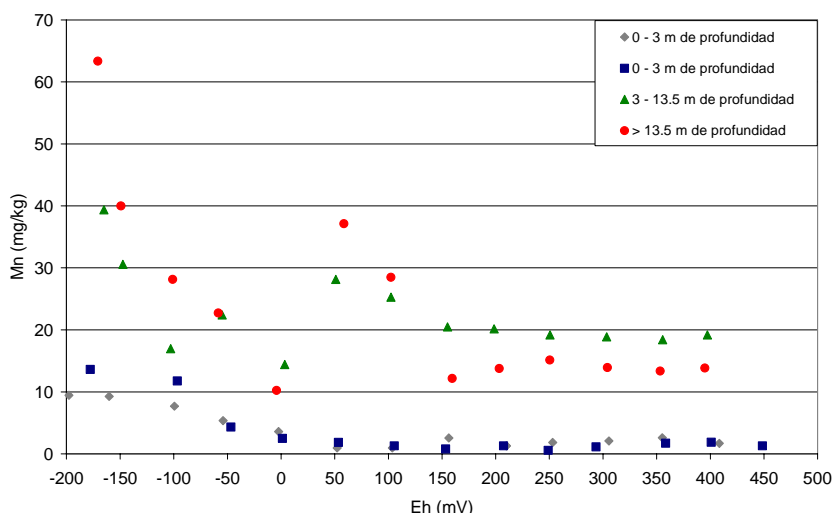
**Figura 84. Fósforo liberado como función del potencial redox**

Se observa una tendencia de liberarse hierro (Figura 85) y manganeso (Figura 86) conforme disminuye el potencial redox, indicando una reducción a formas más móviles de estos metales, que causa también la disolución de fósforo.

Bajo condiciones reducidas, el hierro y el manganeso se encuentran solubles como iones metálicos ( $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ) que al oxidarse el sistema, se oxidan a  $Fe(III)$  y  $Mn(IV)$ , que forman precipitados que sirven como adsorbentes de fósforo (Miao *et al.*, 2006).



**Figura 85. Hierro liberado como función del potencial redox**

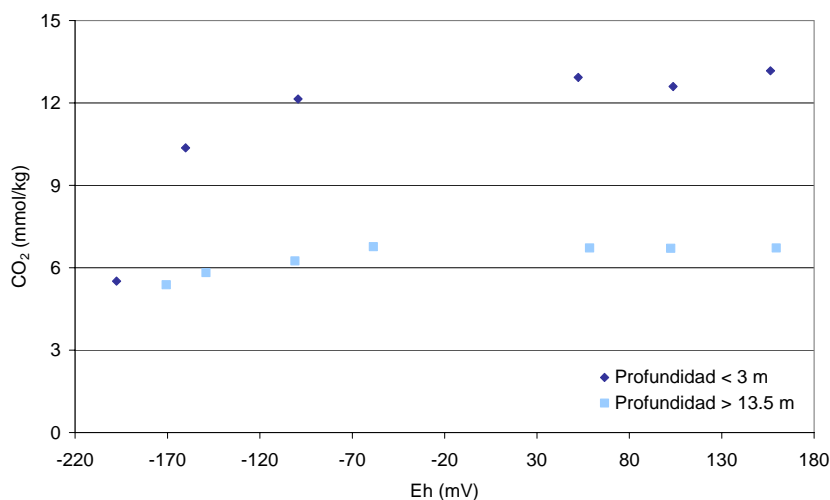


**Figura 86. Manganeso liberado como función del potencial redox**

### 4.3 Resultados de la respiración de sedimentos

Los valores de CO<sub>2</sub>, producto de la respiración microbiana en los sedimentos, se presentan en la Figura 87, así como en la Tabla 58 y Tabla 59 del Anexo 3.

La generación de CO<sub>2</sub> en sedimentos de zonas someras (profundidad < 3 m), incrementa al aumentar el potencial redox (Figura 87) hasta alcanzar ~13 mmol/kg donde aparentemente se oxidó la materia orgánica biodegradable. En sedimentos de las zonas profundas (profundidad > 13.5 m) se generaron sólo 6.7 mmol de CO<sub>2</sub> por kg de sedimento. La mayor generación de CO<sub>2</sub> en sedimento de zonas someras puede atribuirse a la mayor concentración de materia orgánica (Tabla 12).



**Figura 87. CO<sub>2</sub> generado en muestras compuestas de sedimentos**

Al mineralizarse la materia orgánica se genera CO<sub>2</sub> y otros constituyentes tales como fósforo y nitrógeno, ocasionando un aporte adicional a la carga interna de nutrientes de la presa. Esto se puede ver en los resultados de liberación de nutrientes, donde al aumentar el potencial redox se observa un incremento en el contenido de nitrógeno total en solución (Figura 83). Este efecto no es visible para el caso del fósforo, ya que disminuye al aumentar el potencial redox, probablemente debido a que esta siendo atrapado en la fracción inorgánica de los sedimentos, a través de la formación de complejos con hierro y manganeso.

#### 4.4 Estimación de la carga interna de nitrógeno y fósforo

Para determinar la carga interna de nutrientes en la presa Valle de Bravo debido a variaciones en potencial redox, se extrapolaron los resultados de liberación de nitrógeno y fósforo, considerando un espesor de sedimentos de 0.15 m (Cooke *et al.*, 2005) con densidad de 150.75 kg/m<sup>3</sup> (Carnero-Bravo, 2008) y valores de potencial redox medidos mensualmente en la presa durante el periodo de enero 2002 a agosto 2005 (Ramírez-Zierold *et al.*, 2009). En la Tabla 17 se muestran los valores promedio mensuales de potencial redox para diferentes profundidades.

Es importante mencionar que los potenciales redox reportados por estos autores son datos promedio mensuales reportados para cada profundidad de agua en la presa. Para una mejor estimación de la carga interna, se requiere contar con información de potenciales redox en las diferentes zonas del embalse. Para ello se propone realizar una campaña de medición de potencial redox durante los meses de estratificación (de febrero a abril) y desestratificación del embalse (de agosto a octubre).

**Tabla 17. Promedio mensual de potencial redox (mV) para diferentes profundidades**

| Profundidad (m) | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic   |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0               | 342.5 | 342.5 | 325.0 | 297.5 | 275.0 | 262.5 | 262.5 | 212.5 | 200.0 | 206.7 | 290.0 | 306.7 |
| 4               | 342.5 | 342.5 | 325.0 | 297.5 | 275.0 | 262.5 | 262.5 | 222.5 | 200.0 | 206.7 | 290.0 | 306.7 |
| 8               | 337.5 | 342.5 | 325.0 | 292.5 | 260.0 | 240.0 | 262.5 | 237.5 | 216.7 | 216.7 | 283.3 | 306.7 |
| 12              | 350.0 | 342.5 | 325.0 | 292.5 | 231.3 | 162.5 | 147.5 | 162.5 | 166.7 | 233.3 | 240.0 | 306.7 |
| 16              | 350.0 | 350.0 | 325.0 | 267.5 | 212.5 | 82.5  | 93.8  | 85.0  | 83.3  | 131.7 | 173.3 | 306.7 |
| 20              | 350.0 | 350.0 | 325.0 | 250.0 | 175.0 | 73.8  | 63.8  | 63.8  | 50.0  | 91.7  | 116.7 | 306.7 |
| 24              | 350.0 | 350.0 | 325.0 | 220.0 | 137.5 | 68.8  | 60.0  | 43.8  | 43.3  | 55.0  | 106.7 | 306.7 |
| 28              | 350.0 | 350.0 | 325.0 | 215.0 | 137.5 | 56.3  | 56.3  | 42.5  | 38.3  | 55.0  | 106.7 | 306.7 |
| 32              | 350.0 | 350.0 | 325.0 | 240.0 |       |       |       |       |       | 70.0  | 106.7 | 306.7 |

Adaptado de Ramírez-Zierold *et al.* (2009)

Las concentraciones de nitrógeno total y de fósforo total obtenidas experimentalmente, fueron multiplicadas por la densidad del sedimento y por el espesor de sedimento definido, para obtener la liberación por unidad de área del fondo del embalse (Ecuación 12). Las tablas con los resultados obtenidos de nitrógeno total y fósforo total se muestran en el Anexo 3. Los resultados son graficados con respecto al potencial redox (Figura 88 a Figura 90).

$$C_1 = C_0 \cdot \rho \cdot L \quad \text{Ec. 12}$$

Donde

$C_1$  = liberación, mg/m<sup>2</sup>

$C_0$  = liberación, mg/kg

$\rho$  = densidad de sedimentos, kg/m<sup>3</sup>

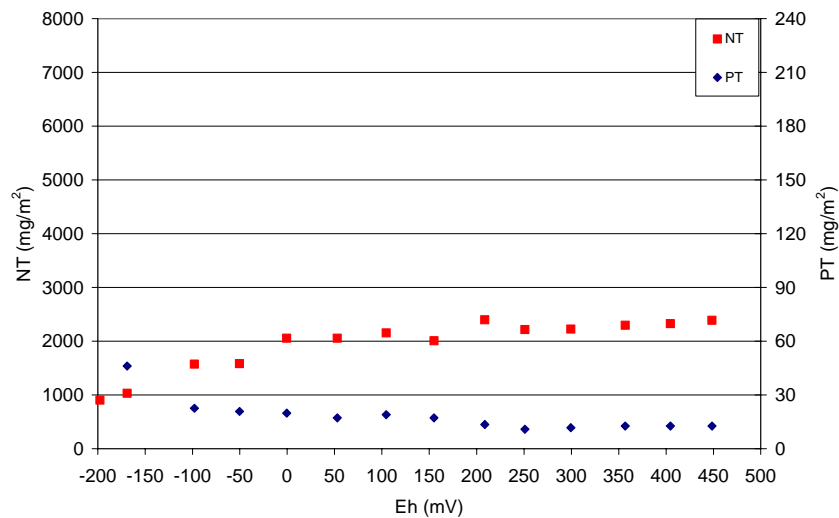
$L$  = espesor de sedimento, m

Aplicando el Surfer v. 8, se calcularon las áreas de las tres zonas de profundidad consideradas (Tabla 18).

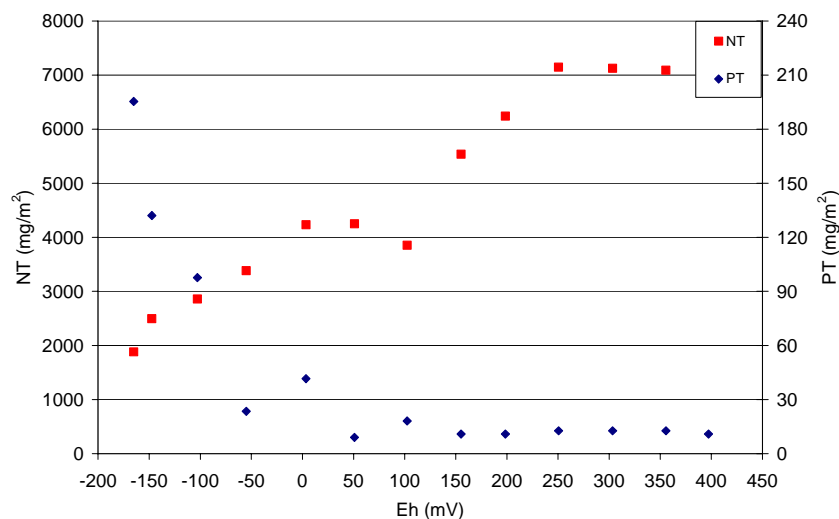
**Tabla 18. Zonas en la presa Valle de Bravo**

| Zona       | Profundidad (m) | Área (m <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------------|------------------------|
| Somera     | 0 - 3           | 1,265 071              |
| Intermedia | 3 - 13.5        | 8,510 230              |
| Profunda   | > 13.5          | 7,001 360              |

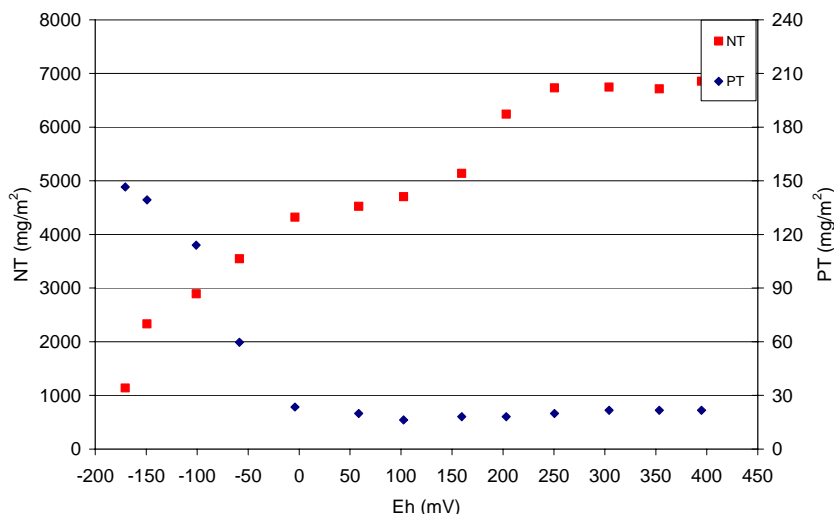
Se estimó la carga acumulada de fósforo y nitrógeno utilizando los resultados experimentales (Figura 88 a Figura 90) y los valores de potencial redox promedio reportados para las zonas de la presa (Tabla 19). La carga mensual se calculó por diferencia entre el mes actual y el anterior. Valores positivos indican la liberación de nutrientes y valores negativos, la acumulación en sedimentos.



**Figura 88. Liberación de fósforo total y nitrógeno total, zona somera**



**Figura 89. Liberación de fósforo total y nitrógeno total, zona intermedia**



**Figura 90. Liberación de fósforo total y nitrógeno total, zona profunda**

**Tabla 19. Promedio mensual de potencial redox por zona (mV)**

| Zonas      | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic   |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Somera     | 342.5 | 342.5 | 325.0 | 297.5 | 275.0 | 262.5 | 262.5 | 212.5 | 200.0 | 206.7 | 290.0 | 306.7 |
| Intermedia | 343.3 | 342.5 | 325.0 | 294.2 | 255.4 | 221.7 | 224.2 | 207.5 | 194.4 | 218.9 | 271.1 | 306.7 |
| Profunda   | 350.0 | 350.0 | 325.0 | 238.5 | 165.6 | 70.3  | 68.4  | 58.8  | 53.8  | 80.7  | 122.0 | 306.7 |

Adaptado de Ramírez-Zierold *et al.* (2009)

Según estas estimaciones, la carga interna de fósforo (Tabla 20) ocurre principalmente en las zonas profundas de la presa y durante el periodo de marzo a septiembre, cuando se encuentra estratificada el agua. Durante los meses de octubre a febrero, correspondiente a la época de mezcla de la columna de agua, se observa una acumulación de fósforo en sedimentos que, como se discutió arriba, se debe a la adsorción en los óxidos de hierro y manganeso que se forman bajo las condiciones oxidadas.

Los meses con carga interna de nitrógeno se presentan de octubre a enero (Tabla 21). Cuando se presenta la estratificación en la presa a partir de febrero, se observa una tendencia de acumularse el nitrógeno en los sedimentos. Se observa que el mayor aporte de nitrógeno proviene de las zonas intermedia y profunda.

Las cargas internas estimadas de  $N_T$  y  $P_T$  fueron de 1 153.5 t/año y 3.7 t/año respectivamente. Sin embargo, para realizar una estimación más fidedigna de carga interna, se requiere contar con información de potenciales redox en las diferentes zonas del embalse.

**Tabla 20. Carga interna de fósforo en la presa Valle de Bravo (kg)**

| Área         | Somera          |               | Intermedia      |               | Profunda        |               | Total mensual |
|--------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|
|              | Carga acumulada | Carga mensual | Carga acumulada | Carga mensual | Carga acumulada | Carga mensual |               |
| Ene          | 15              | -1            | 69              | -12           | 99              | -16           | -29           |
| Feb          | 15              | 0             | 69              | 0             | 99              | 0             | 0             |
| Mar          | 16              | 1             | 75              | 6             | 108             | 9             | 16            |
| Abr          | 17              | 1             | 86              | 11            | 146             | 38            | 50            |
| May          | 17              | 0             | 103             | 17            | 189             | 43            | 60            |
| Jun          | 18              | 1             | 120             | 17            | 264             | 75            | 93            |
| Jul          | 18              | 0             | 119             | -1            | 265             | 1             | 0             |
| Ago          | 19              | 1             | 128             | 9             | 275             | 10            | 20            |
| Sep          | 20              | 1             | 136             | 8             | 279             | 4             | 13            |
| Oct          | 19              | -1            | 122             | -14           | 254             | -25           | -40           |
| Nov          | 17              | -2            | 96              | -26           | 220             | -34           | -62           |
| Dic          | 16              | -1            | 81              | -15           | 115             | -105          | -121          |
| <b>TOTAL</b> | <b>207</b>      | <b>0</b>      | <b>1 204</b>    | <b>0</b>      | <b>2 313</b>    | <b>0</b>      | <b>0</b>      |

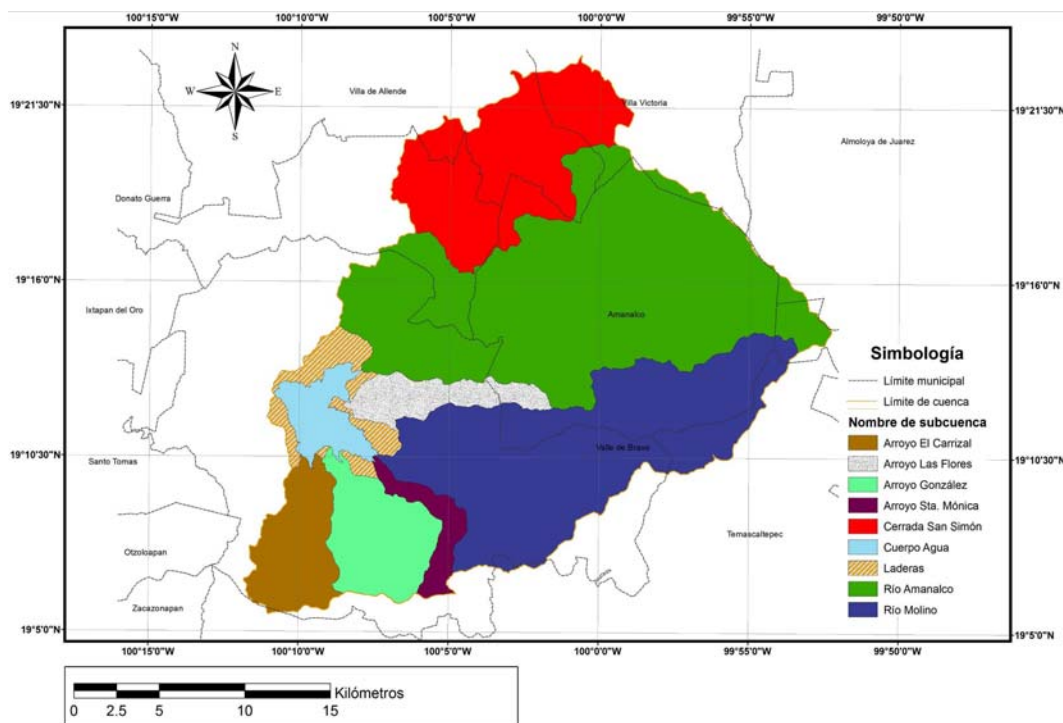
**Tabla 21. Carga interna de nitrógeno en la presa Valle de Bravo (kg)**

| Área         | Somera          |               | Intermedia      |               | Profunda        |               | Total mensual |
|--------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|
|              | Carga acumulada | Carga mensual | Carga acumulada | Carga mensual | Carga acumulada | Carga mensual |               |
| Ene          | 3 012           | 92            | 61 297          | 3 054         | 49 694          | 2 874         | 6 020         |
| Feb          | 3 012           | 0             | 61 228          | -69           | 49 694          | 0             | -69           |
| Mar          | 2 967           | -45           | 59 770          | -1 458        | 48 036          | -1 658        | -3 161        |
| Abr          | 2 897           | -70           | 57 202          | -2 568        | 42 298          | -5 738        | -8 376        |
| May          | 2 839           | -58           | 53 974          | -3 228        | 37 463          | -4 835        | -8 121        |
| Jun          | 2 807           | -32           | 51 163          | -2 811        | 31 141          | -6 322        | -9 165        |
| Jul          | 2 807           | 0             | 51 371          | 208           | 31 016          | -125          | 83            |
| Ago          | 2 679           | -128          | 49 983          | -1 388        | 30 374          | -642          | -2 158        |
| Sep          | 2 647           | -32           | 48 896          | -1 087        | 30 042          | -332          | -1 451        |
| Oct          | 2 664           | 17            | 50 932          | 2 036         | 31 827          | 1 785         | 3 838         |
| Nov          | 2 878           | 214           | 55 282          | 4 350         | 34 569          | 2 742         | 7 306         |
| Dic          | 2 920           | 42            | 58 243          | 2 961         | 46 820          | 12 251        | 15 254        |
| <b>TOTAL</b> | <b>31 209</b>   | <b>0</b>      | <b>659 341</b>  | <b>0</b>      | <b>462 974</b>  | <b>0</b>      | <b>0</b>      |

## 5. Estimación de cargas de contaminantes por fuentes externas

Para contribuir a la identificación de cargas de nitrógeno total ( $NT$ ), fósforo total ( $P_T$ ), sólidos suspendidos totales ( $SST$ ) y materia orgánica degradable, expresada como demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO$ ), por fuentes externas a la presa Valle de Bravo, se elaboró un inventario de descargas por fuentes puntuales y difusas así como la estimación de sus cargas hacia el embalse de la presa.

El inventario de descargas se construyó con información disponible en Internet y estudios realizados anteriormente en la zona de estudio (FAO, 1992; Benaman et al., 1996; Taiganides et al., 1996; Jones y Sutton, 2003; Metcalf y Eddy, 2003; Choi et al., 2004; Acuagranjas/CNA, 2004; IMTA, 2005; INEGI, 2007; CONAPO, 2006; CONAGUA, 2007 y 2008; CAEM, 2008 y SIAP, 2008). La información sobre las descargas fue agrupada por subcuencas con lo que se podrá evaluar las cargas de contaminantes. Para la estimación de cargas se consideraron las subcuencas previamente delimitadas por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2005) (Figura 91), donde todas con excepción de Cerrada San Simón, drenan a la presa.



**Figura 91. Delimitación de subcuencas en la cuenca de la presa Valle de Bravo (modificado de IMTA, 2005)**

Las fuentes puntuales que se consideraron para el desarrollo de este estudio son:

- Descargas de agua residual municipal sin tratamiento
- Descargas de plantas de tratamiento de agua residual municipal

Las fuentes difusas que aportan sus contaminantes al embalse de la presa son:

- Descargas del sector pecuario
- Descargas del sector trutícola
- Descargas de escurrimientos de suelos con diferentes usos

## **5.1 Aporte de contaminantes por fuentes puntuales**

Conforme a la información recopilada dentro de las fuentes puntuales se tiene que actualmente se encuentran en operación dos plantas de tratamiento de aguas residuales, una en la cabecera municipal de Valle de Bravo y otra en Amanalco. A continuación se analiza primero la generación de agua residual cruda y posteriormente los aportes de los contaminantes arriba mencionados ( $N_T$ ,  $P_T$ , SST y DBO), provenientes de estas plantas de tratamiento así como los aportes de agua residual municipal sin tratamiento.

### **5.1.1 Descargas de agua residual municipal**

La cuenca de la presa Valle de Bravo está integrada por nueve subcuencas abarcando extensiones territoriales de ocho municipios del Estado de México, de los cuales cubre en su totalidad el municipio de Amanalco, la mayor parte del municipio de Valle de Bravo y parte de los municipios de Donato Guerra, Villa de Allende, Villa Victoria, Temascaltepec, Almoloya de Juárez y Zinacantepec.

Para la estimación de cargas debido a descargas de agua residual municipal sin tratamiento, primeramente se identificaron las localidades existentes dentro de la cuenca, analizando información geográfica de INEGI (2007) con ArcView v. 9.3. Se ubicaron 102 localidades (Anexo 4 y Figura 92).

De acuerdo con los datos del II Censo de Población y Vivienda, la población en la cuenca de la presa Valle de Bravo ha presentado una tasa de crecimiento media anual de 1.20% (INEGI, 2005). Para el presente proyecto se tomó la proyección de CONAPO para el año 2009, realizada en base a los censos generales de población de INEGI (CONAPO, 2006). De esta forma la población para el año 2009 en la cuenca equivale a 97 504 habitantes, de los cuales el 60% pertenecen al municipio de Valle de Bravo.

En base al número de habitantes por localidad, dotación promedio estatal de agua potable por habitante del estado de México, cuyo valor es de 236 L/hab/d (CAEM, 2008), porcentaje de generación de agua residual (CONAGUA, 2007) y al porcentaje de cobertura de agua potable y alcantarillado municipal (INEGI, 2007), se estimó la generación de agua residual cruda aportada por las localidades de cada subcuenca (Tabla 22). Se observa que el volumen total de agua residual generada equivale a 3,739 290 m<sup>3</sup>/año de los que la subcuenca Laderas genera el mayor volumen, representando aproximadamente el 56.40% del total generado en la cuenca.

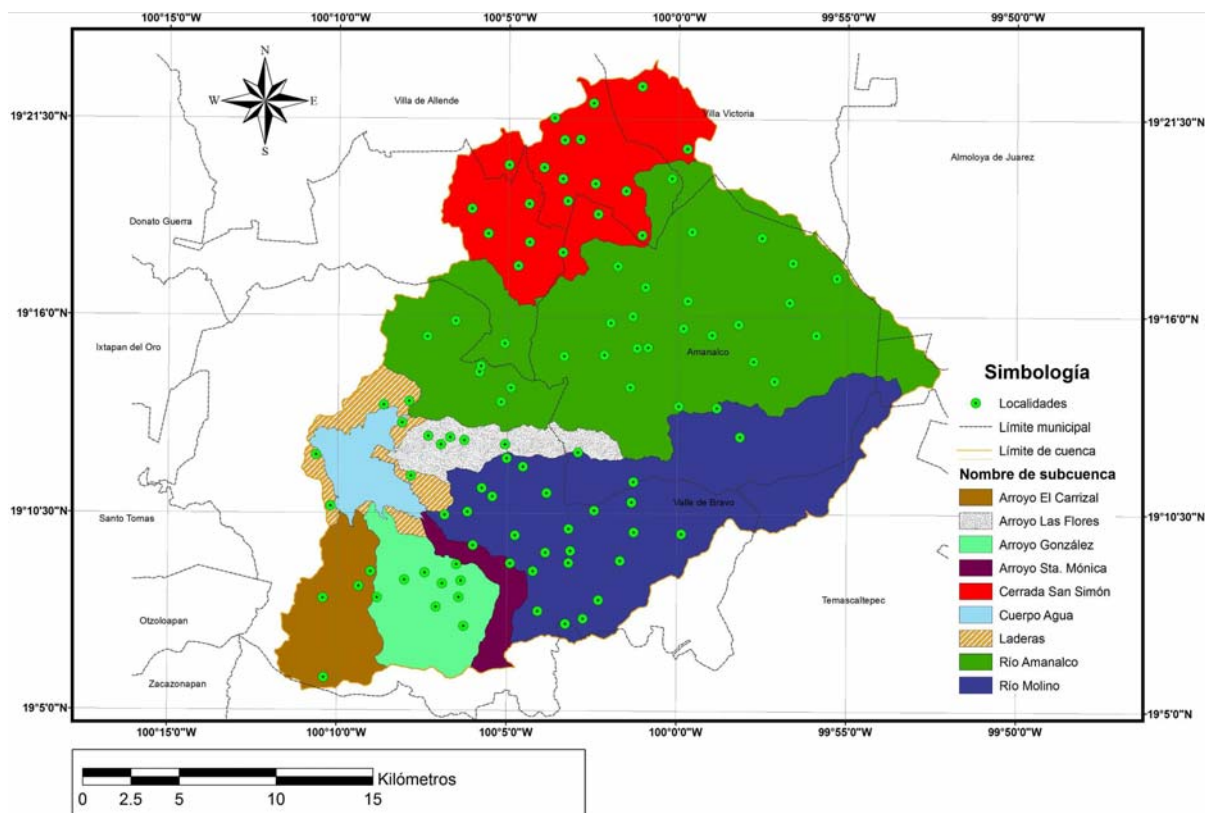


Figura 92. Ubicación de localidades en la cuenca de la presa Valle de Bravo

Tabla 22. Volumen de agua residual sin tratamiento por subcuenca

| Subcuenca          | Población 2009 (Hab)* | Coberturas promedio de servicios |                          | Agua Residual Generada | Agua Residual Generada |
|--------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
|                    |                       | Agua potable                     | Alcantarillado sanitario | (m <sup>3</sup> /año)  | (%)                    |
| Río Amanalco       | 26 379                | 77.05%                           | 55.56%                   | 769 416                | 20.57                  |
| Río Molino         | 7 159                 | 84.31%                           | 70.00%                   | 332 138                | 8.88                   |
| Arroyo González    | 1 936                 | 88.53%                           | 84.36%                   | 93 428                 | 2.50                   |
| Arroyo El Carrizal | 74                    | 88.53%                           | 84.36%                   | 3 555                  | 0.10                   |
| Arroyo Sta. Mónica | 583                   | 88.53%                           | 84.36%                   | 28 139                 | 0.75                   |
| Arroyo Las Flores  | 2 039                 | 88.53%                           | 84.36%                   | 98 385                 | 2.63                   |
| Laderas            | 43 708                | 88.53%                           | 84.36%                   | 2,108 903              | 56.40                  |
| Cerrada San Simón  | 15 626                | 68.71%                           | 43.01%                   | 305 327                | 8.17                   |
| <b>Total</b>       | <b>97 504</b>         |                                  |                          | <b>3,739 290</b>       | <b>100</b>             |

\* Estimaciones de CONAPO (2006) Para la cabecera municipal de Valle de Bravo se tomó la población proyectada de acuerdo al Plan Maestro para Valle de Bravo (Flores Ordeñana, comunicación personal, 2009).

### 5.1.2 Descargas por plantas de tratamiento de agua residual municipal

Para la estimación de cargas por esta fuente se recopiló información de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTAR) en operación actualmente dentro de la cuenca de la presa Valle de Bravo (CONAGUA, 2008; Cirilo R. Sierra Nieto, CAEM, 2009, comunicación personal). Existen un total de siete PTAR en los municipios de la cuenca Valle de Bravo; cinco pertenecen al sector público y dos son privadas (INEGI, 2007). Sólo dos PTAR operan actualmente (Tabla 23).

La composición de los efluentes de las plantas de tratamiento en operación, se estimó en base al tipo de proceso y al porcentaje de remoción de los contaminantes. En la Tabla 24 se muestra la composición estimada de los efluentes de las PTAR.

**Tabla 23. Plantas de tratamiento de aguas residuales en operación**

| Municipio      | Localidad      | Planta    | Proceso         | Capacidad instalada (L/s) | Gasto de operación (L/s) | Cuerpo receptor |
|----------------|----------------|-----------|-----------------|---------------------------|--------------------------|-----------------|
| Valle de Bravo | Valle de Bravo | Los Arcos | Lodos activados | 100                       | 85                       | Río Tilostoc    |
| Amanalco       | Amanalco       | Amanalco  | Lodos activados | 18                        | 7.5                      | Río Amanalco    |

\*(Patricia Flores Ordeñana, CONAGUA, 2009, comunicación personal).

\*\* (Cirilo R. Sierra Nieto, CAEM, 2009, comunicación personal)

**Tabla 24. Composición de los efluentes de las PTAR**

| Parámetro      | Unidad | Influente* | Efluente | Remoción (%)     |
|----------------|--------|------------|----------|------------------|
| DBO            | mg/l   | 200        | 10       | <sup>1</sup> 95% |
| SST            | mg/l   | 200        | 20       | <sup>1</sup> 90% |
| N <sub>T</sub> | mg/l   | 40         | 28       | <sup>2</sup> 30% |
| P <sub>T</sub> | mg/l   | 10         | 8.2      | <sup>1</sup> 18% |

\*Composición típica del agua residual doméstica (FAO, 1992)

<sup>1</sup> Metcalf y Eddy, 2003

<sup>2</sup> Choi *et al.*, 2004

Considerando que el volumen de lluvia generado en la mancha urbana de la cabecera municipal de Valle de Bravo (ver sección 5.2.3) también aporta agua a la PTAR, se restó éste al volumen tratado, resultando en un gasto de agua cruda tratada de 41 L/s. El volumen anual de agua residual tratada en los municipios de la cuenca de la presa Valle de Bravo se muestra en la Tabla 25.

La PTAR del municipio del Valle de Bravo descarga en el río Tilostoc aguas a abajo de la cortina del embalse; por lo tanto, no se tomará en cuenta como fuente de contaminación puntual en el embalse sino para restar del volumen total de agua residual generada.

**Tabla 25. Volumen de agua residual tratada en la cuenca de la presa Valle de Bravo**

| Subcuenca    | Municipio      | Agua residual tratada (m <sup>3</sup> /año) |
|--------------|----------------|---|
| Río Amanalco | Amanalco       | 236 520                                     |
| Laderas      | Valle de Bravo | 1,299 037                                   |
|              | <b>Total</b>   | <b>1,535 557</b>                            |

Por tanto, la aportación de contaminantes debido al agua tratada en la cuenca de la presa Valle de Bravo es causada por el volumen tratado en el municipio de Amanalco, el cual descarga en el río Amanalco, principal afluente a la presa.

La aportación de contaminantes debido al volumen de agua residual tratada fue calculada con la siguiente expresión matemática:

$$M = (C)(V) \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

M = aportación total de contaminante, masa

C = concentración típica por tipo de contaminante, masa/volumen

V = volumen de agua residual tratada, volumen

En la Tabla 26 se muestra la aportación de contaminantes debido a la PTAR del municipio de Amanalco.

**Tabla 26. Aporte de contaminantes debido a la PTAR de Amanalco (t/año)**

| Subcuenca    | Municipio    | Agua residual tratada (m <sup>3</sup> /año) | Carga de contaminantes |                |                |             |
|--------------|--------------|---|------------------------|----------------|----------------|-------------|
|              |              |   | SST                    | N <sub>T</sub> | P <sub>T</sub> | DBO         |
| Río Amanalco | Amanalco     | 236 520                                     | 4.73                   | 6.62           | 1.94           | 2.37        |
|              | <b>Total</b> | <b>236 520</b>                              | <b>4.73</b>            | <b>6.62</b>    | <b>1.94</b>    | <b>2.37</b> |

### 5.1.3 Descargas de agua residual municipal sin tratamiento

La generación de contaminantes debido al agua residual doméstica de cada una de las subcuencas, se estimó por medio del volumen generado y las concentraciones típicas de contaminantes en agua residual doméstica (Tabla 27).

El volumen de agua residual generada por las subcuencas del río Amanalco y Laderas, corresponde a la porción del agua residual que no es tratada en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 27. Concentraciones típicas de agua residual domestica**

| Parámetro | Concentración (mg/L) |
|-----------|----------------------|
| SST       | 200                  |
| NT        | 40                   |
| PT        | 10                   |
| DBO       | 200                  |

Fuente: FAO (1992).

Los resultados se muestran en la Tabla 28. Donde se observa que la subcuenca de Laderas es la principal generadora de estos contaminantes, aún cuando el 61.6% del agua residual generada de esta subcuenca es tratada y desviada aguas debajo de la cortina de la presa, representa el 42.66% del total generado por aguas residuales sin tratamiento en la cuenca.

**Tabla 28. Aporte de contaminantes por agua residual sin tratamiento (t/año)**

| Subcuenca          | Agua residual generada (m <sup>3</sup> /año) | Carga de contaminantes |                |                |               |
|--------------------|--|------------------------|----------------|----------------|---------------|
|                    |  | SST                    | N <sub>T</sub> | P <sub>T</sub> | DBO           |
| Río Amanalco       | 532 896                                      | 106.58                 | 21.32          | 5.33           | 106.58        |
| Río Molino         | 332 138                                      | 66.43                  | 13.29          | 3.32           | 66.43         |
| Arroyo González    | 93 428                                       | 18.69                  | 3.74           | 0.93           | 18.69         |
| Arroyo El Carrizal | 3 555  | 0.71                   | 0.14           | 0.04           | 0.71          |
| Arroyo Sta. Mónica | 28 139                                       | 5.63                   | 1.13           | 0.28           | 5.63          |
| Arroyo Las Flores  | 98 385                                       | 19.68                  | 3.94           | 0.98           | 19.68         |
| Laderas            | 809 866                                      | 161.97                 | 32.39          | 8.10           | 161.97        |
| <b>Total</b>       | <b>1, 898 407</b>                            | <b>379.69</b>          | <b>75.95</b>   | <b>18.98</b>   | <b>379.69</b> |

#### 5.1.4 Resumen de aportaciones por fuentes puntuales

En la Tabla 29 se muestra un resumen de la carga de contaminantes debido a la descarga de agua residual sin tratamiento y a la descarga de la PTAR de Amanalco hacia la cuenca de la presa Valle de Bravo.

**Tabla 29. Aportes de contaminantes por fuentes puntuales (t/año)**

| Subcuenca           | Carga de contaminantes |                |                |               |
|---------------------|------------------------|----------------|----------------|---------------|
|                     | SST                    | N <sub>T</sub> | P <sub>T</sub> | DBO           |
| Río Amanalco        | 111.31                 | 27.94          | 7.27           | 108.95        |
| Río Molino          | 66.43                  | 13.29          | 3.32           | 66.43         |
| Arroyo González     | 18.69                  | 3.74           | 0.93           | 18.69         |
| Arroyo El Carrizal  | 0.71                   | 0.14           | 0.04           | 0.71          |
| Arroyo Sta. Mónica  | 5.63                   | 1.13           | 0.28           | 5.63          |
| Arroyo Las Flores   | 19.68                  | 3.94           | 0.98           | 19.68         |
| Laderas             | 161.97                 | 32.39          | 8.10           | 161.97        |
| <b>Total cuenca</b> | <b>384.42</b>          | <b>82.57</b>   | <b>20.92</b>   | <b>382.06</b> |

## 5.2 Aporte de contaminantes por fuentes difusas

La estimación de las cargas de contaminantes debido a las fuentes difusas se realizó considerando los escurrimientos provenientes de suelos con diferentes usos, los desechos generados por la actividad pecuaria y por los criaderos de trucha arcoiris.

### 5.2.1 Descargas del sector pecuario

Se obtuvo la producción porcina y bovina anual de los municipios pertenecientes a la cuenca de la presa Valle de Bravo mediante análisis de la base de datos publicada en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2008). La producción para los municipios de Amanalco y Valle de Bravo se presenta en la Tabla 30. Dado que los municipios de Almoloya de Juárez, Donato Guerra, Temascaltepec, Villa de Allende, Villa Victoria y Zinacantepec ocupan menor área dentro de la cuenca y al no tener la ubicación puntual de las granjas, la producción pecuaria de estos municipios no se consideró para la estimación de cargas difusas de contaminantes.

**Tabla 30. Producción porcina y bovina en la cuenca de la presa Valle de Bravo**

| Municipio      | Ganado en pie (bovino) |                      | Ganado en pie (porcino) |                      |
|----------------|------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
|                | Producción (t)         | Peso por cabeza (kg) | Producción (t)          | Peso por cabeza (kg) |
| Amanalco       | 220.64                 | 439.52               | 112.96                  | 86.82                |
| Valle de Bravo | 127.31                 | 454.68               | 154.37                  | 94.88                |

Fuente: SIAP (2008)

Para estimar la carga de contaminantes en toneladas por año se consideraron los parámetros obtenidos del Consejo Mexicano de Porcicultura que se obtienen por Kg/UPA/d, siendo una unidad de producción animal (1 UPA = 100 kg de peso vivo) que genera 0.05 kg/UPA\*d de nitrógeno total Kjeldahl (Taiganides *et al.*, 1996). En la Tabla 31 y Tabla 32 se muestran los parámetros considerados para determinar la aportación de contaminantes por estiércol de porcino y bovino con referencia a la producción y al peso promedio del animal. Para ello se tomó un peso promedio de 453 kg para el ganado bovino y de 100 kg para el porcino.

**Tabla 31. Concentración de contaminantes en excretas porcinas**

| Parámetro |                               | (kg/UPA*d) |
|-----------|-------------------------------|------------|
| HyO       | Heces y orina                 | 6.17       |
| SST       | Sólidos suspendidos totales   | 0.6        |
| DBO       | Demanda bioquímica de oxígeno | 0.25       |
| NTK       | Nitrógeno total Kjeldahl      | 0.05       |
| PT        | Fósforo total                 | 0.013      |

Fuente: Taiganides *et al.*, 1996

**Tabla 32. Concentración de contaminantes en excretas bovinas**

| Animal          | Masa (kg) | Estiércol (kg/d) | DBO (g/d) | N <sub>T</sub> (g/d) | P <sub>T</sub> (g/d) |
|-----------------|-----------|------------------|-----------|----------------------|----------------------|
| Ganado de carne | 227       | 18               | 362       | 77                   | 57                   |
|                 | 453       | 36               | 724       | 154                  | 133                  |
|                 | 340       | 27               | 543       | 118                  | 86                   |
|                 | 567       | 45               | 906       | 195                  | 144                  |

Fuente: Jones y Sutton, 2003

Para determinar las aportaciones de contaminantes por subcuenca debido a descargas bovinas, se ubicaron las zonas de pastizales reportadas en las cartas de uso de suelo reportados en el estudio del IMTA (2005) para posteriormente delimitarlas por subcuencas. De acuerdo a este estudio, la subcuenca del río Molino es la principal zona de pastizales en la cuenca y el cambio de uso de suelo en esta subcuenca no fue significativo en el periodo comprendido entre 1986 y 2004 en lo que se refiere a pastizales. Aquí se consideró que esta dinámica no ha sufrido cambios.

En el caso de la producción porcina, se consideró una distribución equitativamente por área de subcuenca que integra cada municipio.

En la Tabla 33 y Tabla 34 se muestra la aportación de contaminantes debido a la actividad pecuaria en la cuenca de la presa Valle de Bravo.

**Tabla 33. Aporte de contaminantes por excretas de ganado bovino (t/año)**

| Subcuenca   | Municipio      | Ganado en pie producción (t) | Parámetro        |           |               |                |                |
|-------------|----------------|------------------------------|------------------|-----------|---------------|----------------|----------------|
|             |                |                              | Estiércol        | SST       | DBO           | N <sub>T</sub> | P <sub>T</sub> |
| *Río Molino | Valle de Bravo | 127.31                       | 3 692.83         | SD        | 74.27         | 15.80          | 13.64          |
|             | Amanalco       | 220.64                       | 6 400.02         | SD        | 128.71        | 27.38          | 23.64          |
|             | <b>Total</b>   | <b>347.95</b>                | <b>10 092.85</b> | <b>SD</b> | <b>202.98</b> | <b>43.18</b>   | <b>37.28</b>   |

SD.- Sin Datos

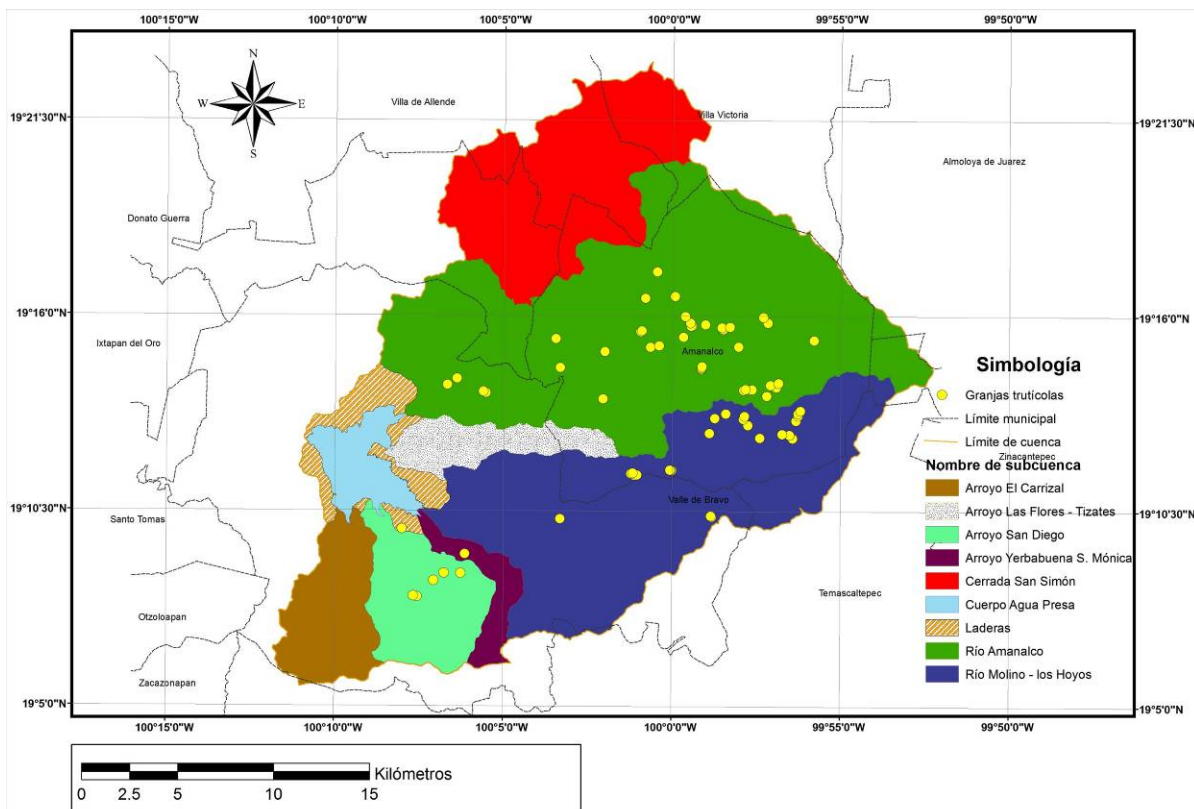
**Tabla 34. Aporte de contaminantes por excretas de ganado porcino (t/año)**

| Subcuenca          | Municipio      | Ganado en pie producción (t) | Parámetro       |               |               |              |                |
|--------------------|----------------|------------------------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|----------------|
|                    |                |                              | HyO             | SST           | DBO           | NTK          | P <sub>T</sub> |
| Río Amanalco       | Valle de Bravo | 5.00                         | 112.70          | 10.96         | 4.57          | 0.91         | 0.24           |
| Río Molino         |                | 74.40                        | 1 675.43        | 162.93        | 67.89         | 13.58        | 3.53           |
| Arroyo González    |                | 23.60                        | 531.44          | 51.68         | 21.53         | 4.31         | 1.12           |
| Arroyo El Carrizal |                | 20.99                        | 472.62          | 45.96         | 19.15         | 3.83         | 1.00           |
| Arroyo Sta. Mónica |                | 7.89                         | 177.71          | 17.28         | 7.20          | 1.44         | 0.37           |
| Arroyo Las Flores  |                | 10.54                        | 237.29          | 23.08         | 9.61          | 1.92         | 0.50           |
| Laderas            |                | 11.95                        | 269.23          | 26.18         | 10.91         | 2.18         | 0.57           |
| Río Amanalco       | Amanalco       | 112.96                       | 2 543.85        | 247.38        | 103.07        | 20.61        | 5.36           |
|                    | <b>Total</b>   | <b>267.33</b>                | <b>6 020.27</b> | <b>585.45</b> | <b>243.93</b> | <b>48.78</b> | <b>12.69</b>   |

Se observa que la subcuenca que aporta mayor carga de contaminantes debido a la producción pecuaria, es la del río Molino.

### 5.2.2 Descargas del sector trutícola

Otra actividad de importancia en la cuenca de la presa Valle de Bravo, es la cría de trucha arcoiris, siendo Amanalco y Valle de Bravo los municipios sobresalientes en la producción dentro de la cuenca (Figura 93).



**Figura 93. Ubicación de granjas trutícolas en la cuenca de la presa Valle de Bravo.**  
Fuente: Acuagranjas/CNA (2004)

Los desechos de nutrientes y de materia orgánica, disueltos o en forma de partículas que proceden de alimentos no comidos y de excrementos de la trucha arcoiris, se caracterizan generalmente por un aumento en SST, DBO,  $N_T$  y  $P_T$  (Barg, 1994).

El aporte de contaminantes por producción de trucha arcoiris se muestra en la Tabla 35; dicha información fue obtenida del estudio realizado por Acuagranjas/CNA (2004) No se cuenta con información de las cargas de  $N_T$  por esta actividad.

**Tabla 35. Aporte de contaminantes por producción de trucha arcoiris**

| Subcuenca         | Producción de trucha arcoiris (t/año) | SST            | DBO            | P <sub>T</sub> |
|-------------------|---------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
|                   |                                       | 1,066          | 338            | 21             |
|                   |                                       | (kg/t prod.)   | (kg/t prod.)   | (kg/t prod.)   |
| Río Amanalco      | 258                                   | 274 548        | 13 520         | 840            |
| Río Molino        | 171                                   | 182 286        | 57 798         | 3 591          |
| Arroyo González   | 3                                     | 2 665          | 845            | 53             |
| Arroyo Las Flores | 40                                    | 42 640         | 13 520         | 840            |
| Laderas           | 14                                    | 14 924         | 4 732          | 294            |
| <b>Total</b>      | <b>485</b>                            | <b>517 063</b> | <b>163 947</b> | <b>10 186</b>  |

kg/t prod. = Kilogramos por cada tonelada producida.

Fuente: Acuagranjas/CNA (2004).

### 5.2.3 Descargas de escurrimientos de suelos con diferentes usos

Para la estimación de las cargas de contaminantes por esta fuente se utilizó el software ArcView y la carta de uso de suelo de INEGI modificada (IMTA, 2005); la metodología utilizada para la estimación de las cargas debido al volumen medio anual de escurrimiento está dividida en los siguientes pasos:

- Delimitación de la cuenca y subcuencas
- Determinación del escurrimiento superficial
- Obtención de concentraciones de contaminantes en el agua escurrida
- Estimación de las cargas de contaminantes

#### *Delimitación de la cuenca y subcuencas*

La cuenca estimada de la presa Valle de Bravo y las nueve subcuencas en que se divide se mostró en la Figura 91. Esta delimitación se realizó bajo un ambiente SIG, lo que permitió paralelamente la generación de una tabla de atributos correspondientes a cada subcuenca. En la Tabla 36 se presentan las áreas correspondientes a cada subcuenca (IMTA, 2005).

**Tabla 36. Áreas de aportación de las subcuencas en el embalse**

| Subcuenca           | Área de aportación    |                  |            |
|---------------------|-----------------------|------------------|------------|
|                     | (m <sup>2</sup> )     | (ha)             | (%)        |
| Arroyo El Carrizal  | 33,509 444.40         | 3 350.94         | 5.44       |
| Arroyo Las Flores   | 20,752 248.00         | 2 075.22         | 3.37       |
| Arroyo González     | 37,509 897.80         | 3 750.99         | 6.09       |
| Arroyo Santa Mónica | 12,542 816.30         | 1 254.28         | 2.04       |
| Cerrada San Simón   | 90,440 294.00         | 9 044.03         | 14.69      |
| Cuerpo de agua      | 17,869 293.20         | 1 786.93         | 2.90       |
| Laderas             | 19,002 628.60         | 1 900.26         | 3.09       |
| Río Amanalco        | 232,357 107.00        | 23 235.71        | 37.75      |
| Río Molino          | 151,501 127.00        | 15 150.11        | 24.61      |
| <b>Total</b>        | <b>615,484 857.00</b> | <b>61 548.49</b> | <b>100</b> |

### Determinación del escurrimiento superficial

Para la determinación del volumen medio anual de escurrimiento, se utilizó el método indirecto (Aparicio, 2001) con base en la relación lluvia-escurrimiento. Este método consiste en aplicar la siguiente ecuación:

$$Ve = (A)(Pm)(Ce) \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

Ve = volumen medio anual de escurrimiento, m<sup>3</sup>/año

A = área de subcuenca (m<sup>2</sup>).

Pm = precipitación promedio anual, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

Ce = coeficiente de escurrimiento.

Los factores de escurrimiento fueron obtenidos de Chacón et al. (2002) y los datos hidrológicos usados para el cálculo de las aportaciones de agua escurrida fueron estimados en base a la información del extractor rápido de información climatológica MADAME CLEX (IMTA, 2005). En la Figura 94 se muestran los rangos de precipitación pluvial para la cuenca de la presa Valle de Bravo.

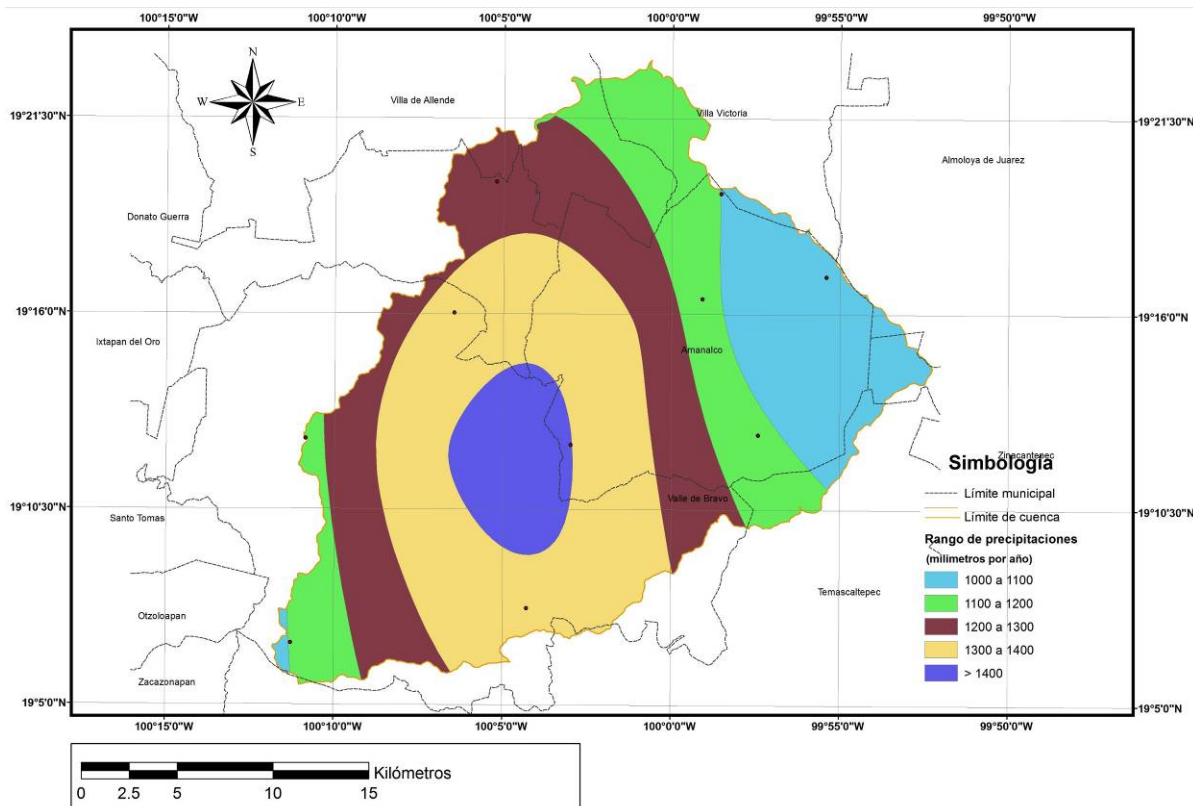


Figura 94. Precipitación pluvial en la cuenca de la presa Valle de Bravo

La estimación del volumen medio anual de escurrimiento por subcuenca en la cuenca de la presa Valle de Bravo se presenta en la Tabla 37.

**Tabla 37. Volumen medio anual de escurrimiento por subcuencas y uso de suelo (m<sup>3</sup>/año)**

| Subcuenca          | Agricultura | Bosque     | Pastizal  | Zona urbana | Total              |
|--------------------|-------------|------------|-----------|-------------|--------------------|
| Arroyo Carrizal    | 46 788      | 1,348 952  | 97 802    | 733         | 1,494 275          |
| Arroyo Las Flores  | 470 885     | 4,071 431  | 211 398   | 534 502     | 5,288 216          |
| Arroyo González    | 878 664     | 6,759 432  | 720 018   | 385 669     | 8,743 782          |
| Arroyo Sta. Mónica | 165 550     | 2,214 584  | 580 434   | 95 291      | 3,055 860          |
| Laderas            | 35 452      | 3,013 910  | 26 801    | 1,009 175   | 4,085 338          |
| Río Amanalco       | 19,795 986  | 28,592 982 | 1,205 712 | 314 585     | 49,909 265         |
| Río Molino         | 4,532 875   | 18,966 831 | 6,200 487 | 104 590     | 29,804 783         |
| <b>Total</b>       |             |            |           |             | <b>102,381 519</b> |

*Obtención de concentraciones de contaminantes en agua escurrida*

Las concentraciones típicas de contaminantes en agua escurrida han sido obtenidas para sitios específicos. Se pueden obtener dichas concentraciones para la zona en estudio o emplear concentraciones obtenidas en zonas con similares climas y usos de suelo (Benaman et al., 1996). Salas et al. (2001) señalan que los cuerpos de agua de Latinoamérica y el Caribe se encuentran en su mayor parte en climas del tipo cálido tropical, donde los cuerpos de agua presentan temperaturas mínimas de 10°C y promedias anuales de 15°C. Dentro de esta definición, la cobertura geográfica se extiende desde el Lago Livingston en Texas, E.U.A., hasta el Salto Grande en Argentina.

Para este estudio se utilizaron las concentraciones típicas de agua escurrida determinados para el estado de Texas, siendo además que en este estado existen similitudes en los usos de suelo con los que se presentan en la cuenca de estudio. En la Tabla 38 se muestran las concentraciones típicas para DBO, N<sub>T</sub>, P<sub>T</sub> y SST en escurrimientos superficiales según el tipo de uso del suelo.

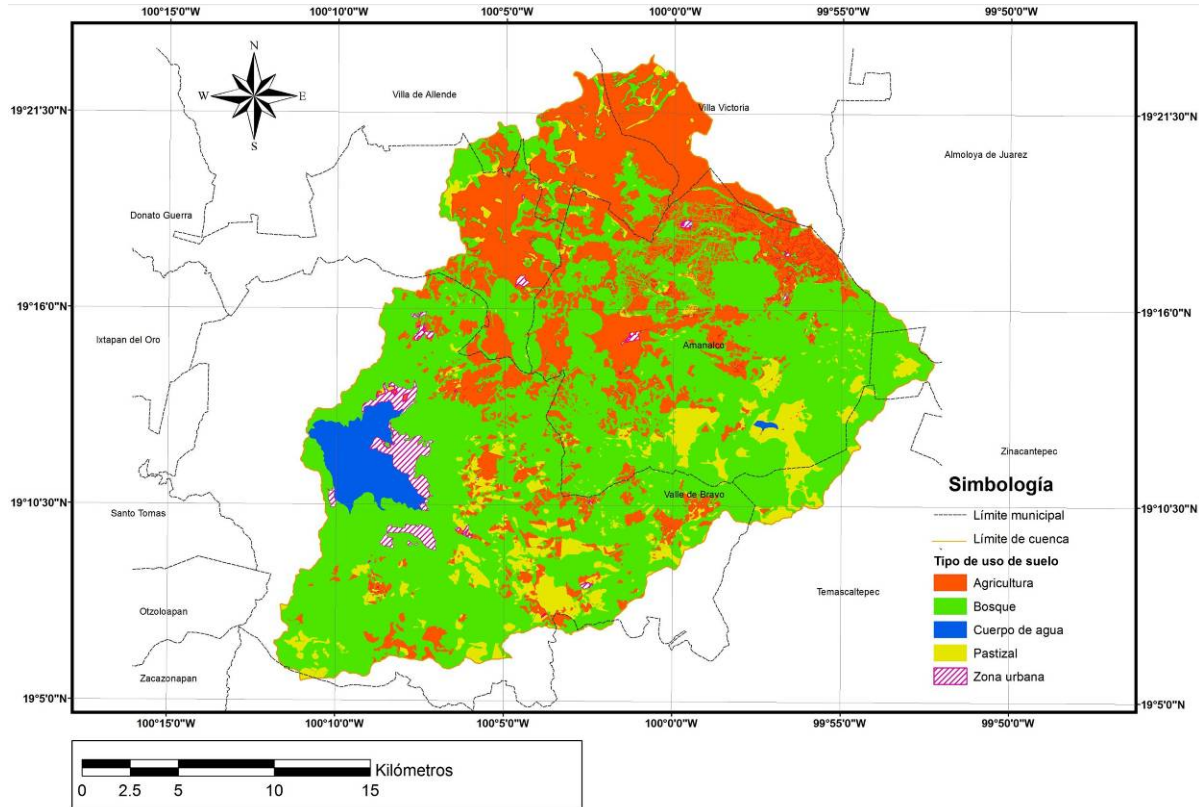
**Tabla 38. Concentraciones típicas de contaminantes según el uso de suelo (mg/L)**

| Uso del Suelo | DBO  | N <sub>T</sub> | P <sub>T</sub> | SST    |
|---------------|------|----------------|----------------|--------|
| Urbano        | 9.00 | 2.10           | 0.37           | 166.00 |
| Agrícola      | 4.00 | 1.56           | 0.36           | 201.00 |
| Bosque        | 6.00 | 0.83           | 0.06           | 39.00  |
| Pastizal      | 6.00 | 1.51           | 0.12           | 70.00  |

Fuente: Benaman *et al.*, 1996

En la Figura 95 se muestra de manera gráfica el uso de suelo en la cuenca de la presa Valle de Bravo para el año 2004 (IMTA, 2005). Esta información fue empleada en este estudio para la determinación de coberturas vegetales para cada subcuenca. La distribución del uso de suelo por subcuencas se describe en la Tabla 39, en donde

podemos observar que las superficies de bosque y agrícolas son los principales coberturas de suelo en la cuenca.



**Figura 95. Uso de suelo en la cuenca de la presa Valle de Bravo**

**Tabla 39. Uso de suelo por subcuencas de la presa Valle de Bravo (m<sup>2</sup>)**

| Subcuenca          | Agricultura        | Bosque             | Cuerpo de agua    | Pastizal          | Zona urbana       |
|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Arroyo Carrizal    | 997 488            | 29,873 519         | 2 394             | 2,616 510         | 19 533            |
| Arroyo Las Flores  | 1,801 411          | 15,946 793         | 1 259             | 805 341           | 2,197 444         |
| Arroyo González    | 3,863 567          | 28,973 460         | 7 722             | 3,045 413         | 1,619 736         |
| Arroyo Sta. Mónica | 675 781            | 9,099 149          | 3 730             | 2,378 851         | 385 306           |
| Cuerpo de Agua     | 0                  | 0                  | 17,869 293        | 0                 | 0                 |
| Laderas            | 20 363             | 14,208 323         | 72 221            | 158 332           | 4,358 390         |
| Río Amanalco       | 89,705 128         | 135,045 217        | 0                 | 6,223 227         | 1,383 536         |
| Río Molino         | 18,778 971         | 99,423 360         | 380 771           | 32,534 076        | 383 949           |
| <b>Total</b>       | <b>115,842 709</b> | <b>332,569 821</b> | <b>18,337 390</b> | <b>47,761 750</b> | <b>10,347 894</b> |

*Estimación de las cargas de contaminantes*

Se estimó el aporte de contaminantes debido al uso del suelo y en base al volumen escurrido y las concentraciones típicas de contaminantes en agua escurrida, aplicando la ecuación:

$$M = (C)(V)$$

Ec. 15

Donde:

$M$  = masa  
 $C$  = concentración  
 $V$  = volumen

En la Tabla 40 se muestra el aporte de contaminantes debido al uso de suelo por subcuenca.

**Tabla 40. Aporte de contaminantes por uso de suelo por subcuenca (t/año)**

| Subcuenca          | Carga de contaminantes |              |               |                 |
|--------------------|------------------------|--------------|---------------|-----------------|
|                    | $N_T$                  | $P_T$        | DBO           | SST             |
| Arroyo El Carrizal | 1.34                   | 0.11         | 8.87          | 68.91           |
| Arroyo Las Flores  | 5.56                   | 0.64         | 32.39         | 375.07          |
| Arroyo González    | 8.88                   | 0.95         | 51.86         | 554.65          |
| Arroyo Sta. Mónica | 3.17                   | 0.30         | 18.29         | 176.09          |
| Laderas            | 4.72                   | 0.57         | 27.47         | 294.07          |
| Río Amanalco       | 57.10                  | 9.10         | 260.81        | 5 230.74        |
| Río Molino         | 32.40                  | 3.55         | 170.08        | 2 102.21        |
| <b>Total</b>       | <b>113.17</b>          | <b>15.22</b> | <b>569.77</b> | <b>8 801.74</b> |

Se observa que la subcuenca del río Amanalco presenta la mayor generación de contaminantes por usos de suelo, seguida de la subcuenca del río Molino.

#### 5.2.4 Resumen de aportaciones por fuentes difusas

Las subcuencas con el mayor aporte de contaminantes debido a fuentes difusas son río Amanalco y río Molino (Tabla 41).

**Tabla 41. Aporte de contaminantes por subcuenca debido a fuentes difusas (t/año)**

| Subcuenca          | Carga de contaminantes |               |              |                 |
|--------------------|------------------------|---------------|--------------|-----------------|
|                    | SST                    | $N_T$         | $P_T$        | DBO             |
| Río Amanalco       | 5 763.63               | 78.62         | 15.54        | 381.97          |
| Río Molino         | 2 447.43               | 89.16         | 47.95        | 498.75          |
| Arroyo González    | 608.99                 | 13.19         | 2.12         | 74.24           |
| Arroyo El Carrizal | 114.87                 | 5.17          | 1.11         | 28.02           |
| Arroyo Sta. Mónica | 193.37                 | 4.61          | 0.67         | 25.49           |
| Arroyo Las Flores  | 440.79                 | 7.48          | 1.98         | 55.52           |
| Laderas            | 335.17                 | 6.90          | 1.43         | 43.11           |
| <b>Total</b>       | <b>9 904.25</b>        | <b>205.13</b> | <b>70.80</b> | <b>1 107.10</b> |



### 5.3 Conclusiones de la carga externa de contaminantes

La estimación de cargas externas de contaminantes por fuentes difusas y puntuales en la cuenca de la presa Valle de Bravo (Tabla 42) muestra que las subcuencas con mayor aporte de contaminantes son río Amanalco y río Molino. Se observa que la mayor contribución de la carga es por fuentes difusas para todas las subcuencas con excepción de Laderas. En el Anexo 4 se presenta la aportación de  $N_T$ ,  $P_T$ , DBO y SST por tipo de descarga y subcuenca.

Se compararon los valores de carga externa obtenidos en este proyecto con los reportados en estudios realizados mediante la medición mensual directa en el embalse (IDECA, 1999; Ramírez-Zierold *et al.*, 2009) (Tabla 43), encontrando un aumento en la carga externa de  $N_T$  de aproximadamente 50% mientras que la carga externa  $P_T$  aumentó cerca de 100% respecto a un estudio reportado en 1999. Esta diferencia se debe a que en el periodo comprendido entre 1998 a 2009 hubo un aumento en la población en la cuenca de casi 180% y a cambios en el uso de suelo en la cuenca.

**Tabla 42. Aporte de contaminantes por fuentes externas (t/año)**

| Subcuenca          | Carga de contaminantes |                 |                  |                |               |               |                |              |              |               |                 |                 |
|--------------------|------------------------|-----------------|------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|--------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------|
|                    | SST                    |                 |                  | N <sub>T</sub> |               |               | P <sub>T</sub> |              |              | DBO           |                 |                 |
|                    | FP                     | FD              | Total            | FP             | FD            | Total         | FP             | FD           | Total        | FP            | FD              | Total           |
| Río Amanalco       | 111.31                 | 5 763.63        | 5 874.94         | 27.94          | 78.62         | 106.56        | 7.27           | 15.54        | 22.81        | 108.95        | 381.97          | 490.92          |
| Río Molino         | 66.43                  | 2 447.43        | 2 513.86         | 13.29          | 89.16         | 102.45        | 3.32           | 47.95        | 51.27        | 66.43         | 498.75          | 565.18          |
| Arroyo González    | 18.69                  | 608.99          | 627.68           | 3.74           | 13.19         | 16.93         | 0.93           | 2.12         | 3.05         | 18.69         | 74.24           | 92.93           |
| Arroyo El Carrizal | 0.71                   | 114.87          | 115.58           | 0.14           | 5.17          | 5.31          | 0.04           | 1.11         | 1.15         | 0.71          | 28.02           | 28.73           |
| Arroyo Sta. Mónica | 5.63                   | 193.37          | 199.00           | 1.13           | 4.61          | 5.74          | 0.28           | 0.67         | 0.95         | 5.63          | 25.49           | 31.12           |
| Arroyo Las Flores  | 19.68                  | 440.79          | 460.47           | 3.94           | 7.48          | 11.42         | 0.98           | 1.98         | 2.96         | 19.68         | 55.52           | 75.20           |
| Laderas            | 161.97                 | 335.17          | 497.14           | 32.39          | 6.90          | 39.29         | 8.10           | 1.43         | 9.53         | 161.97        | 43.11           | 205.08          |
| <b>Total</b>       | <b>384.42</b>          | <b>9 904.25</b> | <b>10 288.67</b> | <b>82.57</b>   | <b>205.13</b> | <b>287.70</b> | <b>20.92</b>   | <b>70.80</b> | <b>91.72</b> | <b>382.06</b> | <b>1 107.10</b> | <b>1 489.16</b> |

FP: Fuentes Puntuales; FD: Fuentes Difusas

**Tabla 43. Comparación de estimaciones de carga externa (t/año)**

| Autores                              | Método  | Carga          |                | Observaciones  |
|--------------------------------------|---|----------------|----------------|--|
|                                      |   | N <sub>T</sub> | P <sub>T</sub> |  |
| IDECA, 1999                          | Mediciones mensuales, durante tres días seguidos en las desembocaduras de los ríos Amanalco, Molino y González  | 194.10         | 45.10          | Pob. en cuenca = 35 000 hab.   |
| Ramírez-Zierold <i>et al.</i> , 2009 | Mediciones cada 28 d, en las desembocaduras de los ríos Amanalco, Molino, González y de aguas residuales de Valle de Bravo en el periodo  | 545.10         | 116.20         |  |
| Hansen <i>et al.</i> 2009            | Estimación con base a concentraciones promedio de contaminantes y volumen de agua generado en las subcuencas ríos Amanalco, Molino, González, Carrizal y arroyos Yerbabuena, Las Flores y Laderas | 287.70         | 91.72          | Pob. en cuenca = 97 504 hab.<br>Promedio de precipitación pluvial<br>Uso de suelo 2005 |

## 6. Tecnologías para la reducción de nutrientes en embalses

Con la finalidad de reducir la eutroficación en la presa de Valle de Bravo, es necesario buscar alternativas para disminuir la concentración de nutrientes en el embalse. Se consultó la literatura existente, en la que se mencionan aquellas tecnologías utilizadas en otras regiones del mundo para el saneamiento de lagos y embalses.

Asimismo, se realizó un análisis de estas tecnologías para considerar la viabilidad de ser aplicada en el embalse de Valle de Bravo, considerando las características climatológicas de las regiones de interés, morfométricas de los embalses y fisicoquímicas del agua.

### 6.1 Control por volumen

El aumento en el volumen de almacenamiento en lagos y presas tiende a reducir la concentración de nutrientes por efecto de dilución (Keating, 1977). Se considera que esta metodología puede funcionar mejor cuando la carga interna es mayor que la carga externa o cuando el embalse tiene una cuenca hidrológica pequeña. Se puede también agregar agua de mayor calidad de otras fuentes como agua tratada o bombeo de cuerpos de agua cercanos.

En la Tabla 44 se presentan ejemplos de aplicación de esta metodología. Se observa que puede ser muy eficaz para mantener niveles bajos de nutrientes pero debe considerarse la carga externa. Los costos son elevados y no siempre son competitivos ni sostenibles. En caso de la presa Valle de Bravo, la cuenca hidrológica es de 615.5 km<sup>2</sup>, es decir 20 veces mayor que en las aplicaciones mencionadas en la Tabla.

### 6.2 Biorremediación

La biorremediación de embalses eutroficados consiste en la reproducción de plantas dentro del embalse o en su entorno como humedales o pantanos. En la Tabla 45 se presentan ejemplos de casos de aplicación de la biorremediación en cuerpos de agua. La ventaja de este método es mayor para zonas poco habitadas.

Aunque los ejemplos mencionados en la Tabla 45, incluyen la aplicación en embalses pequeños y con cuencas hidrológicas reducidas, se observa que la eficiencia es mayor para sistemas pantanosos, permitiendo la reducción de fósforo entre 8 y 39% en 12 semanas.

Para el caso de Valle de Bravo habría que considerar el área de los pantanos y la residencia hidráulica, que se requerían para una eficiente remoción de nutrientes. Al concluir el proyecto que desarrolla la UNAM para la Conagua para la construcción de islas flotantes en la presa, se propone evaluar la eficiencia de remoción de nitrógeno y fósforo para comparar con otras tecnologías propuestas.

**Tabla 44. Aplicación del método de control por volumen**

| Lugar                  | Características  |  |  | Eficiencia   | Descripción  | Referencia   |
|------------------------|--|--|--|--|--|--|
|                        | Morfométricas  | Físicas y químicas del agua  | Biológicas   |  |  |  |
| Lago Moses, Washington | <ul style="list-style-type: none"> <li>Profundidad: S.D.</li> <li>Área de la cuenca: 30.9 km<sup>2</sup></li> <li>Dimensiones del embalse: S.D.</li> <li>Clima: temperatura promedio en verano 31°C</li> <li>Tiempo de residencia hidráulica: S.D.</li> <li>Uso del suelo: S.D.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Problema:</i> Elevadas concentraciones de nitrógeno y fósforo</li> <li><i>Parámetros de control:</i> Nutrientes</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Problema:</i> Altas concentraciones de fitoplancton, clorofila y florecimientos de, algas verde-azules</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Se redujeron los nutrientes aproximadamente 50% en tres años</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Elevado costos por estudio, monitoreo y administración del embalse</li> <li>Esta tecnología es muy eficaz para mantener niveles bajos de nutrientes pero por el arrastre de biomasa se presenta inestabilidad dentro de la columna de agua</li> </ul> | Cooke <i>et al.</i> , 2005; Welch, 1982                |
| Lago Green, Seattle    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Profundidad máx. de 9.1 m</li> <li>Área de la cuenca: 1.05 km<sup>2</sup></li> <li>Dimensiones del embalse: S.D.</li> <li>Clima: temperatura 8-25°C</li> <li>Tiempo de residencia hidráulica: S.D.</li> <li>Uso del suelo: S.D.</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Problema:</i> Elevadas concentraciones de fósforo</li> <li><i>Parámetros de control:</i> fósforo, clorofila</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Problema:</i> Altas concentraciones de fitoplancton, clorofila y florecimientos de, algas verde-azules. Peces que se alimentan y viven en el fondo del lago</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>La reducción de fósforo fue de 65 a 20 µg/L en tres años</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Es necesario aplicar otras tecnologías para el control de la carga externa. Debe procurarse que los costos sean sostenibles</li> </ul>  | Cooke <i>et al.</i> 2005; Rector <i>et al.</i> , 1994. |

**Tabla 44. Aplicación del método de control por volumen (cont.)**

| Lugar                | Características   |  |  | Eficiencia   | Descripción   | Referencia  |
|----------------------|---|--|--|--|---|---|
|                      | Morfométricas   | Físicas y químicas del agua  | Biológicas   |  |   |   |
| Lago Veluwe, Holanda | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad máx. de 5 m</li> <li>• Área de la cuenca: &gt;30 km<sup>2</sup></li> <li>• Dimensiones del embalse: S.D.</li> <li>• Clima: Temperatura de 13.7°C</li> <li>• Tiempo de residencia hidráulica: 2 meses</li> <li>• Uso del suelo: S.D.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problema:</i> Elevadas concentraciones de fósforo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problema:</i> Excesivo crecimiento algal y florecimientos de algas verde-azules</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La carga interna se redujo desde 1.5-5.9 mg/m<sup>2</sup> d hasta 0-0.8 mg/m<sup>2</sup> d en un periodo de dos años</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En este caso los efectos nocivos de la carga interna fueron mitigados</li> </ul> | Cooke <i>et al.</i> , 2005; Hosper <i>et al.</i> , 1986 |

S.D. – Sin Datos

**Tabla 45. Aplicación del método de biorremediación**

| Lugar                               | Características   |   |   | Eficiencia  | Descripción  | Referencia                         |
|-------------------------------------|---|---|---|---|--|------------------------------------|
|                                     | Morfométricas   | Físicas y químicas del agua   | Biológicas  |   |  |                                    |
| Lago Altmühlsee, Alemania           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Profundidad máx: 2.2 m</li> <li>Área de la cuenca: 4.5 km<sup>2</sup></li> <li>Dimensiones del embalse: S.D.</li> <li>Clima: Temp.. máx.. 25°C</li> <li>Tiempo de residencia hidráulica: 30 d</li> <li>Uso del suelo: Agrícola</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Problema:</i> Elevadas concentraciones de fósforo y turbiedad</li> <li><i>Control del proceso:</i> T, pH, OD, P, N y clorofila</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Problema:</i> Cianobacterias</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>En un periodo de nueve años el fósforo total se redujo de 22.6 a 20.6 mg/m<sup>2</sup> d</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reproducción de plantas que absorben P y sirven de alimento para peces</li> </ul> | Schrenk-Bergt <i>et al.</i> , 2003 |
| Lago Wolderwijd-Neldernuaw, Holanda | <ul style="list-style-type: none"> <li>Profundidad: 1.6 m máx.</li> <li>Área de la cuenca: 26.70 km<sup>2</sup></li> <li>Dimensiones del embalse: S.D.</li> <li>Clima: temperatura máx. 24.4°C</li> <li>Tiempo de residencia hidráulica: S.D.</li> <li>Uso del suelo: S.D.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Problema</i> Elevadas concentraciones de clorofila</li> <li><i>Control del proceso:</i> N, OD, P, Si</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Problema:</i> Microalgas</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Se redujo en 50% los pigmentos (clorofila) y se incrementó la producción de oxígeno disuelto de 0.15 a 0.20 g/m<sup>2</sup> d en cuatro meses</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reproducción de algas bénticas que compiten con las microalgas</li> </ul>         | van Luijn <i>et al.</i> , 1995     |

**Tabla 45. Aplicación del método de biorremediación (cont.)**

| Lugar                         | Características   |   |            | Eficiencia  | Descripción  | Referencia            |
|-------------------------------|---|---|------------|---|--|-----------------------|
|                               | Morfométricas   | Físicas y químicas del agua   | Biológicas |   |  |                       |
| Lago Rodo Montevideo, Uruguay | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad máx: 2.5 m</li> <li>• Área de la cuenca: 0.013 km<sup>2</sup></li> <li>• Dimensiones del embalse: 257 x 75m (1.93 ha)</li> <li>• Clima: Temp. Máx: 18.4°C</li> <li>• Tiempo de residencia hidráulica: S.D.</li> <li>• Uso del suelo: S.D.</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problema</i><br/>Elevadas concentraciones de nitrógeno y fósforo</li> </ul>   | S.D.       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• E. crassipes absorbe 30.4 mg/m<sup>2</sup> d de P y 317 mg/m<sup>2</sup> d de N</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Absorción de nutrientes por E. crassipes</li> </ul>                     | Cireli y Chalar, 2002 |
| Pantanos Iraquíes             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad máx: 3.5 m</li> <li>• Área de la cuenca: 6.35 km<sup>2</sup></li> <li>• Dimensiones del embalse: S.D.</li> <li>• Clima: S.D.</li> <li>• Tiempo de residencia hidráulica: 13 meses</li> <li>• Uso del suelo: agricultura, turismo, agroindustria</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problema:</i><br/>Elevadas concentraciones de nitrógeno y fósforo</li> <li>• <i>Parámetros de control:</i> Nitrógeno, fósforo, OD, clorofila</li> </ul> | S.D.       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce de 2.5-3.5 mg/L de fósforo a 0.28-0.98 mg/L (de 8 a 39 %) en 12 semanas</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Absorción de nutrientes por plantas en pantanos artificiales</li> </ul> | UNEP, 2007            |

S.D. – Sin Datos

### 6.3 Control de carga interna

El uso de adsorbentes naturales e inocuos para coagular, precipitar e inactivar los nutrientes en cuerpos de agua eutrofizados, es una metodología comúnmente empleada para el mejoramiento de la calidad del agua y la reducción del crecimiento de algas (Cooke *et al.*, 2005).

Schauser *et al.* (2002), sugieren que para obtener resultados satisfactorios en la reducción de P se debe controlar la carga interna aplicando alguna sustancia química o adsorbente. Esta medida puede utilizarse en forma paralela a la reducción de la carga externa. Para reducir el nivel de eutrofización puede ser necesario repetir la aplicación hasta alcanzar el objetivo de la restauración.

La eutrofización en la Presa Valle de Bravo es causada por la aportación de nutrientes, que provienen de fuentes externas e internas, por lo que para resolver el problema de eutrofización en este embalse se debe de tomar en cuenta las siguientes medidas:

- a) Control de la carga interna que permite reducir el P presente en la columna de agua e inmovilizar el P en los sedimentos para evitar su liberación
- b) Disminuir la aportación de P por fuentes externas

Como acción a corto plazo para cambiar el estado trófico de la presa Valle de Bravo, se podría aplicar el control de carga interna mediante una técnica de inactivación de fósforo, aplicando adsorbentes naturales e inocuos para la remoción de fósforo de la columna de agua (precipitación o adsorción de P) y la retención del mismo fósforo en los sedimentos (inactivación de P).

Es importante considerar que el control de carga interna podrá resolver el problema de eutrofización en la presa de forma rápida pero requiere repetirse con cierta frecuencia. Una solución sustentable debe incluir también métodos de control de carga externa de nutrientes.

### 6.4 Extracción de agua de fondo

En esta tecnología se instalan sistemas de ductos en el fondo del lago o embalse, con la finalidad de extraer el agua de la interfase agua-sedimento, rica en nutrientes y sólidos suspendidos. El agua extraída puede ser utilizada para riego agrícola o ser tratada para incorporarla nuevamente al cuerpo de agua (Klapper, 2003).



## 6.5 Dragado

Se entiende por dragado, la operación de eliminación de sedimentos en cuerpos de agua. La selección de método de dragado depende de las características del cuerpo de agua y de los costos. Permite la remoción del mayor reservorio de nutrientes y de materia orgánica en embalses.

En la Tabla 48 se presentan ejemplos de dragado de sedimentos en cuerpos de agua y una explicación de la eficiencia o de la calidad del agua después de la extracción. Es claro que no es factible realizar un dragado de sedimentos en toda la presa de Valle de Bravo pero se podría analizar la posibilidad de instalar presedimentadores en los principales tributarios a la presa, para reducir la entrada de nutrientes y materia orgánica asociados a los sedimentos transportados por estas corrientes. De esta manera, el sedimento acumulado deberá eliminarse por dragado con cierta frecuencia para evitar su transporte al interior de la presa. Otra posibilidad es realizar un dragado para formar una depresión en la entrada de las corrientes, que facilitaría la sedimentación y el mantenimiento por dragado.

**Tabla 46. Aplicación del método de control de carga interna**

| Lugar                            | Características  |   |            | Eficiencia  | Descripción  | Referencia                                     |
|----------------------------------|--|---|------------|---|--|--|
|                                  | Morfométricas  | Físicas y químicas del agua   | Biológicas |   |  |  |
| Lagos Mirror y Shadow, Wisconsin | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad máx.: 13 m</li> <li>• Área de la cuenca: 0.05 y 0.17 km<sup>2</sup>, respectivamente</li> <li>• Dimensiones del embalse: S.D.</li> <li>• Clima: temperatura máx. de 27 °C</li> <li>• Tiempo de residencia hidráulica: S.D.</li> <li>• Uso del suelo: turismo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problema:</i> Elevadas concentraciones de fósforo y clorofila</li> <li>• <i>Parámetros de control:</i> pH, fósforo y toxicidad</li> </ul> | S.D.       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de fósforo desde 28 a 15 µg/L en dos años</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se agregan sales de aluminio, inactivando al fósforo en los sedimentos</li> </ul> | Cooke <i>et al.</i> , 2005; Olem y Flock, 1990 |

S.D. – Sin Datos

**Tabla 47. Aplicación del método de extracción de agua de fondo**

| Lugar                           | Características  |  |            | Eficiencia   | Descripción  | Referencia                                    |
|---------------------------------|--|--|------------|--|--|---|
|                                 | Morfométricas  | Físicas y químicas del agua  | Biológicas |  |  |   |
| Lago Kleiner Seddiner, Alemania | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad: S.D.</li> <li>• Área de la cuenca: S.D.</li> <li>• Dimensiones del embalse: S.D.</li> <li>• Clima: temperatura máx. 23 °C</li> <li>• Tiempo de residencia hidráulica: S.D.</li> <li>• Uso del suelo: S.D.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problema:</i> Elevadas concentraciones de fósforo</li> </ul>             | S.D.       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de P de 80-100 mg/L a 0.02 mg/L, aplicando bombeo de 35 m<sup>3</sup>/h</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de ductos, en la zona de hipolimnética. Pasa por un filtro eliminador de fósforo, para volverse a regresar al lago o El agua que se extrae para ser utilizada en la agricultura.</li> </ul> | Klapper, 2003                                 |
| Presa Wahnbach, Alemania        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad: S.D.</li> <li>• Área de la cuenca: S.D.</li> <li>• Dimensiones del embalse: S.D.</li> <li>• Clima: S.D.</li> <li>• Tiempo de residencia hidráulica: S.D.</li> <li>• Uso del suelo: S.D.</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problema:</i> Elevadas concentraciones de sólidos suspendidos</li> </ul> | S.D.       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de sólidos suspendidos hasta 0.02 mg/L, aplicando bombeo de 60 m<sup>3</sup>/h</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Al igual que la tecnología anterior se utilizan ductos para el bombeo de agua en la zona el hipolimnética. En este caso se utilizan sistemas de filtración antes del reuso del agua</li> </ul>                        | Klapper, 2003; Pinnekamp <i>et al.</i> , 2007 |

S.D. – Sin Datos

**Tabla 48. Aplicación del método de dragado**

| Lugar                | Características  |  |  | Eficiencia  | Descripción   | Referencia                 |
|----------------------|--|--|--|---|---|----------------------------|
|                      | Morfométricas  | Físicas y químicas del agua  | Biológicas   |   |   |                            |
| Lago Trummen, Suecia | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad: S.D.</li> <li>• Área de la cuenca: S.D.</li> <li>• Dimensiones del embalse: S.D.</li> <li>• Clima: S.D.</li> <li>• Tiempo de residencia hidráulica: S.D.</li> <li>• Uso del suelo: S.D.</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problema:</i> Elevadas concentraciones de nitrógeno y fósforo</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problema:</i> crecimiento de algas verde-azules</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En cada evento de dragado se redujeron las concentraciones de fósforo en 90% y las de nitrógeno, en 80%</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se removieron 40 cm de sedimento en dos ocasiones con 10 años de diferencia</li> </ul> | Cooke <i>et al.</i> , 2005 |
| Lago Lilly, Suecia   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad: 1.8 m</li> <li>• Área de la cuenca: S.D.</li> <li>• Dimensiones del embalse: S.D.</li> <li>• Clima: S.D.</li> <li>• Tiempo de residencia hidráulica: S.D.</li> <li>• Uso del suelo: agricultura</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problema:</i> Elevadas concentraciones de nitrógeno, fósforo y OD</li> </ul> | S.D.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se redujo la concentración de fósforo desde 14 hasta 9 mg/L y la de nitrógeno desde 1.1 hasta 0.8 mg/L</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utilizó el método de dragado por succión hidráulica</li> </ul>                      | Cooke <i>et al.</i> , 2005 |

**Tabla 48. Aplicación del método de dragado (cont.)**

| Lugar                | Características   |  |                               | Eficiencia   | Descripción   | Referencia                                      |
|----------------------|---|--|-------------------------------|--|---|---|
|                      | Morfométricas   | Físicas y químicas del agua  | Biológicas                    |  |   |   |
| Vaso Cencali, México | <ul style="list-style-type: none"> <li>Profundidad: 1.8 m</li> <li>Área de la cuenca: 2.9 km<sup>2</sup></li> <li>Dimensiones: vaso cencali 3.1 ha y Laguna de las Ilusiones 200 ha</li> <li>Clima: Tropical</li> <li>Tiempo de residencia hidráulica: S.D.</li> <li>Uso del suelo: urbano</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Problema:</i> Elevadas concentraciones de nitrógeno, fósforo, crecimiento de algas verde-azules y problemas de azolvamiento</li> <li><i>Parámetros de control:</i> olor, color, SST, pH, grasas y aceites, OD, fosfatos, nitrógeno amoniacal y sulfuros</li> </ul> | Garzas, cocodrilos y manatíes | <ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad de remoción de sedimentos 1000 m<sup>3</sup>/d</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Se utilizó un proceso de dragado por bombeo, sedimentación, transporte y secado de los sedimentos. Se diseñaron sedimentadores flotantes-sumergibles colocados en el vaso para reducir el volumen de sedimentos transportados. Se removió un promedio de 1.3m de sedimentos. Se recomendó usar el vaso cencali como presedimentador e instalar tratamientos de aguas residuales con remoción de nutrientes en la cuenca de la laguna de las Ilusiones</li> </ul> | Hansen et al., 2007 y van Afferden et al., 2008 |

S.D. – Sin Datos

## 6.6 Aireación

Los métodos de aireación en cuerpos de agua se han utilizado como medidas para mejorar la calidad del agua cuando se tienen problemas de eutroficación. Se han identificado dos grupos de metodologías de aireación de cuerpos de agua con características distintas, la primera es la aereación/oxigenación hipolimnética y la segunda es la circulación/desestratificación artificial. La diferencia entre ambas es que la oxigenación hipolimnética mantiene la estratificación en el cuerpo de agua e incrementa el oxígeno disuelto en la capa más profunda mediante la adición de aire u oxígeno directamente en el hipolimnio; mientras que la circulación/desestratificación artificial provoca un mezclado vertical en el cuerpo de agua al inducir corrientes artificiales y logra incrementar las concentraciones de oxígeno en las capas profundas al llevar agua oxidada desde la superficie hacia el fondo. Asimismo, homogeniza la temperatura y las concentraciones de las distintas sustancias presentes en la columna de agua.

El problema de la remediación por aireación/oxigenación, es que la mayor cantidad de materia orgánica en los cuerpos de agua, se asocian a los sedimentos. Esta materia orgánica se degrada paulatinamente, consumiendo oxígeno disuelto de la columna de agua. Este proceso puede durar varias décadas y en este tiempo puede ingresar nueva materia orgánica de la cuenca y del mismo embalse. Por ello, la aireación sólo funcionaría en combinación con otros métodos de remediación en el cuerpo de agua y en la cuenca hidrológica.

El ejemplo en la Tabla 49 se refiere a un lago de considerable tamaño y una cuenca hidrológica considerable. En esta cuenca que es principalmente urbana, ya se instalaron colectores de aguas residuales y plantas de tratamiento con control de nitrógeno y fósforo. Para el caso de valle de Bravo habrá que evaluar la aportación de nutrientes por fuentes difusas de contaminación.

**Tabla 49. Aplicación del método de aireación**

| Lugar               | Características   |   |            | Eficiencia  | Descripción   | Referencia                     |
|---------------------|---|---|------------|---|---|--------------------------------|
|                     | Morfométricas   | Físicas y químicas del agua   | Biológicas |   |   |                                |
| Lago Varese, Italia | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad máxima: 26 m</li> <li>• Área de la cuenca: 111.5 km<sup>2</sup></li> <li>• Área del embalse: 1452 ha</li> <li>• Clima: S.D.</li> <li>• Tiempo de residencia hidráulica: S.D.</li> <li>• Uso del suelo: S.D.</li> <li>• Hidrología: tributario canal Brabbia</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problema:</i> Elevadas concentraciones de nitrógeno y fósforo (anoxia hipolimnética, crecimiento de algas tóxicas, cargas significantes de fósforo de los sedimentos y muerte de peces)</li> <li>• <i>Control del proceso:</i> T, pH, DQO, DBO<sub>5</sub>, P, N, clorofila y fitoplancton</li> </ul> |            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de fósforo de 180 a 70 mg/m<sup>3</sup> después de dos años</li> <li>• Reducción de clorofila de 40 a 17 mg/m<sup>3</sup> en dos años</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se instalaron ductos de PEAD y se utilizó oxígeno criogénico, el cual se bombeó por un periodo de 306 d</li> </ul> | Premazzi <i>et al.</i> , 2005. |

S.D. – Sin Datos



## 7. Acciones para el saneamiento de la presa Valle de Bravo

En el saneamiento de la presa Valle de Bravo se debe considerar el aporte de la carga interna, así como la masa de nutrientes en la columna de agua.

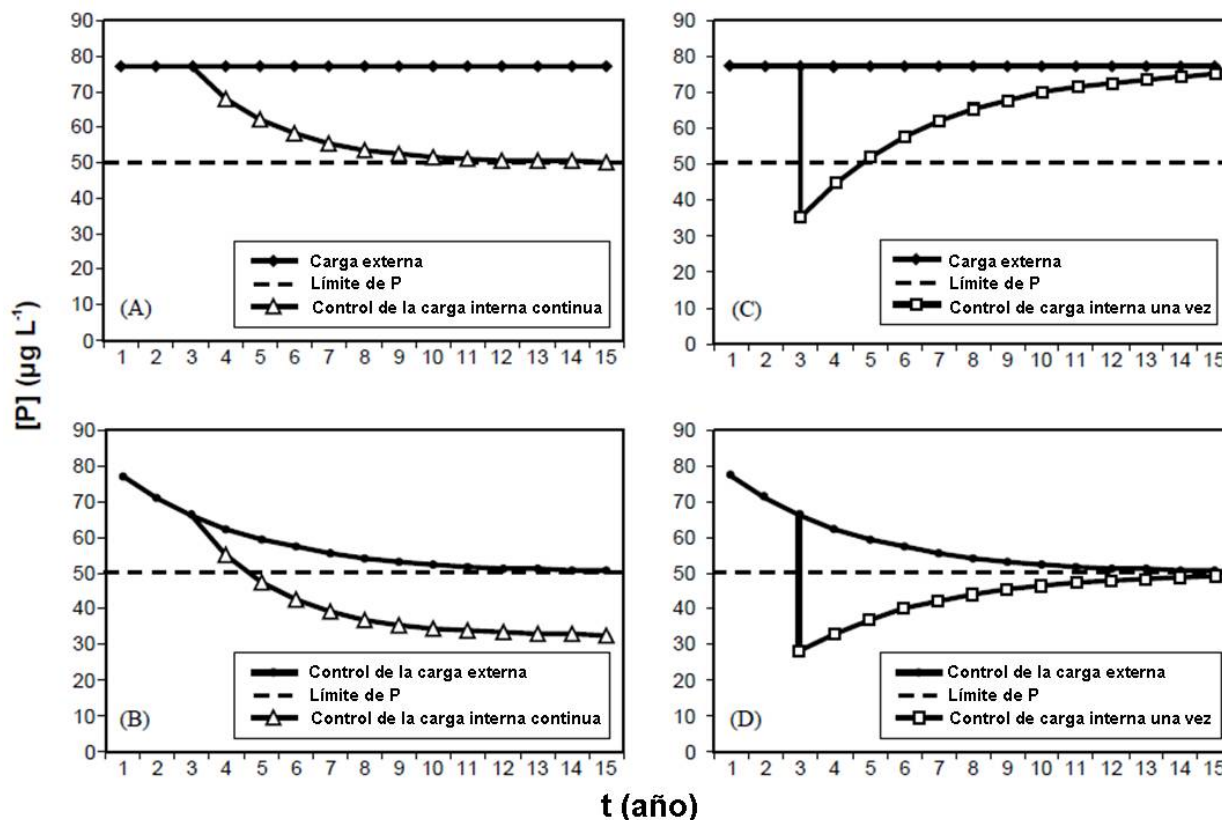
De acuerdo a las concentraciones de nutrientes en la presa, la relación N:P es de 116:1; por lo que, de acuerdo con Redfield (1958), el nutriente limitante para el crecimiento de algas es el fósforo.

### 7.1 Escenarios de saneamiento

Basado en experiencias en la reducción de nutrientes para la restauración de lagos, Sas (1989), Gachter (1985) y Schauser *et al.* (2002) sugieren que, para obtener resultados satisfactorios en la reducción de P se puede:

- A. Controlar la carga interna aplicando sustancias adsorbentes naturales o inocuas de manera continua (Figura 96A). Este escenario puede generar resultados satisfactorios al reducir el nivel de eutroficación, aún sin reducir los aportes de la carga externa. Sin embargo, para alcanzar el estado trófico deseado, se debe repetir la aplicación con cierta frecuencia para evitar que las concentraciones de nutrientes rebasen el límite de eutroficación (Figura 96A).
- B. Controlar la carga interna y reducir la carga externa de manera continua. Aplicando ambas medidas se obtienen resultados en menor tiempo en comparación con el escenario anterior. Las principales ventajas de este escenario son la reducción de los niveles de eutroficación en un periodo corto así como una menor inversión por el uso sustancias adsorbentes naturales o inocuas (Figura 96B).
- C. Controlar la carga interna aplicando sustancias adsorbentes naturales o inocuas en una sola aplicación, hasta alcanzar la baja del estado trófico. En este escenario se disminuye de forma acelerada el nivel de eutroficación, sin embargo esta medida saneamiento debe considerarse de corto plazo, debido a la aportación continua de nutrientes por las cargas externa e interna (Figura 96C).
- D. Reducir la carga externa de forma constante y controlar la carga interna con una sola aplicación de sustancias adsorbentes naturales o inocuas. Las principales ventajas de este escenario son la reducción de los niveles de eutroficación en un periodo de tiempo muy corto y una menor inversión por el uso sustancias adsorbentes. Al igual que en el escenario "B", la eficiencia del control de la carga externa, es el que determinará la concentración de nutrientes en el cuerpo de agua, ya que una vez que se dejan de aplicar sustancias adsorbentes, la

concentración de nutrientes en el cuerpo de agua será igual a la de los influentes (Figura 96D).



**Figura 96. Medidas en la reducción de P en un cuerpo de agua**

- (A) Sin control de la carga externa y control continuo de la carga interna
- (B) Control de la carga interna y externa
- (C) Control de la carga interna con una sola aplicación, sin controlar la carga externa
- (D) Control de la carga interna con una sola aplicación y control de la carga externa

Para el caso de la presa Valle de Bravo, las medidas que podrían dar mejores resultados para reducir los niveles de eutroficación, son los escenarios B y D.

## 7.2 Propuestas de solución

Se deben implementar medidas de solución a corto y mediano plazo; a corto plazo se plantea la aplicación de sustancias adsorbentes naturales o inocuas en la columna de agua, a mediano plazo, se señalan acciones tendientes a disminuir la aportación de P por carga externa.

### 7.2.1 Solución a corto plazo

Para disminuir el estado trófico de la presa Valle de Bravo a corto plazo, se propone la técnica de inmovilización de fósforo; esta metodología es empleada para el mejoramiento de la calidad del agua y la reducción del crecimiento de algas en cuerpos de agua eutrofizados (Cooke *et al.*, 2005), consiste en la aplicación de sustancias adsorbentes para la remoción de fósforo de la columna de agua (precipitación de P) y la retención del mismo en los sedimentos (inmovilización de P).

Las sustancias adsorbentes pueden aplicarse en toda la presa o, dependiendo de la evaluación mensual de las cargas internas por zonas, se podría considerar la aplicación en zonas con mayor carga de P. Estudios reportados por Cooke *et al.* (2005) recomiendan aplicar la sustancia adsorbente antes de que se presente el florecimiento algal. La periodicidad de aplicación depende de la dosis óptima y eficiencia de remoción, para lo cual es necesaria la realización de pruebas en laboratorio y pruebas piloto en la presa.

Se presenta una discusión de las ventajas, desventajas y mecanismos de remoción de P con sulfato de aluminio y con bentonita activada con lantano (Phoslock®).

#### Remoción de fósforo con sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$  comúnmente conocido como alumina. Se ha utilizado en plantas de tratamiento de agua potable y en lagos para reducir el fósforo en la columna de agua. Generalmente se suministra en estado líquido, pero también puede aplicarse de forma granular. Al agregar alumina a un cuerpo de agua, se inicia la hidrólisis de los iones de aluminio ( $Al^{+3}$ ) formando flóculos de hidróxido de aluminio ( $Al(OH)_3$ ) que se unen con el fósforo para formar fosfato de aluminio (Al-P) el cual precipita. En el fondo del lago se forma una capa que actúa como barrera impidiendo la liberación de fósforo de los sedimentos, lo que imposibilita que el fósforo este disponible para el fitoplancton (USEPA, 1982; Kenedy y Cooke, 1982; Welch y Cooke, 1999).

Sin embargo, el mecanismo de eliminación de P no es tan simple, ya que después de la aplicación, la alumina se disocia y el aluminio (Al) disuelto provoca una reacción de hidrólisis que ocasiona que el pH disminuya, generando condiciones ácidas.

Para facilitar la floculación de alumina en el agua, antes de adicionar la sustancia se recomienda agregar bicarbonato de sodio como amortiguador de pH. Después de la aplicación, la calidad y distribución de los flóculos dependen del pH. A  $pH > 8$  el ión predominante es  $Al(OH)_4^-$ , a pH entre 6 y 8 se forma  $Al(OH)_3$ , a  $pH < 6$  prevalecen los iones  $Al(H_2O)_6^{3+}$ ,  $Al(OH)_2^+$  y  $Al(OH)_2^+$  (Kennedy y Cooke, 1982; Stevenson y Vance, 1989). A  $pH < 4$  existe un riesgo de liberación de  $Al^{+3}$  a la columna de agua (Gibbs *et al.*, 2008).

Con alúmina se obtienen mejores resultados de remoción a pH de 6 a 8. La eficiencia de alúmina a pH alto en lagos eutróficos es baja. Van Hullebusch *et al.* (2003) han demostrado que a pH alto se intensifica la resuspensión de sedimentos por lo que existe el riesgo de liberación de fósforo de los sedimentos de manera significativa. Esto fue demostrado en un tratamiento de alumina de una serie de lagos en el estado de Washington (Cooke *et al.*, 1993). Estos autores explican que el mal resultado se debió principalmente al aumento de pH del agua a 10.1 y subsecuentemente la liberación de fósforo adsorbida. Lewandowski *et al.* (2003), señalan que cualquier cambio futuro del pH del agua o de la interfase agua-sedimento, puede causar la liberación de aluminio y de fosfatos de la alúmina en el medio acuático.

### Remoción de fósforo con Phoslock®

Phoslock® es una arcilla de bentonita modificada con el ingrediente activo lantano, se utiliza para reducir P presente en la columna de agua e inmovilizarlo en los sedimentos. Phoslock® generalmente se encuentra disponible de forma granular y puede ser aplicado a los cuerpos de agua de forma líquida o en gránulos. La eficiencia de Phoslock® no está regida por el pH del agua. La eliminación de P se atribuye al lantano, que adsorbe las moléculas de fosfato y forma un mineral altamente estable ( $\text{LaPO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ).

El Phoslock® se aplica a la columna de agua por aspersión en la superficie del agua o por inyección en el fondo (Figura 97). Adsorbe eficientemente el P disuelto en el agua; precipitándose en el fondo del cuerpo de agua, formando una capa que evita que el P sea liberado de los sedimentos. El Phoslock® opera en un rango de pH de 4 a 11, siendo el óptimo de 6 a 9, incluso actúa en condiciones anóxicas.

Douglas *et al.* (2000) han demostrado que Phoslock® elimina hasta 99% de P a pH de 6 a 8, a pH mayores de 9 obtuvieron una eficiencia de 40% después de 1 h y 60% en 24 h. Asimismo describen que es posible obtener el 99% de eficiencia en un periodo de 4 d a  $\text{pH} > 9$ . A diferencia de la alúmina, no presenta liberación de fosfatos por fluctuaciones de pH. En la Tabla 50 se presentan condiciones de aplicación de alúmina y de Phoslock®.

**Tabla 50. Condiciones de operación**

| Parámetro                      | Sulfato de aluminio   | Phoslock®          |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------|
| pH                             |                       |                    |
| Rango de operación             | 6-8                   | 4-11               |
| Condiciones óptimas            | 6-8                   | 6-9                |
| Dosis coagulante:fósforo (w/w) | 100:1                 | De 100:1.5 a 100:1 |
| Frecuencia                     | Una vez al año        | Una vez al año     |
| Toxicidad                      | Si                    | No                 |
| Método de aplicación           | Aspersión o inyección |                    |



Phoslock en gránulos y costales de 25 kg



Preparación de la suspensión de Phoslock



Aplicación por aspersión o inyección

**Figura 97. Preparación y aplicación de Phoslock**

### Estimación de costos

Se presentan los costos estimados para precipitar e inmovilizar fósforo en la presa Valle de Bravo, considerando la superficie total y basado en la dosis recomendada de sulfato de aluminio o Phoslock®, desde su concentración actual de 0.04 mg/L hasta alcanzar el nivel mesotrófico (entre 0.015 y 0.025 mg/L).

Para reducir la concentración de fósforo en el agua y la carga interna durante periodos de estratificación (de febrero a septiembre, aproximadamente), se recomienda aplicar la sustancia adsorbente sobre la superficie del agua, antes de que se presente el florecimiento algal o cuando la concentración de P en la columna de agua es baja. Asimismo, dependiendo de la estimación de carga interna con la información de cambios de potencial redox por zonas, la aplicación puede ser en toda la presa o en zonas con mayor carga de P.

La estimación (Tabla 51) considera el costo de las sustancias adsorbentes naturales o inocuas. De llevarse a cabo la inmovilización de fósforo por uno de estos métodos, habría que estimarse también el costo de transporte, infraestructura y aplicación. Estos costos serían semejantes para ambas sustancias. En caso del uso de alúmina, su aplicación requiere del pretratamiento con bicarbonato de sodio u otro búfer que permita establecer el pH del agua entre 6 y 8. La cantidad debe evaluarse para poder incluir los costos de este pretratamiento.

**Tabla 51. Cálculo de costos**

| Datos básicos   | Estimación  |             |
|---|-------------|-------------|
| Límite mesotrófico (mg/L)                                 | 0.015       | 0.025       |
| Superficie en julio de 2009 (ha)                          | 1,855       | 1,855       |
| Cantidad de PO <sub>4</sub> en el agua, julio de 2009 (t) | 121         | 121         |
| Cantidad de PO <sub>4</sub> a alcanzar en el agua (t)     | 18          | 28          |
| Cantidad de PO <sub>4</sub> a remover (t)                 | 104         | 93          |
| Frecuencia anual  | 1           | 1           |
| Dosis recomendada   | 100:1       | 100:1       |
| Cantidad requerida de alúmina (t)                         | 10,428      | 9,322       |
| Cantidad requerida de Phoslock®                           | 10,428      | 9,322       |
| Costo con alúmina (\$M.N.)                                | 33,577 427  | 30,017 982  |
| Costo con Phoslock® (\$M.N.)                              | 248,723 223 | 222,356 803 |

### Síntesis de la propuesta de solución a corto plazo

De acuerdo a lo anterior la opción más factible para el control de nutrientes es la combinación de los escenarios B y D (Figura 96), que incluyen el control de la carga interna de nutrientes y reducción de la carga externa, hasta alcanzar concentraciones de P correspondientes a niveles mesotróficos u oligotróficos.

Considerando la aplicación en toda la presa, la remoción de P con alúmina es más económica que con Phoslock®; sin embargo, por los valores de pH en la presa, la alúmina podría presentar algunas restricciones en la eficiencia de remoción de P.

Un escenario a considerar, consiste en la precipitación e inmovilización de P aplicando sustancias adsorbentes naturales o inocuas únicamente en las zonas de la presa donde la concentración de P en la columna de agua sea mayor a la concentración objetivo.

Actualmente no existen suficientes datos actualizados de la variabilidad estacional de calidad del agua, que permiten realizar el plan de saneamiento acorde a la problemática que presenta la presa Valle de Bravo. Por ello, los costos para este escenario no pueden estimarse con suficiente detalle.

Para definir la mejor época y zonas de aplicación de las sustancias adsorbentes naturales o inocuas, se recomienda realizar caracterizaciones periódicas durante un año de la concentración de nutrientes, pH y potencial redox, considerando los puntos de muestreo del presente proyecto. El aplicar sustancias adsorbentes naturales o inocuas por zonas, para remover nutrientes, podría disminuir significativamente los costos del saneamiento.

### **7.2.2 Propuesta de solución a mediano y largo plazo**

La carga externa representa una importante fuente de nutrientes a la presa Valle de Bravo por lo que, aunado al control de P en la presa, debe realizarse el análisis de los siguientes escenarios para su reducción:

1. Implementación de programas de conservación de cubiertas vegetales en suelos para el control de la erosión hídrica
2. Control de crecimiento de las actividades pecuarias en la cuenca
3. Manejo de nutrientes en la alimentación del ganado y reúso de excretas como abono en la agricultura
4. Separación de aguas domésticas y aguas pluviales mediante instalación de sistemas de alcantarillado
5. Ampliación de la cobertura de la red de alcantarillado y de bombeo en las principales poblaciones hacia PTAR que permitan remoción de nutrientes. Reuso de los lodos como abono en la agricultura
6. Tratamiento descentralizado de aguas domésticas en pequeñas poblaciones
7. Evaluación del beneficio de reemplazo de detergentes fosfatados en la cuenca
8. Evaluación del beneficio de operación de un sedimentador en las entradas de los ríos a la presa

## 8. Conclusiones y recomendaciones

A continuación se presentan las principales conclusiones del proyecto así como las recomendaciones para los trabajos enfocados al saneamiento del embalse.

### 8.1 Conclusiones

- El muestreo de agua y sedimentos en la presa Valle de Bravo se realizó en una época con nivel del agua extremadamente bajo (inferior a 200 Mm<sup>3</sup>). Los resultados determinaron que el embalse se encuentra en estado entre eutrófico e hipereutrófico, ligeramente alcalino, sobre todo en el epilimnio, y rebasando el pH para agua como fuente de abastecimiento de agua potable. Asimismo, el OD en la columna de agua estratificada, se encuentra en concentraciones inferiores al límite para protección de la vida acuática y para agua como fuente de abastecimiento. De los nutrientes, sólo el N-NH<sub>4</sub> rebasa el límite para protección de la vida acuática a profundidades entre 11 y 14 m.
- De acuerdo a las concentraciones de nutrientes en la presa, la relación N:P es de 116:1; por lo que, de acuerdo con Redfield (1958), el fósforo es el nutriente limitante que debe ser controlado para reducir el crecimiento de algas.
- Las concentraciones de N<sub>T</sub> en sedimentos son más elevadas en la entrada del río Amanalco, coincidiendo con las zonas con mayor acumulación de materia orgánica y manganeso. El P<sub>T</sub> se acumula más en las zonas más profundas del embalse y cerca de la cabecera municipal de Valle de Bravo.
- Se encontraron correlaciones positivas con nivel de significancia mayor a 95% entre hierro y N-NH<sub>4</sub>, N<sub>T</sub> y P<sub>T</sub> así como entre manganeso y N-NH<sub>4</sub>. Hierro y manganeso presentan correlaciones negativas con potencial redox. Con base a estos resultados se diseñaron experimentos de laboratorio para evaluar la liberación de nutrientes, considerando que el potencial redox controla la liberación de nutrientes.
- Se observó mayor liberación de nutrientes por unidad de peso en sedimentos provenientes de zonas intermedias y profundas que de zonas someras. La mayor liberación de N<sub>T</sub> se observó en condiciones oxidadas, provocado por la oxidación de la materia orgánica. Por su lado, la liberación de P<sub>T</sub> fue mayor bajo condiciones reducidas (o anóxicas), coincidiendo principalmente con la disolución de hierro.
- Con datos promedio mensuales para cambios en potencial redox reportados para cada profundidad de agua en el embalse (Ramírez-Zierold *et al.*, 2009), se estimó la carga interna de N<sub>T</sub> en 1,153 524 t/año y de P<sub>T</sub> en 3.7 t/año.



- La carga externa de nutrientes fue estimada en base a los inventarios de fuentes puntuales y difusas de contaminantes y el cálculo de escurrimientos por uso de suelo, fue de 288 t/año para  $N_T$  y de 91.72 t/año para  $P_T$ . Se compararon estos valores con las cargas externas reportadas en estudios realizados mediante la medición mensual directa en el embalse, encontrando un aumento en la carga externa de  $N_T$  de aproximadamente 50% mientras que la carga externa de  $P_T$  aumentó cerca de 100% respecto a un estudio reportado en el 1998. En este periodo hubo un aumento en la población en la cuenca de casi 180% y a cambios en el uso de suelo en la cuenca.

## 8.2 Recomendaciones

- Para estimar la carga interna, se requiere contar con información de potenciales redox en las diferentes zonas del embalse, por lo que, para realizar una estimación más fidedigna de carga interna, se propone realizar una campaña de medición de potencial redox durante los meses donde el agua de la presa se estratifica (de febrero a abril) y cuando se produce la mezcla vertical (de agosto a octubre).
- Para controlar la eutroficación en la presa de forma sustentable, se recomienda realizar acciones a corto plazo para reducir la carga interna al mismo tiempo que se implementen medidas a mediano y largo plazo, para controlar la carga externa.
- A corto plazo se recomienda aplicar adsorbentes naturales e inocuos para la vida acuática, que permitan la inmovilización de fósforo por adsorción y precipitación, evitando así la liberación durante épocas de anoxia.
- Existen productos en el mercado que inmovilizan fósforo en cuerpos de agua. Se recomienda evaluar su eficiencia bajo las condiciones de la presa Valle de Bravo.
- Se recomienda estimar los escenarios de reducción de nutrientes por la implementación de programas de:
  1. Control de la erosión hídrica
  2. Control de las actividades pecuarias en la cuenca
  3. Separación de aguas pluviales y residuales
  4. Ampliación de la red de alcantarillado y tratamiento de aguas domésticas
  5. Tratamiento descentralizado de aguas residuales en pequeñas poblaciones
  6. Disposición de lodos y desechos pecuarios en la agricultura



## 9. Referencias

- Acuagranjas/CNA (2002), Muestreos biológicos en las presas Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque del sistema Cutzamala, Informe Final, Contrato No. GAVM-GT-MEX-02-112-RF-LP, México DF.
- Acuagranjas/CNA (2003), Monitoreo biológico en las presas valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque del sistema Cutzamala, Informe Final, Contrato No: GAVM-GT-MEX-03-059-RF-LP, México DF.
- Acuagranjas/CNA (2004), Modelación matemática de la calidad del agua y monitoreo biológico de las presas Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque del sistema Cutzamala, Informe Final, Contrato No: GAVM-GT-MEX-04-083-LP, México DF.
- Acuagranjas/CONAGUA (2005), Monitoreo biológico de las presas Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque del sistema Cutzamala en el año 2005, y adecuación del modelo matemático para la presa Villa Victoria, segunda etapa, Informe Final, Contrato No. GAVM-GT-MEX-05-410-RF-LP, México DF.
- Acuagranjas/CONAGUA (2006), Actualización del monitoreo biológico de las presas Valle de Bravo, Villa Victoria y el Bosque del sistema Cutzamala para el año 2006 y actualización del modelo matemático para la presa El Bosque, Informe Final, Contrato No. GAVM-GT-MEX-06-415-LP, México DF.
- Acuagranjas/CONAGUA (2007), Monitoreo biológico de las presas Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque del sistema Cutzamala para el año 2007, Informe Final, Contrato No. GAVM-GT-MEX-07-412-RF-LP, México DF.
- Afsar A. y Groves S. (2009), Comparison of P-inactivation efficacy and ecotoxicity of alum and Phoslock®. Phoslock Water Solutions Limited. Disponible en World Wide Web <http://www.phoslock.com.au/docs2/Alum%20vs%20Phoslock-July%202009.pdf> [Consulta: 'Noviembre 2009].
- Aparicio F.J. (2001), Fundamentos de Hidrología Superficial. Limusa, México DF.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, 1998), D42-63 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. Disponible en: <http://www.astm.org/cgiin/SoftCart.exe/DATABASE.CART/HISTORICAL/D42263R98.htm?L+mystore+xbmt1911>. [Consulta: Octubre 2006].
- ASTM (American Society for Testing and Materials, 2000), D2974-00 Standard Test Method for Moisture, Ash, and Organic Matter or Peat and Other Organic Soils. Disponible en World Wide Web: [http://www.astm.org/cgiin/SoftCart.exe/DATABASE.CART/REDLINE\\_PAGES/D2974.htm?L+mystore+wycrc0614](http://www.astm.org/cgiin/SoftCart.exe/DATABASE.CART/REDLINE_PAGES/D2974.htm?L+mystore+wycrc0614). [Consulta: Noviembre 2006].
- ATSDR (Agency for Toxic Substance and Disease Registry, 2008), Toxicological Profile for Aluminum. Disponible en World Wide Web: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp22.htm>. [Consulta: Agosto 2009].
- Benaman J., Armstrong N. y Maidment D. (1996), Modeling of Dissolved Oxygen in the Houston Ship Channel using WASP5 and Geographic Information Systems. Center for Research in Water Resources. The University of Texas at Austin. Disponible en World Wide Web: <http://www.cwrw.utexas.edu/reports/1996/rpt96-2.shtml>. [Consulta: Junio 2009].

- Berthouex P.M. y Brown L.C. (2002), Statistics for environmental engineers. 2nd Edición. Lewis Publishers. Washington D.C.
- Buchman M.F. (2008), NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OR&R Report 08-1, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle WA, p. 34.
- CAEM (Comisión del Agua del Estado de México, 2009), Sistema Cutzamala. Disponible en World Wide Web: <http://www.edomex.gob.mx/portal/page/portal/caem/culturadelagua/cultura>. [Consulta: Junio 2009].
- Carnero-Bravo V. (2008), Reconstrucción de la evaluación trófica de un embalse monomítico cálido (Valle de Bravo, México) mediante el análisis de dos núcleos sedimentarios. Tesis Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. México. UNAM, 85 p.
- CCVB-A (Comisión de Cuenca Valle de Bravo-Amanalco, 2008), Presa de Valle de Bravo. Estado de México. Disponible en World Wide Web: <http://www.cuencaamanalcovalle.org/index.php?obj=secciones&IdMostrar=140>. [Consulta: abril 2009].
- Chacón L.O., Gutiérrez C.J.G. y Cárdenas B.M. (2002), Programa de ordenamiento ecológico de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco. Estado de México, Facultad de Geografía, UAEM. Informe final.
- Choi E., Eum Y., Gil K.I. y Oa S.W (2004), High strength nitrogen removal from nightsoil and piggy wastes. Water Science & Technology, vol. 49. núm. 5, pp. 97-104.
- Cireli A y Chalar G. (2002), El agua en Iberoamérica: de la limnología a la gestión en Sudamérica. Limnología y eutrofización de embalses en Colombia. CYTED, XVII, p. 107-122.
- CNA – IMTA (Comisión Nacional del Agua – Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1998), Monitoreo de la Calidad del Agua en las Cuencas de Valle de Bravo y Villa Victoria, Estado de México. Clave RD-9813. Informe final. México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua, 2007), Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Datos Básicos. CONAGUA. México. CD Rom.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua, 2008), Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Diciembre 2007. Disponible en World Wide Web: [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/INVENTARIO\\_PTARYPOT.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/INVENTARIO_PTARYPOT.pdf). [Consulta: Junio 2009].
- CONAPO (Consejo Nacional de Población, 2006), Proyecciones de México 2005-2050. Disponible en World Wide Web: [http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=36&Itemid=234](http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=234). [Consulta: Junio 2009].
- Cooke G.D., Welch E.B., Martin A.B., Fulmer D.G., Hyde J.B. y Schriever G.D. (1993), Effectiveness of Al, Ca, and Fe salts for control of internal phosphorus loading in shallow and deep lakes, Hydrobiologia, vol. 253, num. 1-3, pp 323-335. CSIRO (Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, 2000), A new way to clean up our rivers. Disponible en World Wide Web: <http://www.csiro.au/files/mediaRelease/mr2000/Phoslock.htm>. [Consulta: Noviembre 2009].

- Cooke G.D., Welch E.B., Peterson S.A. y Nichols S.A. (2005), Restoration and management of lakes and reservoirs, Taylor and Francis Group, 3a. Edición. Nueva York
- Deguchi J., Nakazawa A., Gutiérrez C. (1980), Studies on Interspecific Relation of Fishes in the dam Valle de Bravo, México, on the Environment, citado en: Olvera, V., L. Bravo y J. Sánchez. 1998. Aquatic ecology and management assessment in Valle de Bravo reservoir and its watershed. *Aquat. Ecosys. Health Manag.* vol. 1, núm. 2-3, pp. 277-290.
- DOF (Diario Oficial de la Federación, 2000), Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis, 31 de diciembre, p 85.
- DOF (Diario Oficial de la Federación, 1989), Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, México, 13 de diciembre, p. 17.
- Douglas G.B., Adeney J.A. y Zappia L.R. (2000), Sediment Remediation Project: 1998/9 Laboratory Trials Report. CSIRO Land and Water, Report number: 6/00.Barg U.C. (1994), Orientaciones para la promoción de la ordenación medioambiental del desarrollo de la acuicultura costera (basadas en un estudio selectivo de experiencias e ideas). FAO. Documento Técnico de Pesca, N° 328. Roma, FAO. 1994. 138p.
- EPA (Environmental Protection Agency, 1993), Method 351.2 Determination of total Kjeldahl nitrogen by semi-automated colorimetry. Chemistry Research Division, Cincinnati, Ohio Disponible en World Wide Web: [http://www.epa.gov/waterscience/methods/method/files/351\\_2.pdf](http://www.epa.gov/waterscience/methods/method/files/351_2.pdf). [Consulta: Julio 2009].
- EPA (Environmental Protection Agency, 1996), Method 3051. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils 1994, Duquesne University, Pittsburgh, PA. Disponible en World Wide Web: <http://www.sampleprep.duq.edu/dir/3051method.html>. [Consulta: Julio 2009].
- EPA (Environmental Protection Agency, 1996). Method EPA 6010 B Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. Disponible en World Wide Web: <http://www.uhu.es/tamara.garcia/quiml/apuntes/EPA-ICP.pdf>. [Consulta: Abril 2009].
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992), Wastewater treatment and use in agriculture. Disponible en World Wide Web: <http://www.fao.org/docrep/T0551E/t0551e03.htm>. [Consulta: Junio 2009].
- Gachter R. y Imboden D.M. (1985), Lake restoration. En: Chemical processes in lakes (Stumm W, editor) John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 363-388.
- Gibbs M., Bremner D., y van Kooten M. (2008), Comparison of efficacy of four P inactivation agents on Lake Rotoura sediments, Prepared for Environment Bay of Plenty, New Zealand. NIWA Client Report: HAM2008-105.
- Hansen A.M., van Afferden M. y Torres-Benjarano F. (2007), Saneamiento del vaso Cencali, Villahermosa, Tabasco. I. Contaminación y reuso de sedimentos, Ingeniería Hidráulica en México, vol. 22, núm. 4, pp. 87-102.
- Hosper H. y Meyer M. (1986), Control of phosphorus loading and flushing as restoration methods for Lake Veluwe, The Netherlands, *Hydrobiological Bulletin*, vol. 20, pp. 183-194.

- IDECA (Investigación y Desarrollo de Estudios de Calidad del Agua, 1999). Estudio limnológico de la presa Valle de Bravo, México. Contrato GT-306-GAVM-98. Informe final.
- IDECA (Investigación y Desarrollo de Estudios de Calidad del Agua, 2000). Muestreo biológico en las presas Valle de Bravo y Villa Victoria del sistema Cutzamala, México. Contrato TE-38-99-309A. Informe final.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1993), Limnología, monitoreo de *Vibrio cholerae* y manejo de cuenca de la presa Valle de Bravo, México. Proyecto IC-9207. Informe final.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2005a), Plan para la gestión integral del agua y recursos asociados de la cuenca Valle de Bravo. Estado de México. Clave: GAVMSC-GOA-MEX-05-404-RF-CC. Informe final.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2005b), Producción masiva de *C. piaropi* y *A. zonatum* mediante un biorreactor. Clave: TC-0446. Proyecto SAGARPA-CONACYT TC-0278. Informe final.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2007), Anuario Estadístico Estado de México. Edición 2007. Disponible en World Wide Web <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/Aee07/estatal/mex/index.htm> [Consulta: Junio 2009].
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2005), Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. Disponible en World Wide Web: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/conteo2005/iter2005/selentcam po.aspx>. [Consulta: Junio 2009].
- Jones D.D. y Sutton A.L. (2003), Design and operation of livestock waste lagoons. Agricultural and Biological Engineering, Purdue University, ID -120. Disponible en World Wide Web: <http://www.ces.purdue.edu/extmedia/ID/ID-120.html>. [Consulta: Julio 2009].
- Keating K.I. (1977), Blue-green algal inhibition of diatom growth: transition from mesotrophic to eutrophic community structure, *Science*, vol. 199, pp. 971-973.
- Kennedy R.H. y Cooke G.D. (1982), Control of lake phosphorus aluminium sulphate: dose determination and application techniques. *Water Research Bulletin*, vol. 18, num. 3, pp. 389-395.
- Klapper H. (2003), Technologies for lake restoration, *Journal of Limnology*, vol. 62, pp. 73-90.
- Lewandowski J., Schauser I., y Hupfer M. (2003), Long term effects of Phosphorus precipitation with alum in hypereutrophic Lake Süsser See (Germany). *Water Research*, vol. 37, num. 13, pp. 3194-3204.
- Lorenzen M. y Fast A. (1977), A guide to Aeration/Circulation Techniques for Lake Management, EPA Technical Report Data, EPA-600/3-77-004.
- Metcalf y Eddy (2003), *Wastewater engineering, treatment and reuse*. 4a ed. McGraw-Hill. New York.
- Miao S., DeLaune R.D. y Jugsujinda A. (2006), Influence of sediment redox conditions on release/solubility of metals and nutrients in a Louisiana Mississippi River deltaic plain freshwater lake, *Sci. Total Environ.* vol. 371, núm. 1-3, pp. 334-343.

- Miller R.I., Freund J.E. y Johnson R. (1997), Probabilidad y Estadística para Ingenieros, 5ª ed. Prentice Hall, México DF.
- OECD (Organization for Economic Co-operation and Development, 1982), Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control, OECD 971982031P1, París. ISBN 9264122982.
- Olem H. y Flock G. (1990), Lake and reservoir restoration guidance manual, 2ª ed. EPA 440/90-006, Washington DC.
- Olvera V.V. (1990), Estudio de la Eutroficación del Embalse Valle de Bravo, México, citado en: Olvera, V., L. Bravo y J. Sánchez. 1998. Aquatic ecology and management assessment in Valle de Bravo reservoir and its watershed. *Aquat. Ecosys. Health Manag.* vol. 1, núm. 2-3, pp. 277-290.
- Olvera V.V., Bravo L. y Sánchez J. (1998), Aquatic ecology and management assessment in Valle de Bravo reservoir and its watershed. *Aquat. Ecosys. Health Manag.* vol. 1, núm. 2-3, pp. 277-290.
- OMEE (Ontario Ministry of the Environment and Energy, 1994), Evaluating construction activities impacting on water resources. Part III A. Handbook for dredging and dredged material disposal in Ontario, ISBN 0-7778-3291-7.
- Pacheco-Avila J., Pat-Canul R. y Cabrera-Sansores A. (2002), Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería Revista Académica*, vol. 6, núm. 3, pp. 73-81.
- Paerl H. W. (1988), Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine, and inland waters, en: *Limn. and ocean.* vol. 33, pp. 823-847.
- Parra O. O. (1989), La eutroficación de la Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: Un caso de estudio, en: *Ambiente y Desarrollo*, Vol. V(1), pp. 117-136.
- Pinnekamp J., Montag D., Gethke K., Goebel S. y Herbstl H. (2007), Rückgewinnung eines schadstofffreien, mineralischen Kombinationsdüngers "Magnesiumammoniumphosphat - MAP" aus Abwasser und Klärschlamm. *Umweltbundesamt, Texte 25/07 ISSN 1862-4804. Dessau-Roßlau.*
- Premazzi G., Cardoso A.C., Rodari E., Austoni M y Chiaudani G. (2005), Hypolimnetic withdrawal coupled with oxygenation as lake restoration measures: the successful case of Lake Varese (Italy), *Limnetica*, vol. 24, núm. 1-2, pp. 123-132.
- Ramírez-Zierold J.A., Merino-Ibarra M., Monroy-Ríos E., Olson M., Castillo F.S., Gallegos M.E. y Vilaclara G. (2009), Changing water, phosphorus and nitrogen budgets for Valle de Bravo reservoir, water supply for Mexico City Metropolitan Area. Sometido a *Lake and Reservoir Management*.
- Rector J. y Hallock D. (1994), Ecology's lake restoration program, Department of Ecology State of Washington, Disponible en World Wide Web: [http://www.ecy.wa.gov/programs/eap/lakes/wq/lk\\_man.html](http://www.ecy.wa.gov/programs/eap/lakes/wq/lk_man.html). [Consulta: Junio 2009].
- Redfield A.C. (1958), The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.* vol. 46, pp. 1-221.



- Ruban V., López-Sánchez J.F., Pardo P., Rauret G., Muntau H. y Quevauviller Ph. (1999), Selection and evaluation of sequential extraction procedures for the determination of phosphorus forms in lake sediment, *Journal of Environmental Monitoring*, Minnesota, vol. 1, pp. 51-56.
- Ruiz M.D. y Sánchez S.A.M. (2006), Apuntes de estadística. Disponible en World Wide Web: <http://www.eumed.net/libros/2006/rmss/>. [Consulta: Septiembre 2009].
- Salas H. y Martino P. (2001), Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales. Programa Regional CEPIS/HEP/OPS 1981- 1990. CEPIS, Lima.
- Sas H. (1989), Lake restoration by reduction of nutrient loading: expectations, experiences, extrapolations. Academia Verlag Richarz, Sankt Augustin, 497p.
- Schauser I., Lewandowski J. y Hupfer M. (2003), Decision support for the selection of an appropriate in-lake measure to influence the phosphorus retention in sediments, *Water Research*, num. 37, pp. 801-812.
- Schrenk-Bergt C., Krause D., Prawitt O., Lewandowski J. y Steinberg C.E.W. (2003), Eutrophication problems and their potential solutions in the artificial shallow lake Altmühlsee, *Studia Quaternaria*, vol. 21, pp. 73-86.
- Shuman L.M. (2005), Chemistry of Micronutrients in Soils, en M. A. Tabatabai y D. L. Sparks (eds), *Chemical Processes in Soils*, SSSA, Madison, WI.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2008), Sistemas-Productos Pecuarios. Disponible en World Wide Web <http://www.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=837&tipo=0> [Consulta: Junio 2009].
- Stevenson F. y Vance G. (1989), Naturally occurring aluminium-organic complexes. En: *The environmental Chemistry of Aluminium* (Sposito G. editor) CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 117-147.
- Taiganides E.P., Pérez E.R. y Giron S.E. (1996). Manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México. Consejo Mexicano de Porcicultura, México DF.
- Tilman D. y Lehman C. (2001), Human-caused environmental change: Impacts on plant diversity and evolution, en: *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 98, pp. 5433-5440.
- UNEP (United Nations Environment Programme, 2007), Support for environmental management of the Iraqi Marshlands, Disponible en World Wide Web: <http://marshlands.unep.or.jp/>. [Consulta: Junio 2009].
- USEPA (United State Environmental Protection, 1982), Preliminary assessment of multiphase restoration efforts at Liberty Lake, Washington. Office of Research and Development, Washington, DC.
- van Afferden M., Hansen A.M. y Kaiser C. (2006), Laboratory test system to measure microbial respiration rate, *Int. J. Environment and Pollution*, vol. 26, núm. 1/2/3, pp. 220-233.
- van Afferden M., Hansen A.M. y Torres-Bejarano F. (2008), Saneamiento del vaso Cencali, Villahermosa, Tabasco. II Diseño del proceso, *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. 23, núm. 1, pp. 57-70.



- Van Hullebusch E., Auvray F., Deluchat V., Chazal P.M. y Baudu M. (2003), Phosphorus fractionation and short-term mobility in the surface sediment of a polymictic shallow lake treated with a low dose of alum (Courtille Lake, France). *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 146, num 1-4, pp. 75–91.
- van Luijn F., van der Molen D.T., Lutter W.J. y Boers P.C.M. (1995), Influence of benthic diatoms on the nutrient release from sediments of shallow lakes recovering from eutrophication, *Water Sci. Technol.*, vol. 32, pp 89-97.
- Vitousek P.M. (1994), Beyond global warming: ecology and global change, en: *Ecol.* vol. 75, pp. 1861-1976.
- Vitousek P.M., Mooney H.A., Lubchenco J. y Melillo J.M. (1997), Human domination of Earth's ecosystems, en: *Sci.* vol. 277, pp. 494-499.
- Welch E.B. (1982), The dilution/flushing technique in lake restoration, *Journal of the American Water Research Association*, vol. 17, pp. 558-564. Disponible en World Wide Web: <http://nsdl.org/resource/2200/20061123124427917T>. [Consulta: Junio 2009].
- Welch E.B. y Cooke G.D. (1999), Effectiveness and longevity of phosphorus inactivation with alum. *Lake and Reservoir Management*, vol.15, núm. 1, pp. 5-27.
- WHO (World Health Organization). 2004. Manganese and its compounds: Environmental aspects. Concise International Chemical Assessment Document 63. Ginebra.
- Zhou F., Liu Y. y Guo H. (2007), Application of multivariate statistical method to water quality assessment of the watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong. *Environ. Monit. Assess.* vol. 132, pp 1-13.





**CONAGUA**

Comisión Nacional del Agua

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. Dirección Técnica.



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

SEMARNAT

## **Anexo 1. Distribución de la concentración de parámetros medidos en agua y sedimentos**



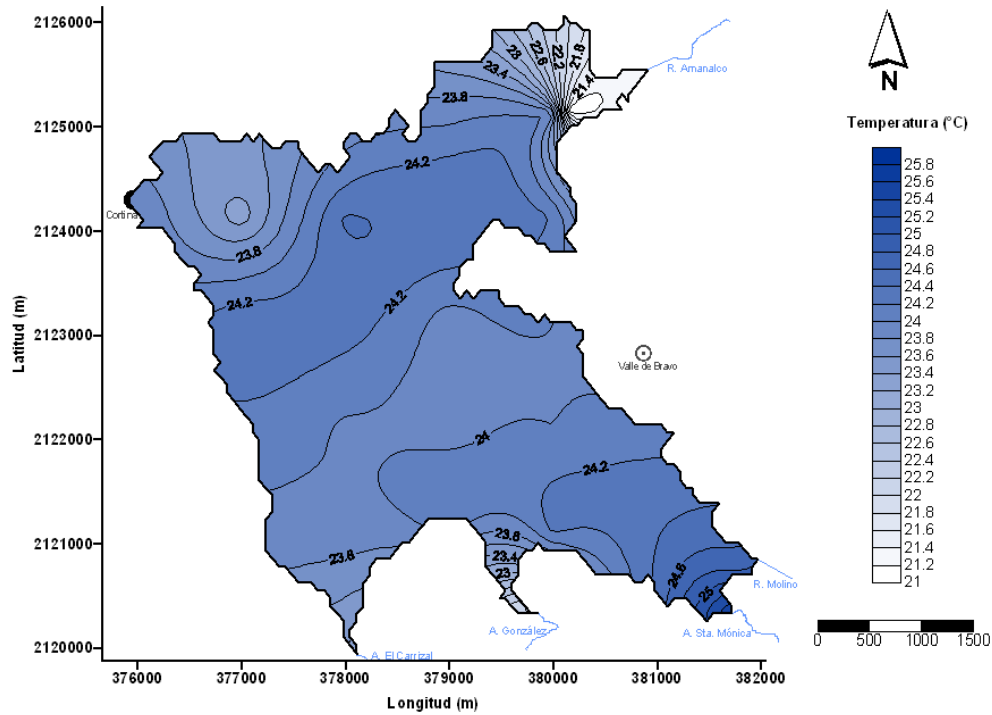


Figura 98. Temperatura en agua de superficie de la presa Valle de Bravo

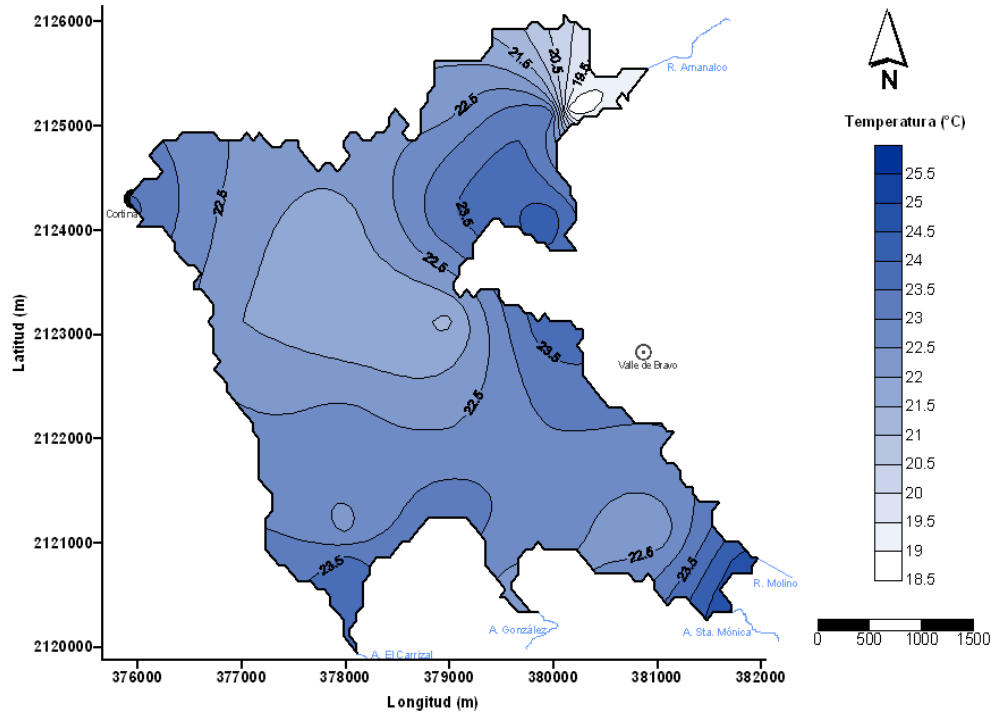


Figura 99. Temperatura en agua de fondo de la presa Valle de Bravo

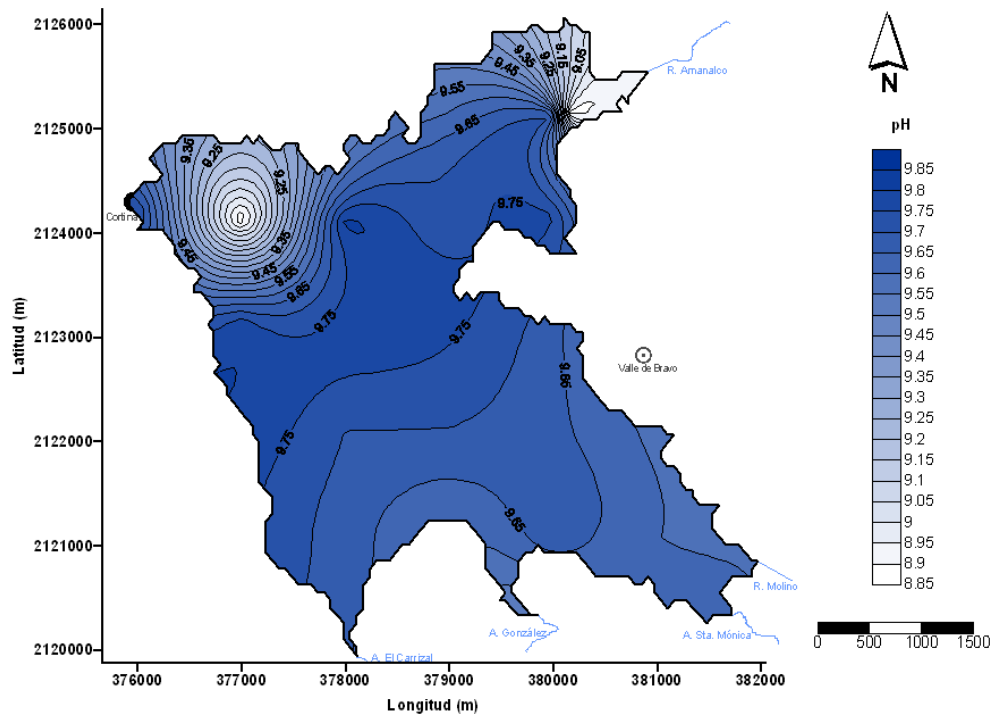


Figura 100. pH en agua de superficie de la presa Valle de Bravo

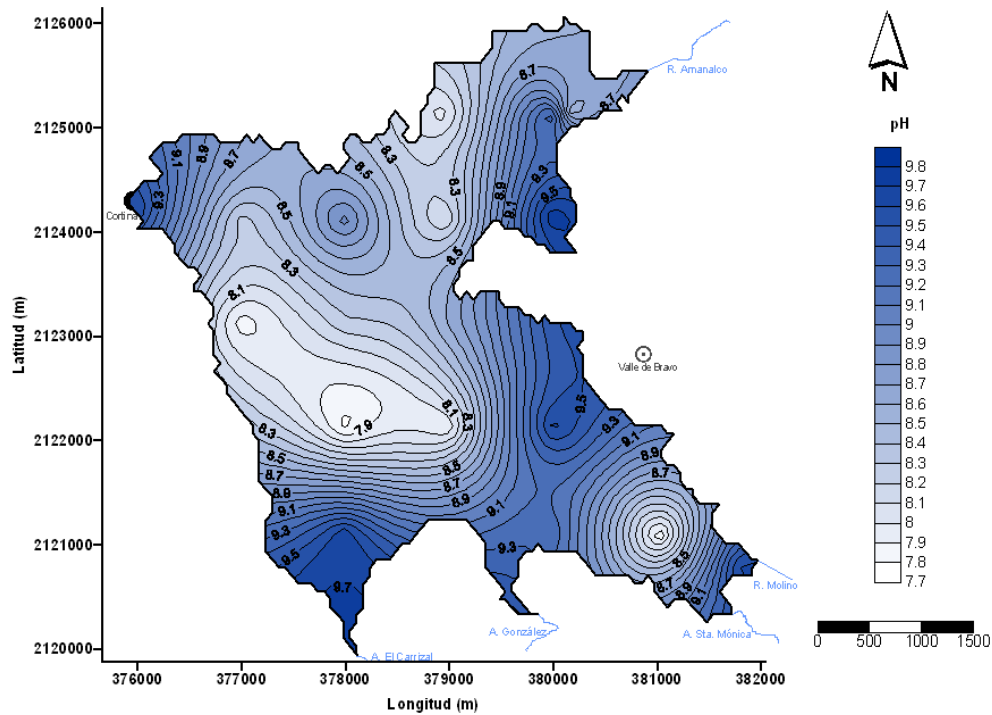


Figura 101. pH en agua de fondo de la presa Valle de Bravo

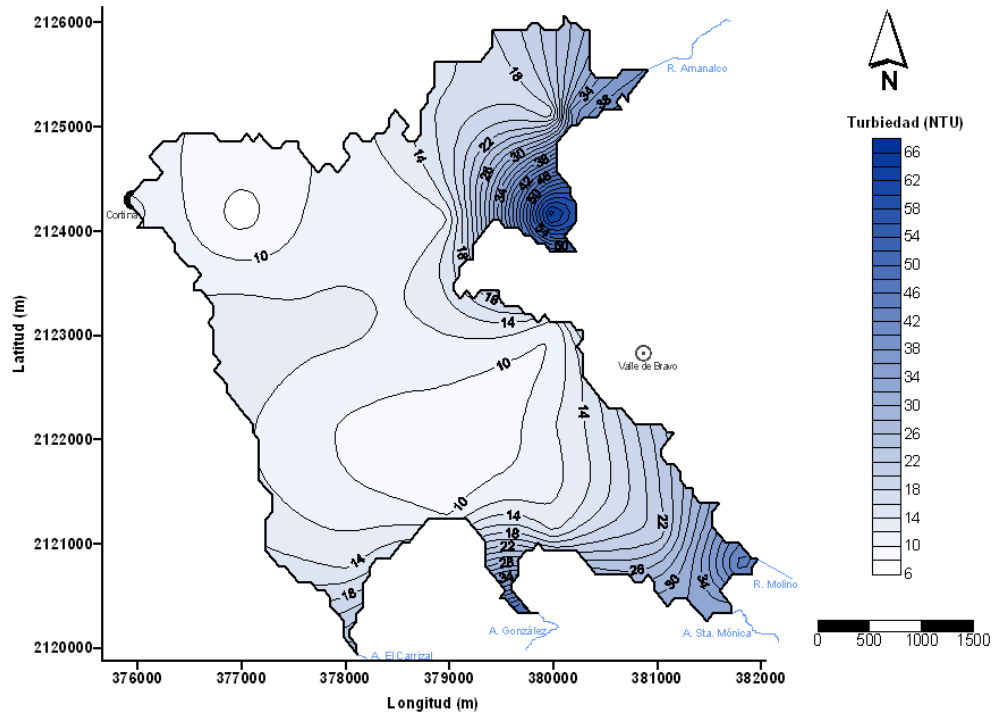


Figura 102. Turbiedad en agua de superficie de la presa Valle de Bravo

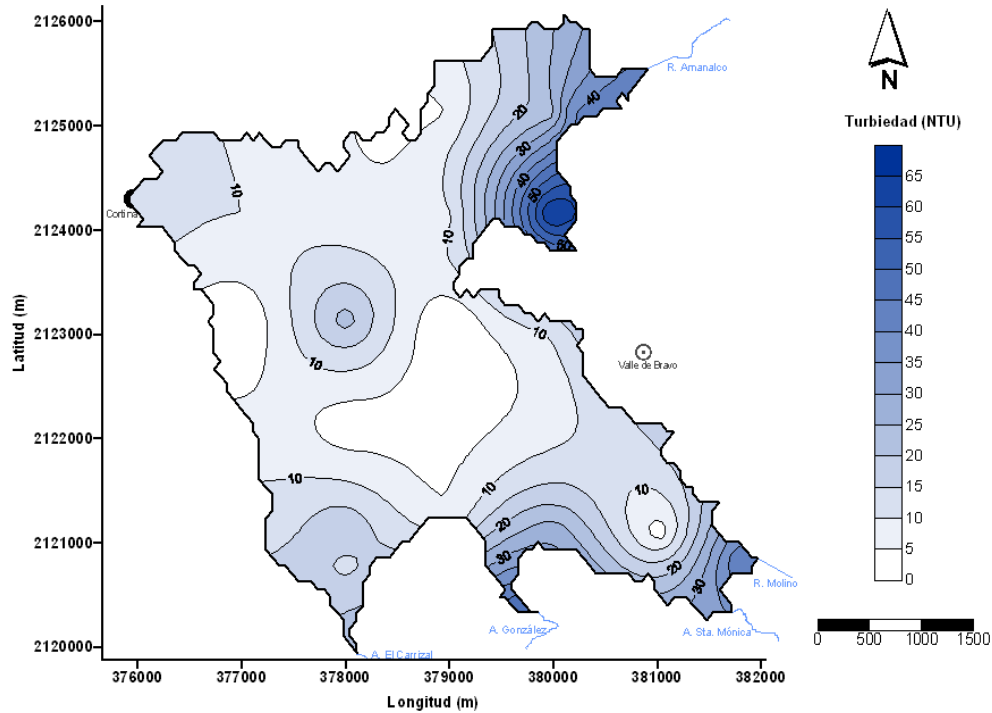
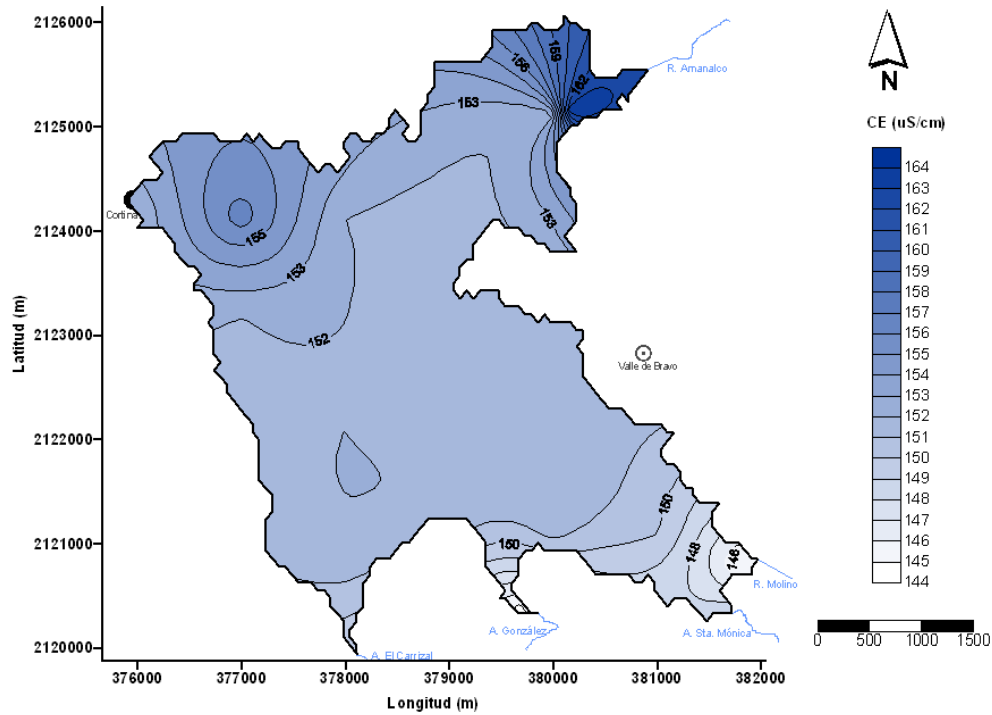
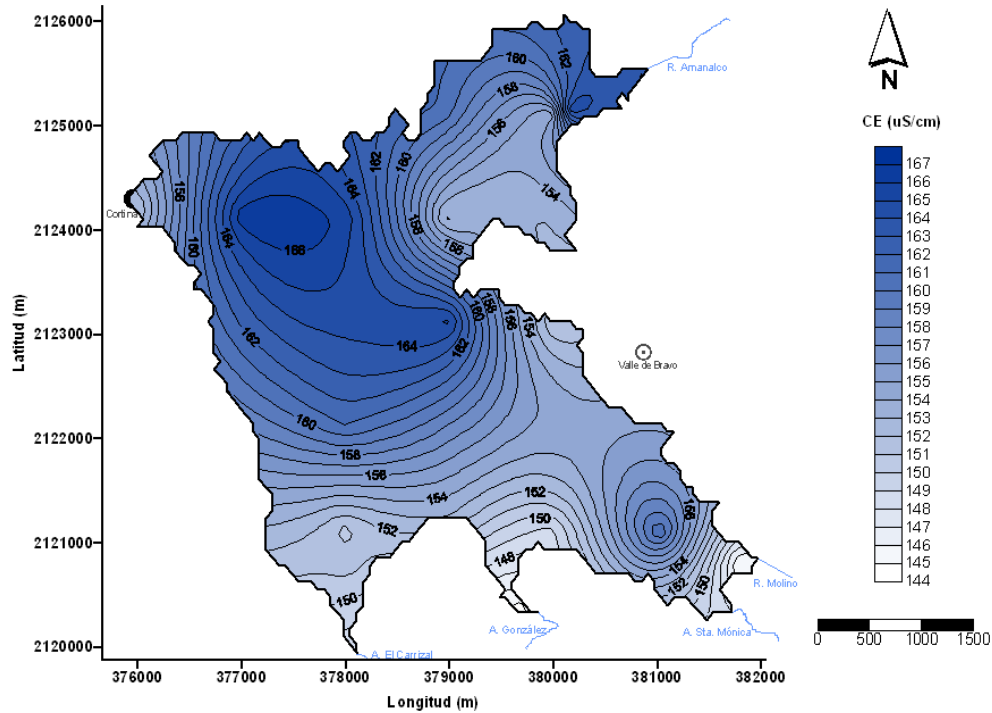


Figura 103. Turbiedad en agua de fondo de la presa Valle de Bravo



**Figura 104. Conductividad eléctrica en agua de superficie de la presa Valle de Bravo**



**Figura 105. Conductividad eléctrica en agua de fondo de la presa Valle de Bravo**

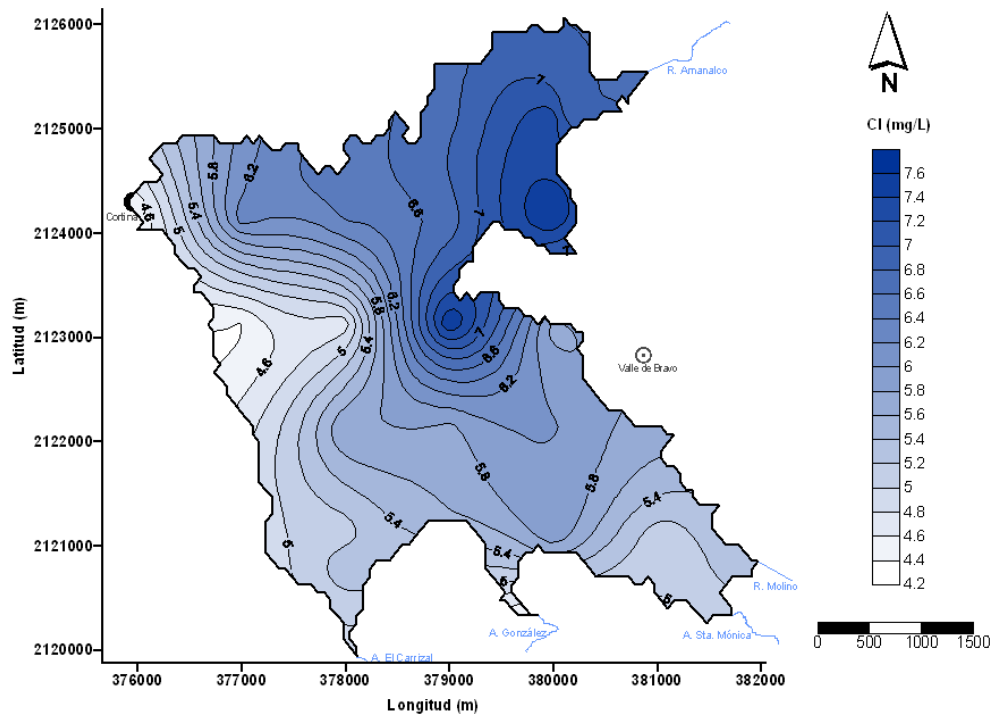


Figura 106. Cloruros en agua de superficie de la presa Valle de Bravo

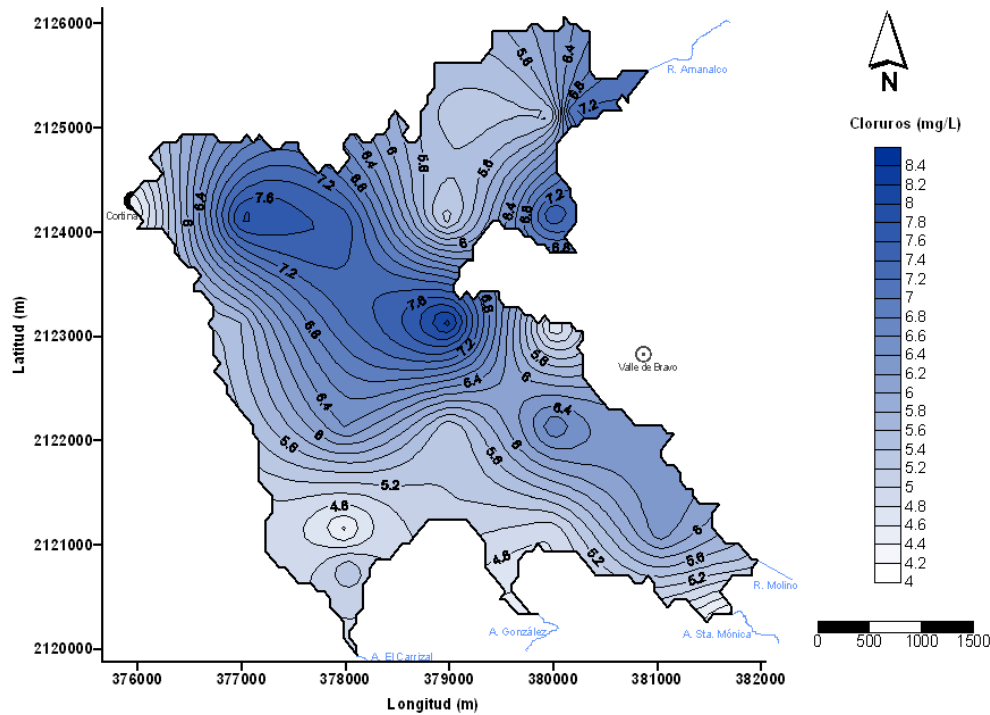


Figura 107. Cloruros en agua de fondo de la presa Valle de Bravo

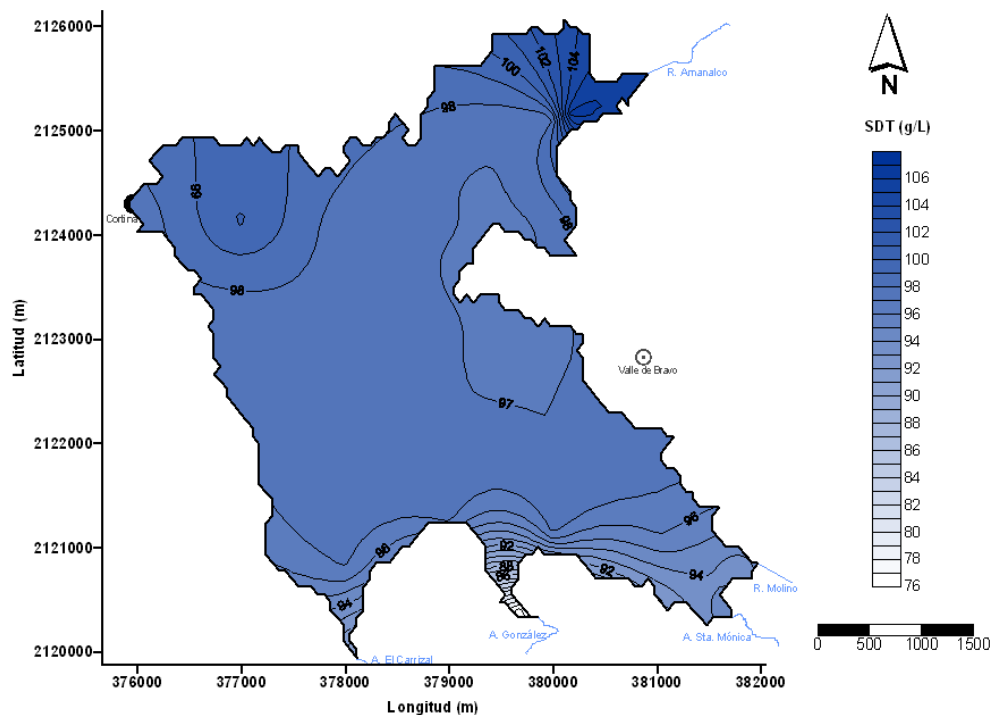


Figura 108. Sólidos disueltos totales en agua de superficie de la presa Valle de Bravo

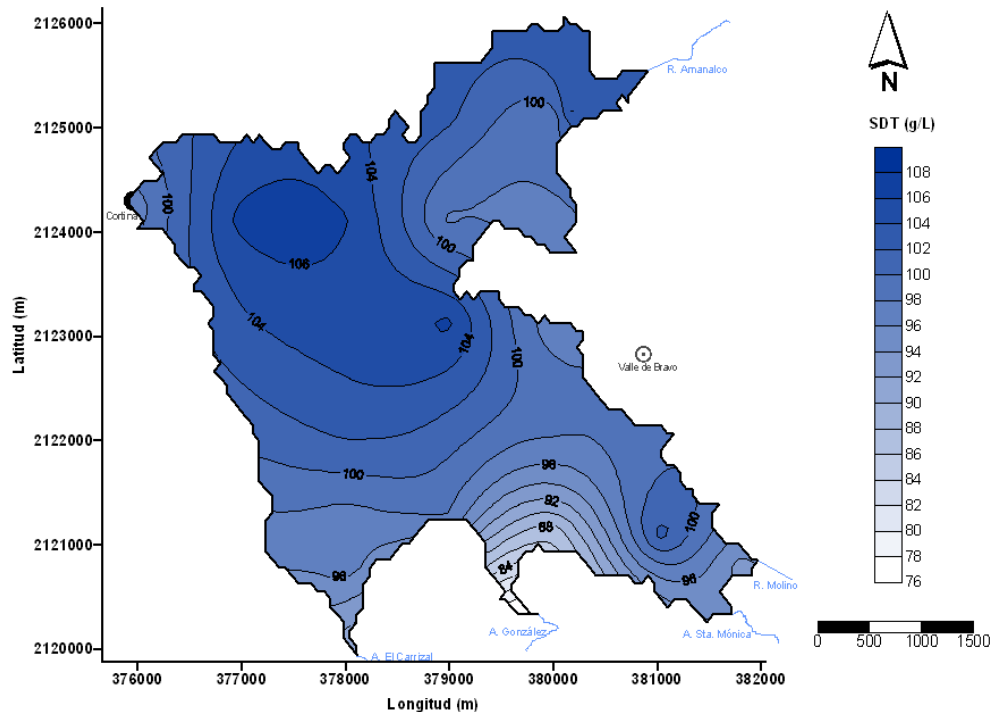


Figura 109. Sólidos disueltos totales en agua de fondo de la presa Valle de Bravo



**CONAGUA**

Comisión Nacional del Agua

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. Dirección Técnica.



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

SEMARNAT

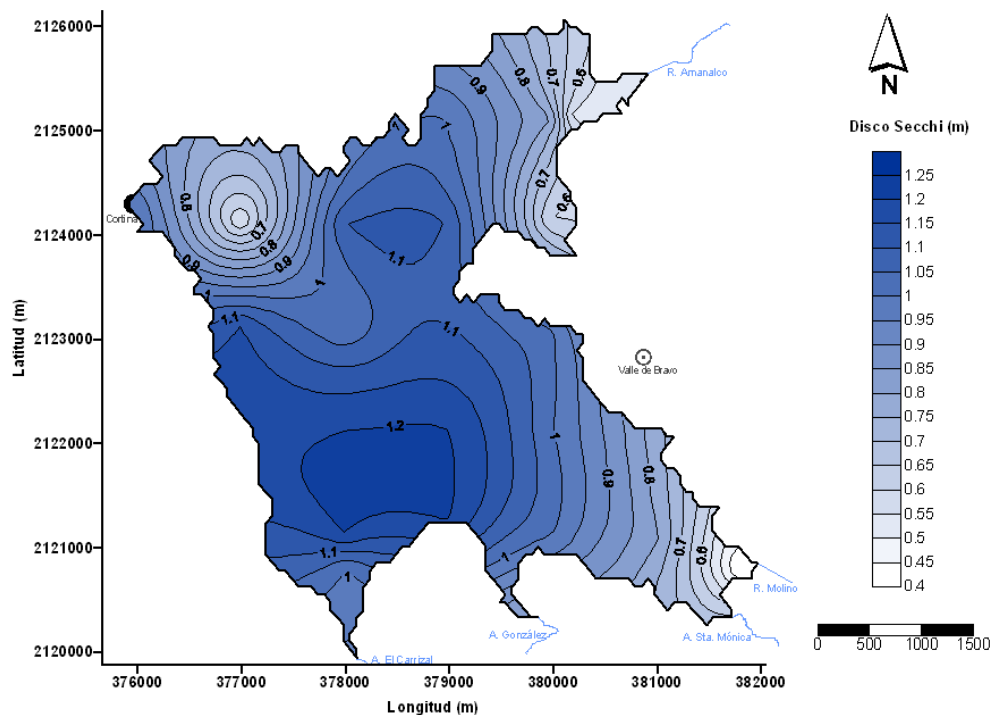


Figura 110. Visibilidad del Disco Secchi en la presa Valle de Bravo

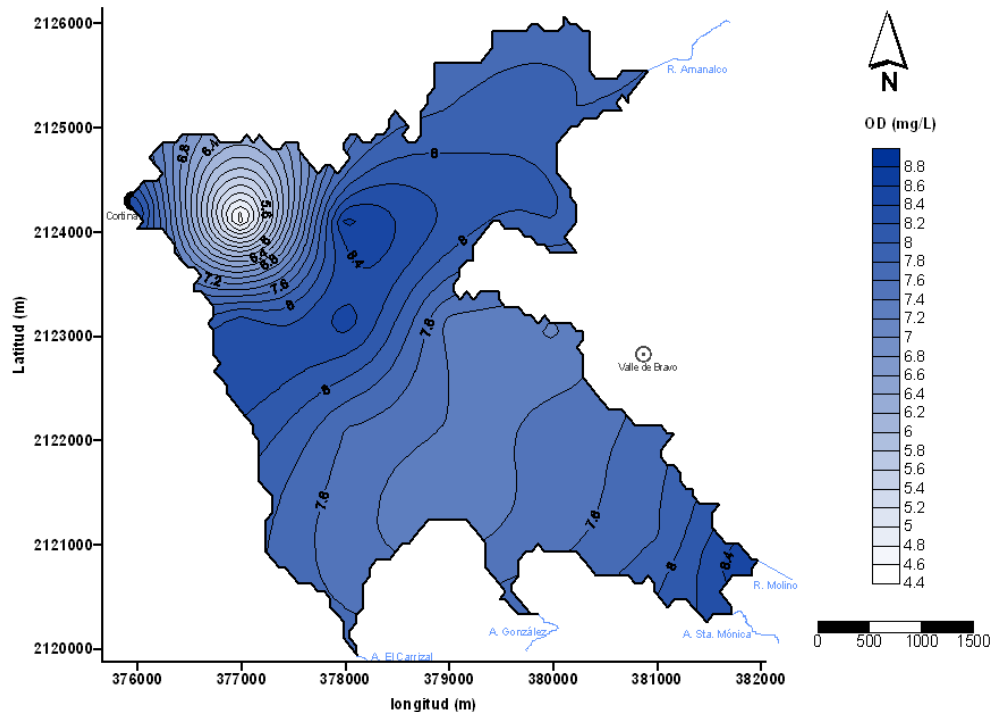
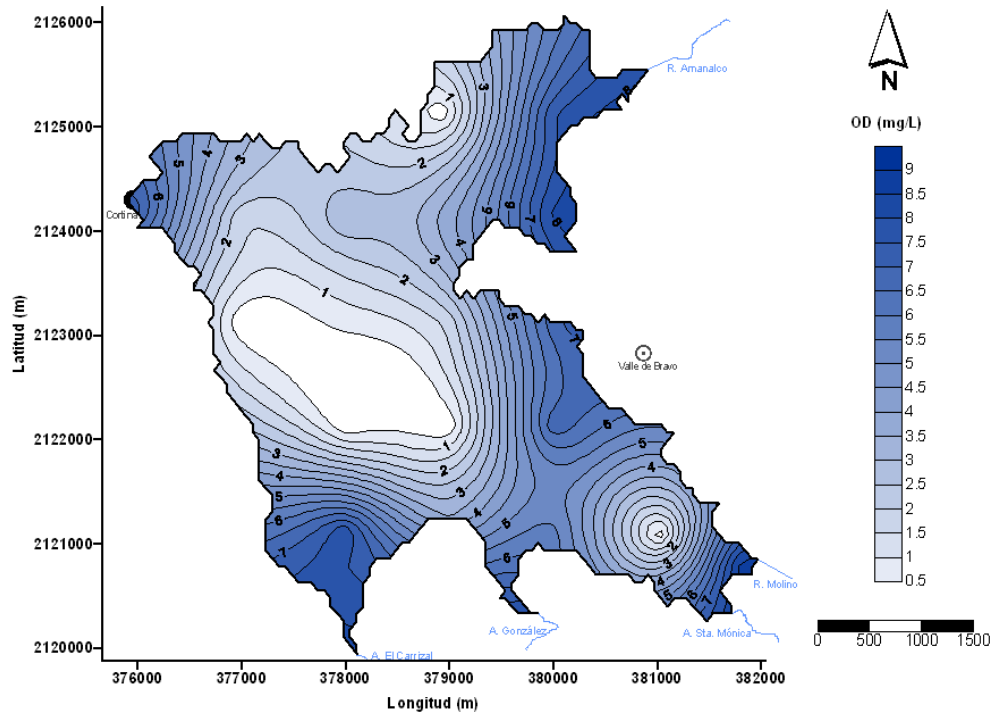
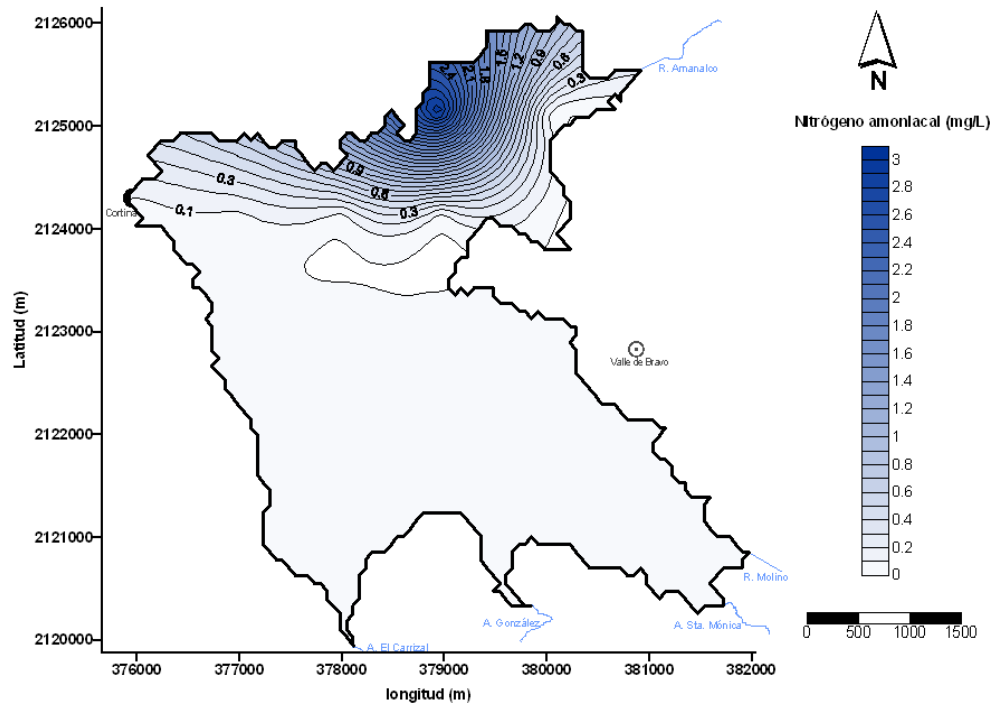


Figura 111. Oxígeno disuelto en agua de superficie de la presa Valle de Bravo



**Figura 112. Oxígeno disuelto en agua de fondo de la presa Valle de Bravo**



**Figura 113. Nitrógeno amoniacal en agua de superficie de la presa Valle de Bravo**

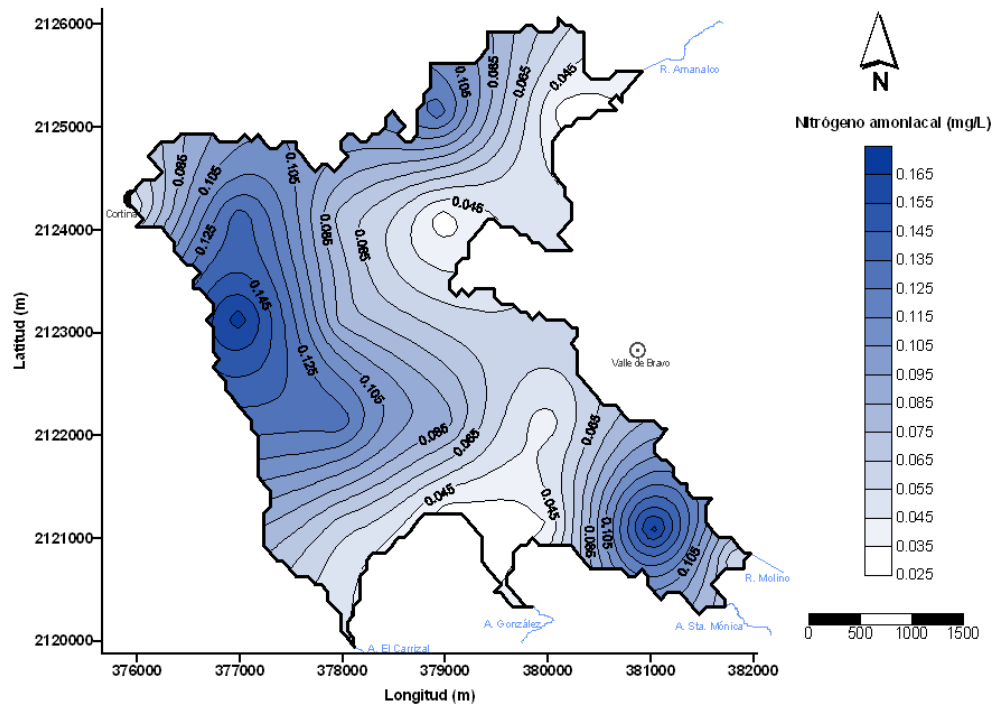


Figura 114. Nitrógeno amoiacal en agua de fondo de la presa Valle de Bravo

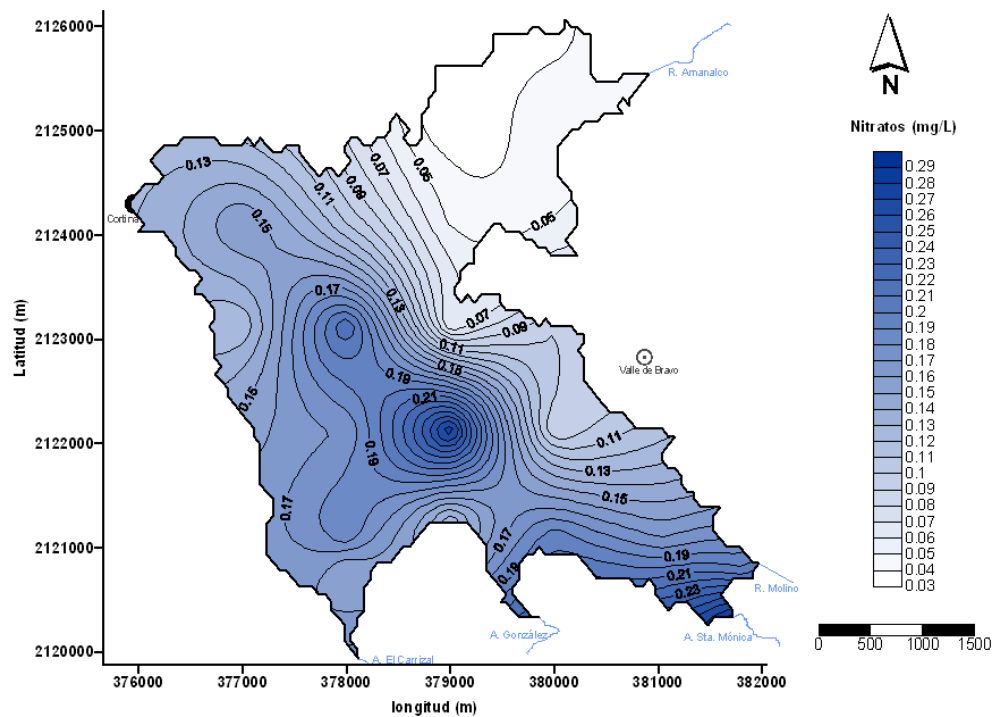
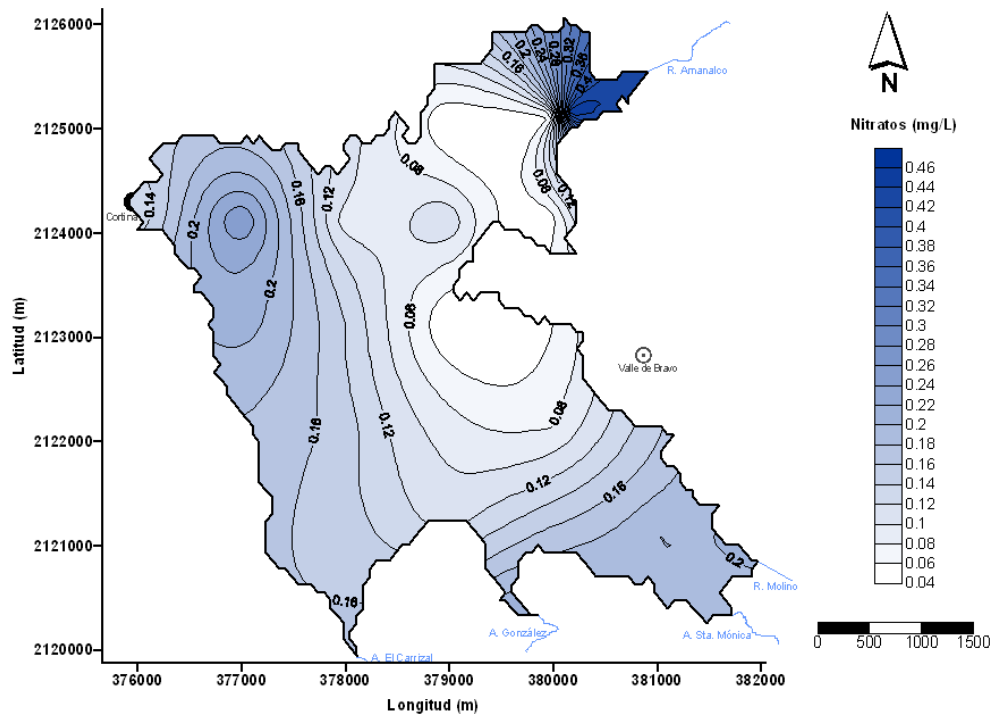
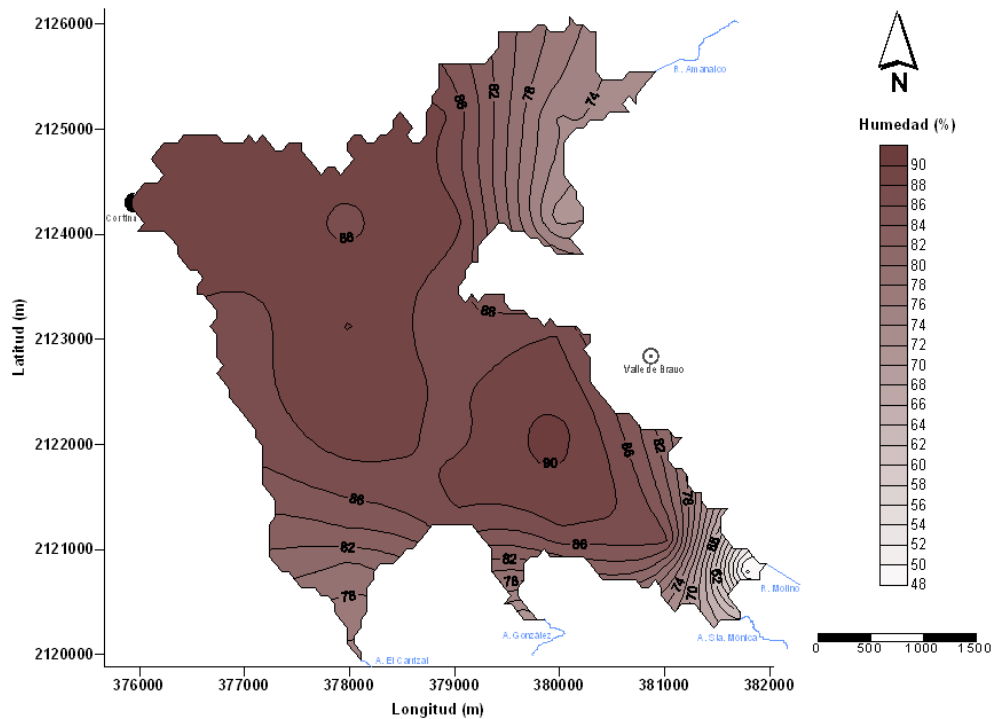


Figura 115. Nitratos en agua de superficie de la presa Valle de Bravo



**Figura 116. Nitratos en agua de fondo de la presa Valle de Bravo**



**Figura 117. Humedad de sedimentos de la presa Valle de Bravo**

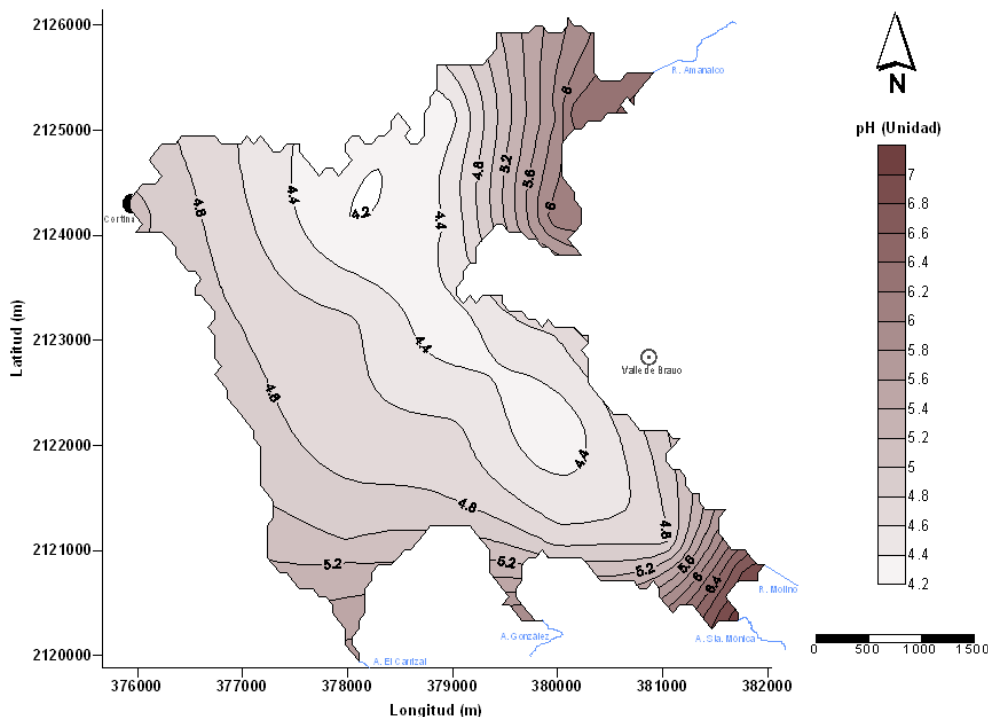


Figura 118. pH en sedimentos de la presa Valle de Bravo

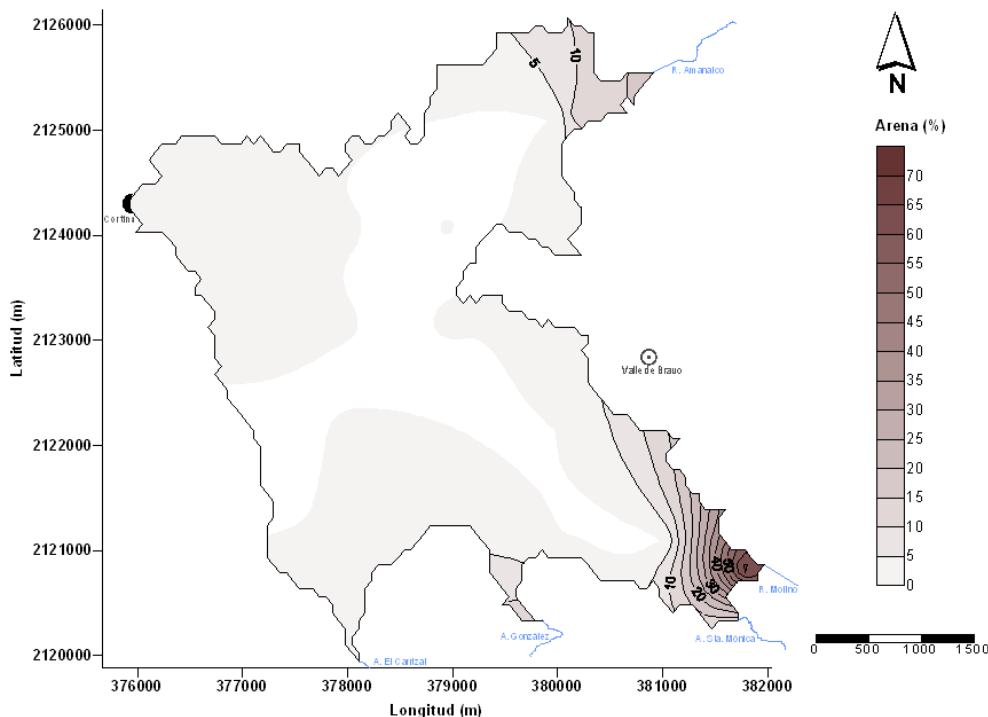
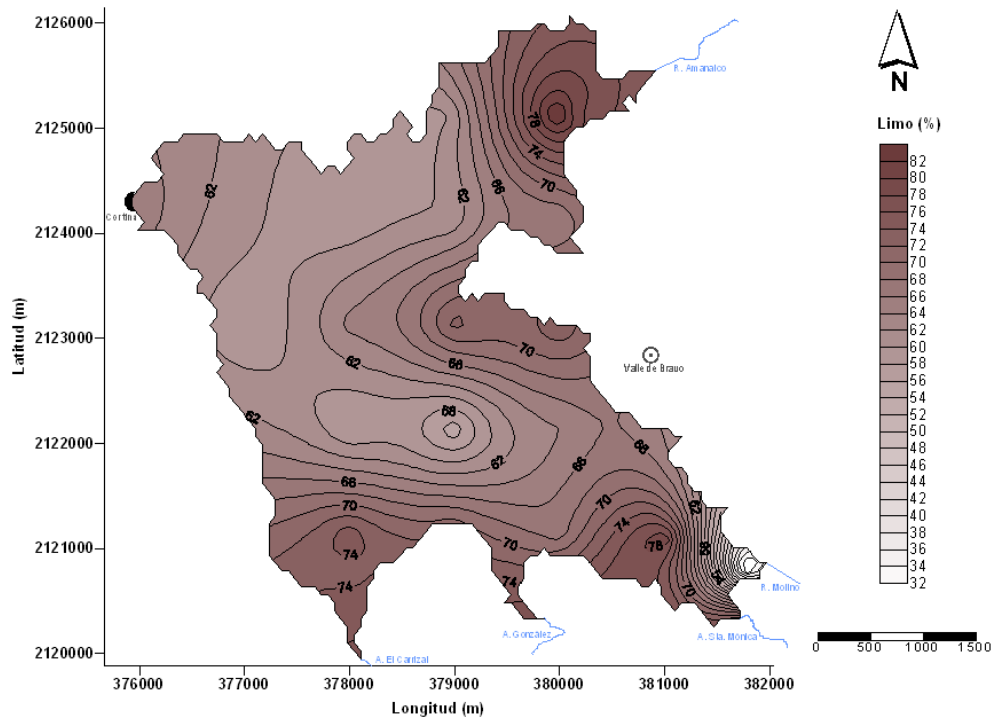
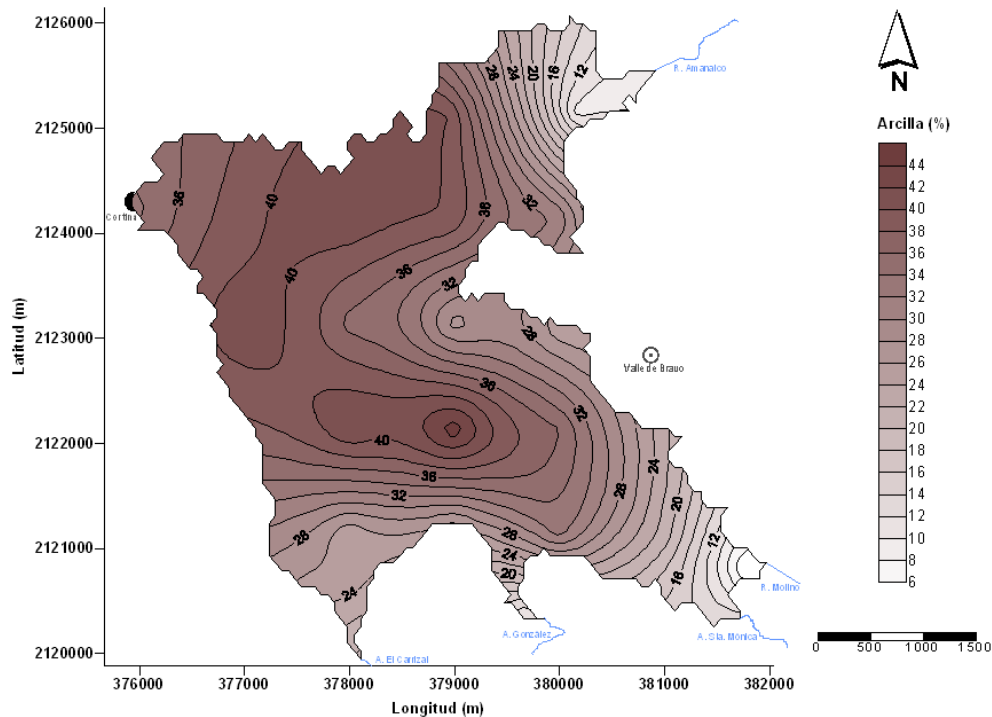


Figura 119. Arenas en sedimentos de la presa Valle de Bravo



**Figura 120. Limos en sedimentos de la presa Valle de Bravo**



**Figura 121. Arcillas en sedimentos de la presa Valle de Bravo**



**CONAGUA**

Comisión Nacional del Agua

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. Dirección Técnica.



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

SEMARNAT

## **Anexo 2. Información de calidad del agua en la presa Valle de Bravo**



En la siguiente Tabla se presentan los datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, mismos que fueron analizados en el capítulo 2 de este informe. Estos datos fueron obtenidos por: IMTA (1993), IDECA (1999 y 2000), Acuagranjas/CNA (2002-2004) y Acuagranjas/CONAGUA (2005-2007) y se incluyen también los datos de calidad del agua obtenidos en este trabajo.

Las estaciones de muestreo de este trabajo fueron definidos en el capítulo 5 mientras que las reportadas en informes anteriores han sido identificadas de la siguiente manera:

|                              |   |        |
|------------------------------|---|--------|
| Club de yates                | = | Est. A |
| Centro                       | = | Est. B |
| Jesucristo                   | = | Est. C |
| Cortina                      | = | Est. D |
| Casa-Punta                   | = | Est. E |
| Embarcadero                  | = | Est. F |
| Confluencia río Amanalco     | = | Est. G |
| Confluencia arroyo Carrizal  | = | Est. H |
| Confluencia río Los González | = | Est. I |
| Confluencia río Tizates      | = | Est. J |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009**

| Fecha  | Est | Nivel      | Vol<br>(Mm <sup>3</sup> ) | pH | T<br>°C | OD | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe | Mn | Al | DBO <sub>5</sub> | DQO | SDT | SST | ST | Alc <sub>Tot</sub> | DS<br>(m) |        |
|--------|-----|------------|---------------------------|----|---------|----|-------------------|-------------------|-------------------|-----|-------------------|----------------|----|----|----|------------------|-----|-----|-----|----|--------------------|-----------|--------|
|        |     |            |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | (mg/L) |
| Mar 92 | A   | Superficie | 318                       |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    | 2.30      |        |
|        | B   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 2.40   |
|        | C   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 2.40   |
|        | D   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 2.80   |
|        | E   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 2.90   |
| Abr 92 | A   | Superficie | 305                       |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    | 3.30      |        |
|        | B   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 3.50   |
|        | C   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 3.40   |
|        | D   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 4.00   |
|        | E   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 3.20   |
| May 92 | A   | Superficie | 295                       |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    | 3.40      |        |
|        | B   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 3.30   |
|        | C   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 3.10   |
|        | D   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 3.20   |
|        | E   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 2.70   |
| Jun 92 | A   | Superficie | 298                       |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    | 3.05      |        |
|        | B   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 3.25   |
|        | C   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 2.85   |
|        | D   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 3.10   |
|        | E   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 3.20   |
| Jul 92 | A   | Superficie | 314                       |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    | 2.30      |        |
|        | B   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 2.35   |
|        | C   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 2.30   |
|        | D   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 2.85   |
|        | E   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 2.85   |
| Ago 92 | A   | Superficie | 335                       |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    | 2.40      |        |
|        | B   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 2.85   |
|        | C   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 3.00   |
|        | D   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 3.00   |
|        | E   | Superficie |                           |    |         |    |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |                    |           | 2.80   |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est | Nivel      | Vol<br>(Mm <sup>3</sup> ) | pH | T<br>°C | mg/L |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  | Alc <sub>Tot</sub> | DS<br>(m) |  |      |      |
|--------|-----|------------|---------------------------|----|---------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|-------------------|----------------|----|----|----|------------------|-----|-----|-----|----|--|--------------------|-----------|--|------|------|
|        |     |            |                           |    |         | OD   | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe | Mn | Al | DBO <sub>5</sub> | DQO | SDT | SST | ST |  |                    |           |  |      |      |
| Sep 92 | A   | Superficie | 350                       |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  | 2.70 |      |
|        | B   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.50 |
|        | C   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.50 |
|        | D   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.75 |
|        | E   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.50 |
| Oct 92 | A   | Superficie | 367                       |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  | 2.80 |      |
|        | B   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.50 |
|        | C   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.80 |
|        | D   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 3.10 |
|        | E   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.80 |
| Nov 92 | A   | Superficie | 385                       |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  | 2.50 |      |
|        | B   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.60 |
| Nov 92 | C   | Superficie | 385                       |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  | 2.35 |      |
|        | D   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.65 |
|        | E   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.53 |
| Dic 92 | A   | Superficie | 393                       |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  | 3.00 |      |
|        | B   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.65 |
|        | C   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 3.20 |
|        | D   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.70 |
|        | E   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.55 |
| Ene 93 | A   | Superficie | 393                       |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  | 2.10 |      |
|        | B   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.30 |
|        | C   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.10 |
|        | D   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.20 |
|        | E   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 2.00 |
| Feb 93 | A   | Superficie | 389                       |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  | 1.50 |      |
|        | B   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 1.60 |
|        | C   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 1.60 |
|        | D   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 1.60 |
|        | E   | Superficie |                           |    |         |      |                   |                   |                   |     |                   |                |    |    |    |                  |     |     |     |    |  |                    |           |  |      | 1.60 |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est        | Nivel      | Vol (Mm <sup>3</sup> ) | pH  | T °C  | mg/L  |                   |                   |                   |      |                   |                |    |    |    |                  |     |       |       |     | DS (m) |                    |      |      |
|--------|------------|------------|------------------------|-----|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|----------------|----|----|----|------------------|-----|-------|-------|-----|--------|--------------------|------|------|
|        |            |            |                        |     |       | OD    | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK  | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe | Mn | Al | DBO <sub>5</sub> | DQO | SDT   | SST   | ST  |        | Alc <sub>Tot</sub> |      |      |
| Ago 98 | F          | Superficie | 269                    | 7.6 |       | 8.6   | 0.005             | 0.106             | 0.00              | 0.94 |                   |                |    |    |    |                  |     | 6.0   | 90    | 14  | 104    | 82.7               | 0.65 |      |
|        |            | Fondo      |                        | 6.9 |       | 0.0   | 0.009             | 0.131             | 0.00              | 0.70 |                   |                |    |    |    |                  |     |       | 2.0   | 50  | 94     | 144                | 71.9 |      |
|        | B          | Superficie |                        | 7.5 |       | 7.7   | 0.007             | 0.091             | 0.00              | 0.82 |                   |                |    |    |    |                  |     |       | 6.0   | 88  | 10     | 98                 | 77.3 | 0.90 |
|        |            | Fondo      |                        | 6.7 |       | 0.0   | 0.006             | 0.106             | 0.00              | 1.29 | 0.047             |                |    |    |    |                  |     |       | 1.0   | 86  | 48     | 134                | 80.9 |      |
|        | G          | Superficie |                        | 7.8 |       | 8.2   | 0.007             | 0.106             | 0.00              | 0.88 |                   |                |    |    |    |                  |     |       | 6.0   | 84  | 26     | 110                | 84.5 | 0.70 |
|        |            | Fondo      |                        | 7.2 |       | 5.8   | 0.008             | 0.238             | 0.00              | 0.64 | 0.030             |                |    |    |    |                  |     |       | 2.0   | 86  | 48     | 85                 | 77.3 |      |
|        | D          | Superficie |                        | 7.5 |       | 7.2   | 0.004             | 0.086             | 0.00              | 0.76 | 0.040             |                |    |    |    |                  |     |       | 4.0   | 80  | 26     | 106                | 80.9 | 0.80 |
|        |            | Fondo      |                        | 6.6 |       | 0.0   | 0.011             | 0.081             | 0.00              | 0.76 | 0.040             |                |    |    |    |                  |     |       | 1.0   | 82  | 22     | 104                | 71.9 |      |
|        | H          | Superficie |                        | 7.7 |       | 8.2   | 0.009             | 0.111             | 0.00              | 0.54 |                   |                |    |    |    |                  |     |       | 3.0   | 70  | 42     | 112                | 82.7 | 1.00 |
|        |            | Fondo      |                        | 7.4 |       | 0.0   | 0.010             | 0.157             | 0.00              | 0.76 |                   |                |    |    |    |                  |     |       | 1.0   | 72  | 26     | 98                 | 98.9 |      |
| I      | Superficie | 7.6        |                        | 8.2 | 0.005 | 0.587 | 0.00              | 0.88              | 0.020             |      |                   |                |    |    |    |                  | 0.0 | 72    | 30    | 102 | 82.7   | 0.70               |      |      |
|        | Fondo      | 7.1        |                        | 0.0 | 0.014 | 0.126 | 0.00              | 0.59              | 0.020             |      |                   |                |    |    |    |                  | 0.0 | 64    | 70    | 134 | 80.9   |                    |      |      |
| Sep 98 | F          | Superficie | 303                    | 8.7 |       | 7.1   | 0.001             | 0.041             | 0.00              | 1.45 | 0.570             |                |    |    |    |                  | 25  | 152.0 | 50    | 48  | 98     | 84.5               | 1.30 |      |
|        |            | Fondo      |                        | 7.7 |       | 0.0   | 0.004             | 0.101             | 0.00              | 1.05 | 0.530             |                |    |    |    |                  |     | 27    | 116.0 | 78  | 18     | 96                 | 80.9 |      |
|        | B          | Superficie |                        | 8.3 |       | 7.2   | 0.002             | 0.054             | 0.00              | 0.74 | 0.550             |                |    |    |    |                  |     | 22    | 46.0  | 92  | 10     | 102                | 84.5 | 1.40 |
|        |            | Fondo      |                        | 6.6 |       | 0.0   | 0.005             | 0.051             | 0.00              | 1.57 | 0.956             |                |    |    |    |                  |     | 0     | 14.0  | 94  | 38     | 132                | 88.1 |      |
|        | G          | Superficie |                        | 8.2 |       | 7.5   | 0.002             | 0.060             | 0.00              | 1.00 | 0.875             |                |    |    |    |                  |     | 0     | 5.0   | 88  | 22     | 110                | 75.5 | 1.10 |
|        |            | Fondo      |                        | 6.9 |       |       | 0.002             | 0.433             | 0.00              | 0.70 | 0.956             |                |    |    |    |                  |     | 0     | 8.0   | 110 | 12     | 122                | 64.7 |      |
|        | D          | Superficie |                        | 8.2 |       | 6.9   | 0.002             | 0.057             | 0.00              | 0.82 | 0.591             |                |    |    |    |                  |     | 0     | 7.0   | 98  | 6      | 104                | 80.9 | 1.20 |
|        |            | Fondo      |                        | 7.0 |       | 0.0   | 0.012             | 0.452             | 0.00              | 2.06 | 0.692             |                |    |    |    |                  |     | 0     | 14.0  | 426 | 10     | 436                | 89.9 |      |
|        | H          | Superficie |                        | 8.7 |       | 6.9   | 0.002             | 0.157             | 0.00              | 0.66 | 0.591             |                |    |    |    |                  |     | 7     | 24.0  | 68  | 48     | 116                | 89.9 | 1.20 |
|        |            | Fondo      |                        | 7.3 |       |       | 0.008             | 0.195             | 0.00              | 0.54 | 0.497             |                |    |    |    |                  |     | 0     | 3.0   | 86  | 42     | 128                | 80.9 |      |
|        | I          | Superficie |                        | 8.4 |       | 7.9   | 0.003             | 0.207             | 0.00              | 0.66 | 0.631             |                |    |    |    |                  |     | 0     | 8.0   | 40  | 68     | 108                | 80.9 | 1.10 |
|        |            | Fondo      |                        | 7.7 |       |       | 0.007             | 0.283             | 0.00              | 1.08 | 0.692             |                |    |    |    |                  |     | 0     | 5.0   | 58  | 50     | 108                | 62.9 |      |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est        | Nivel      | Vol<br>(Mm <sup>3</sup> ) | pH  | T<br>°C | mg/L  |                   |                   |                   |      |                   |                |    |    |    |                  |     |      |      |      |                    | DS<br>(m) |      |       |      |
|--------|------------|------------|---------------------------|-----|---------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|----------------|----|----|----|------------------|-----|------|------|------|--------------------|-----------|------|-------|------|
|        |            |            |                           |     |         | OD    | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK  | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe | Mn | Al | DBO <sub>5</sub> | DQO | SDT  | SST  | ST   | Alc <sub>Tot</sub> |           |      |       |      |
| Oct 98 | F          | Superficie | 358                       | 7.2 |         | 4.6   | 0.007             | 0.305             | 0.29              | 0.87 | 0.280             |                |    |    |    |                  |     | 4.0  | 90   | 12   | 102                | 80.9      | 1.80 |       |      |
|        |            | Fondo      |                           | 6.1 |         | 0.0   | 0.002             | 0.079             | 0.52              | 1.16 | 0.132             |                |    |    |    |                  |     |      | 6.0  | 86   | 16                 | 102       | 62.9 |       |      |
|        | B          | Superficie |                           | 6.9 |         | 4.6   | 0.008             | 0.060             | 0.17              | 0.87 | 0.110             |                |    |    |    |                  |     |      | 13.0 | 100  | 38                 | 138       | 62.9 | 1.50  |      |
|        |            | Fondo      |                           | 6.1 |         | 0.0   | 0.008             | 0.022             | 0.64              | 1.22 | 0.122             |                |    |    |    |                  |     |      |      | 6.0  | 114                | 16        | 130  | 71.9  |      |
|        | G          | Superficie |                           | 7.2 |         | 3.0   | 0.007             | 0.104             | 0.00              | 0.75 | 0.203             |                |    |    |    |                  |     |      |      | 10.0 | 114                | 24        | 138  | 68.3  | 1.50 |
|        |            | Fondo      |                           | 6.5 |         | 0.0   | 0.010             | 0.471             | 0.00              | 0.52 | 0.180             |                |    |    |    |                  |     |      |      | 12.0 | 66                 | 60        | 126  | 107.9 |      |
|        | D          | Superficie |                           | 7.2 |         | 5.0   | 0.009             | 0.160             | 0.00              | 0.70 | 0.140             |                |    |    |    |                  |     |      |      | 9.0  | 102                | 10        | 112  | 62.9  | 1.30 |
|        |            | Fondo      |                           | 6.2 |         |       | 0.009             | 0.101             | 0.41              | 0.99 | 0.140             |                |    |    |    |                  |     |      |      |      | 4.0                | 114       | 24   | 118   | 66.5 |
|        | H          | Superficie |                           | 7.2 |         | 4.6   | 0.013             | 0.101             | 0.00              | 0.52 | 0.132             |                |    |    |    |                  |     |      |      | 6.0  | 104                | 14        | 118  | 66.5  | 1.50 |
|        |            | Fondo      |                           | 6.7 |         |       | 0.006             | 0.082             | 0.00              | 0.41 | 0.147             |                |    |    |    |                  |     |      |      | 8.0  | 96                 | 14        | 110  | 71.9  |      |
| I      | Superficie | 7.1        |                           | 5.9 | 0.005   | 0.000 | 0.00              | 0.52              | 0.127             |      |                   |                |    |    |    |                  |     | 12.0 | 86   | 4    | 90                 | 77.3      | 1.70 |       |      |
|        | Fondo      | 6.8        |                           |     | 0.005   | 0.195 | 0.00              | 0.46              | 0.127             |      |                   |                |    |    |    |                  |     | 4.0  | 76   | 4    | 80                 | 80.9      |      |       |      |
| Nov 98 | F          | Superficie | 386                       | 6.7 |         | 5.2   | 0.012             | 0.082             | 0.00              | 0.65 | 0.258             |                |    |    |    |                  |     | 5.0  | 102  | 20   | 122                | 62.9      | 2.20 |       |      |
|        |            | Fondo      |                           | 6.4 |         |       | 0.001             | 0.292             | 0.00              | 0.53 | 0.040             |                |    |    |    |                  |     |      | 10.0 | 74   | 34                 | 108       | 66.5 |       |      |
|        | B          | Superficie |                           | 6.2 |         | 5.2   | 0.005             | 0.088             | 0.00              | 0.65 | 0.102             |                |    |    |    |                  |     |      | 4.0  | 82   | 20                 | 102       | 98.9 | 1.70  |      |
|        |            | Fondo      |                           | 6.0 |         |       | 0.004             | 0.025             | 0.41              | 0.88 | 0.055             |                |    |    |    |                  |     |      |      | 11.0 | 78                 | 38        | 116  | 98.9  |      |
|        | G          | Superficie |                           | 6.0 |         | 6.7   | 0.100             | 0.094             | 0.24              | 0.77 | 0.194             |                |    |    |    |                  |     |      |      | 3.0  | 68                 | 50        | 118  | 98.9  | 2.30 |
|        |            | Fondo      |                           | 5.9 |         |       | 0.004             | 0.135             | 0.41              | 0.88 | 0.107             |                |    |    |    |                  |     |      |      | 24.0 | 90                 | 22        | 112  | 62.9  |      |
| Nov 98 | D          | Superficie | 386                       | 6.1 |         | 5.5   | 0.027             | 0.079             | 0.41              | 1.00 | 0.113             |                |    |    |    |                  |     | 7.0  | 106  | 2    | 108                | 62.9      | 1.80 |       |      |
|        |            | Fondo      |                           | 5.9 |         |       | 0.010             | 0.195             | 0.00              | 0.65 |                   |                |    |    |    |                  |     |      | 2.0  | 88   | 24                 | 112       | 80.9 |       |      |
|        | H          | Superficie |                           | 6.2 |         | 6.1   | 0.016             | 0.138             | 0.00              | 0.59 | 0.009             |                |    |    |    |                  |     |      | 8.0  | 82   | 28                 | 110       | 84.5 | 2.00  |      |
|        |            | Fondo      |                           | 6.2 |         |       | 0.007             | 0.189             | 0.00              | 0.53 | 0.067             |                |    |    |    |                  |     |      |      | 12.0 | 66                 | 44        | 110  | 71.9  |      |
|        | I          | Superficie |                           | 6.4 |         | 5.5   | 0.007             | 0.170             | 0.00              | 0.65 | 0.061             |                |    |    |    |                  |     |      |      | 13.0 | 90                 | 10        | 100  | 71.9  | 1.70 |
|        |            | Fondo      |                           | 6.2 |         |       | 0.007             | 0.113             | 0.00              | 0.47 |                   |                |    |    |    |                  |     |      |      | 4.0  | 72                 | 10        | 82   | 80.9  |      |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est        | Nivel      | Vol (Mm <sup>3</sup> ) | pH  | T °C  | OD    | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK  | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe | Mn | Al | DBO <sub>5</sub> | DQO | SDT  | SST | ST   | Alc <sub>Tot</sub> | DS (m) |      |
|--------|------------|------------|------------------------|-----|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|----------------|----|----|----|------------------|-----|------|-----|------|--------------------|--------|------|
|        |            |            |                        |     |       |       |                   |                   |                   |      |                   |                |    |    |    |                  |     |      |     |      |                    |        | mg/L |
| Dic 98 | F          | Superficie | 394                    | 6.3 |       | 9.2   | 0.005             | 0.057             | 0.00              | 0.59 | 0.041             |                |    |    |    |                  | 4.0 | 100  | 6   | 106  | 84.5               | 2.80   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 5.6 |       |       | 0.004             | 0.089             | 0.00              | 0.62 | 0.101             |                |    |    |    |                  |     | 2.0  | 104 | 6    | 110                | 64.7   |      |
|        | B          | Superficie |                        | 6.1 |       |       | 0.002             | 0.123             | 0.00              | 0.59 | 0.055             |                |    |    |    |                  |     | 7.0  | 108 | 28   | 136                | 62.9   | 3.45 |
|        |            | Fondo      |                        | 6.1 |       |       | 0.000             | 0.159             | 0.00              | 0.47 | 0.015             |                |    |    |    |                  |     | 1.0  | 94  | 2    | 96                 | 98.9   |      |
|        | G          | Superficie |                        | 6.7 |       |       | 0.007             | 0.095             | 0.00              | 0.65 | 0.026             |                |    |    |    |                  |     | 15.0 | 78  | 12   | 90                 | 86.3   | 2.20 |
|        |            | Fondo      |                        | 6.3 |       |       | 0.012             | 0.154             | 0.00              | 0.47 | 0.113             |                |    |    |    |                  |     | 3.0  | 94  | 10   | 104                | 89.9   |      |
|        | D          | Superficie |                        | 6.5 |       |       | 0.010             | 0.127             | 0.00              | 0.53 | 0.026             |                |    |    |    |                  |     | 5.0  | 94  | 4    | 98                 | 62.9   | 3.50 |
|        |            | Fondo      |                        | 6.5 |       |       | 0.003             | 0.190             | 0.00              | 0.41 | 0.079             |                |    |    |    |                  |     | 3.0  | 80  | 18   | 98                 | 62.9   |      |
|        | H          | Superficie |                        | 6.6 |       |       | 0.011             | 0.135             | 0.00              | 0.47 | 0.021             |                |    |    |    |                  |     | 7.0  | 102 | 14   | 116                | 71.9   | 3.00 |
|        |            | Fondo      |                        | 6.6 |       |       | 0.008             | 0.157             | 0.00              | 0.76 | 0.026             |                |    |    |    |                  |     | 9.0  | 100 | 12   | 112                | 80.9   |      |
| I      | Superficie | 6.5        |                        |     | 0.007 | 0.161 | 0.00              | 0.65              | 0.015             |      |                   |                |    |    |    | 13.0             | 94  | 4    | 98  | 79.1 | 3.10               |        |      |
|        | Fondo      | 6.5        |                        |     | 0.003 | 0.119 | 0.00              | 0.41              | 0.084             |      |                   |                |    |    |    | 14.0             | 92  | 6    | 98  | 80.9 |                    |        |      |
| Ene 99 | F          | Superficie | 390                    | 6.9 |       |       | 0.009             | 0.080             | 0.00              | 0.65 | 0.107             |                |    |    |    |                  | 6.0 | 70   | 10  | 80   | 64.7               | 2.00   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 6.3 |       |       | 0.004             | 0.214             | 0.00              | 0.53 | 0.078             |                |    |    |    |                  | 5.0 | 60   | 12  | 72   | 64.7               |        |      |
|        | B          | Superficie |                        | 5.9 |       | 10.8  | 0.012             | 0.138             | 0.00              | 0.65 | 0.086             |                |    |    |    |                  | 7.0 | 42   | 48  | 90   | 80.9               | 2.50   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 6.1 |       | 0.0   | 0.010             | 0.260             | 0.00              | 0.47 | 0.078             |                |    |    |    |                  | 4.0 | 52   |     |      | 59.3               |        |      |
|        | G          | Superficie |                        | 6.0 |       |       | 0.010             | 0.106             | 0.00              | 0.59 | 0.090             |                |    |    |    |                  | 9.0 | 40   | 86  | 126  | 77.3               | 1.60   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 6.1 |       |       | 0.009             | 0.243             | 0.00              | 0.41 | 0.038             |                |    |    |    |                  | 8.0 | 54   | 28  | 82   | 62.9               |        |      |
|        | D          | Superficie |                        | 6.8 |       |       | 0.008             | 0.095             | 0.00              | 0.59 | 0.032             |                |    |    |    |                  | 9.0 | 66   | 26  | 92   | 62.9               | 2.10   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 6.6 |       |       | 0.007             | 0.114             | 0.00              | 0.65 | 0.090             |                |    |    |    |                  | 8.0 | 36   | 54  | 90   | 75.5               |        |      |
|        | H          | Superficie |                        | 6.5 |       |       | 0.006             | 0.121             | 0.00              | 0.53 | 0.090             |                |    |    |    |                  | 7.0 | 70   | 40  | 110  | 59.3               | 2.10   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 6.4 |       |       | 0.013             | 0.169             | 0.00              | 0.18 | 0.032             |                |    |    |    |                  | 6.0 | 36   | 52  | 88   | 71.9               |        |      |
|        | I          | Superficie |                        | 6.2 |       |       | 0.017             | 0.163             | 0.00              | 0.41 | 0.018             |                |    |    |    |                  | 8.0 | 52   | 32  | 84   | 75.5               | 2.50   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 6.3 |       |       | 0.013             | 0.146             | 0.00              | 0.41 | 0.018             |                |    |    |    |                  | 6.0 | 50   | 38  | 88   | 62.9               |        |      |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est    | Nivel      | Vol (Mm <sup>3</sup> ) | pH         | T °C | OD  | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK   | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe    | Mn | Al | DBO <sub>5</sub> | DQO | SDT | SST | ST  | Alc <sub>Tot</sub> | DS (m) |      |      |
|--------|--------|------------|------------------------|------------|------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------------------|----------------|-------|----|----|------------------|-----|-----|-----|-----|--------------------|--------|------|------|
|        |        |            |                        |            |      |     |                   |                   |                   |       |                   |                |       |    |    |                  |     |     |     |     |                    |        | mg/L |      |
| Feb 99 | F      | Superficie | 384                    | 7.5        |      |     | 0.002             | 0.000             | 0.00              | 0.46  | 0.080             |                |       |    |    |                  | 4.0 | 100 | 6   | 106 | 57.5               | 1.30   |      |      |
|        |        | Fondo      |                        | 6.1        |      |     | 0.000             | 0.180             | 0.00              | 0.32  | 0.100             |                |       |    |    |                  |     | 4.0 | 94  | 10  | 104                | 71.9   |      |      |
|        | B      | Superficie |                        | 7.0        |      |     | 0.001             | 0.038             | 0.00              | 0.52  | 0.280             |                |       |    |    |                  |     | 3.0 | 70  | 6   | 76                 | 48.6   | 1.50 |      |
|        |        | Fondo      |                        | 6.2        |      |     | 0.000             | 0.212             | 0.00              | 0.20  | 0.111             |                |       |    |    |                  |     | 8.0 | 80  | 6   | 86                 | 93.5   |      |      |
|        | G      | Superficie |                        | 5.9        |      |     | 0.004             | 0.034             | 0.00              | 0.75  | 0.225             |                |       |    |    |                  |     | 3.0 | 86  | 4   | 90                 | 50.4   | 1.10 |      |
|        |        | Fondo      |                        | 6.2        |      |     | 0.000             | 0.222             | 0.00              | 0.46  | 0.123             |                |       |    |    |                  |     | 3.0 | 70  | 8   | 78                 | 68.3   |      |      |
|        | D      | Superficie |                        | 6.4        |      |     | 0.002             | 0.040             | 0.00              | 0.55  |                   |                |       |    |    |                  |     | 8.0 | 74  | 10  | 84                 | 41.4   | 1.50 |      |
|        |        | Fondo      |                        | 6.1        |      |     | 0.000             | 0.180             | 0.00              | 0.49  | 0.189             |                |       |    |    |                  |     | 3.0 | 78  | 6   | 84                 | 62.9   |      |      |
|        | H      | Superficie |                        | 6.8        |      |     | 0.005             | 0.000             | 0.00              | 0.64  | 0.023             |                |       |    |    |                  |     | 4.0 | 68  | 10  | 78                 | 48.6   | 1.60 |      |
|        |        | Fondo      |                        | 6.1        |      |     | 0.000             | 0.157             | 0.00              | 0.20  | 0.070             |                |       |    |    |                  |     | 7.0 | 78  | 10  | 88                 | 75.5   |      |      |
|        | I      | Superficie |                        | 6.5        |      |     | 0.005             | 0.104             | 0.00              | 0.55  | 0.020             |                |       |    |    |                  |     | 6.0 | 72  | 8   | 80                 | 50.4   | 1.70 |      |
|        |        | Fondo      |                        | 6.4        |      |     | 0.008             | 0.051             | 0.00              | 0.46  | 0.012             |                |       |    |    |                  |     | 6.0 | 76  | 8   | 84                 | 50.4   |      |      |
|        | Mar 99 | F          |                        | Superficie | 368  | 7.4 |                   |                   | 0.003             | 0.000 | 0.00              | 0.66           | 0.600 |    |    |                  |     |     |     |     |                    |        |      | 1.30 |
|        |        |            |                        | Fondo      |      | 6.1 |                   |                   | 0.015             | 0.061 | 0.00              | 0.33           | 0.390 |    |    |                  |     |     |     |     |                    |        |      |      |
| B      |        | Superficie | 7.0                    |            |      |     | 0.004             | 0.000             | 0.00              | 0.60  | 0.380             |                |       |    |    |                  |     |     |     |     |                    |        | 1.35 |      |
|        |        | Fondo      | 5.9                    |            |      |     | 0.014             | 0.045             | 0.00              | 0.27  | 0.610             |                |       |    |    |                  |     |     |     |     |                    |        | 0.85 |      |
| G      |        | Superficie | 7.3                    |            |      |     | 0.004             | 0.049             | 0.22              | 3.30  | 0.310             |                |       |    |    |                  |     |     |     |     |                    |        |      | 0.85 |
|        |        | Fondo      | 6.0                    |            |      |     | 0.002             | 0.023             | 0.00              | 0.55  | 0.310             |                |       |    |    |                  |     |     |     |     |                    |        |      | 1.25 |
| D      |        | Superficie | 7.6                    |            |      |     | 0.003             | 0.000             | 0.00              | 0.55  | 0.380             |                |       |    |    |                  |     |     |     |     |                    |        |      | 1.25 |
|        |        | Fondo      | 6.1                    |            |      |     | 0.008             | 0.049             | 0.00              | 0.33  | 0.170             |                |       |    |    |                  |     |     |     |     |                    |        |      | 1.25 |
| H      |        | Superficie | 7.6                    |            |      |     | 0.007             | 0.061             | 0.00              | 0.52  | 0.270             |                |       |    |    |                  |     |     |     |     |                    |        |      | 1.25 |
|        |        | Fondo      | 6.2                    |            |      |     | 0.003             | 0.102             | 0.00              | 0.33  | 0.250             |                |       |    |    |                  |     |     |     |     |                    |        |      | 1.25 |
| I      |        | Superficie | 7.2                    |            |      |     | 0.007             | 0.000             | 0.00              | 0.49  | 0.230             |                |       |    |    |                  |     |     |     |     |                    |        |      | 1.25 |
|        |        | Fondo      | 6.3                    |            |      |     | 0.002             | 0.063             | 0.00              | 0.49  | 0.280             |                |       |    |    |                  |     |     |     |     |                    |        |      | 1.25 |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est | Nivel      | Vol (Mm <sup>3</sup> ) | pH  | T °C | OD | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK  | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe | Mn | Al | DBO <sub>5</sub> | DQO  | SDT | SST  | ST   | Alc <sub>Tot</sub> | DS (m) |       |       |       |      |
|--------|-----|------------|------------------------|-----|------|----|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|----------------|----|----|----|------------------|------|-----|------|------|--------------------|--------|-------|-------|-------|------|
|        |     |            |                        |     |      |    |                   |                   |                   |      |                   |                |    |    |    |                  |      |     |      |      |                    |        | mg/L  |       |       |      |
| Abr 99 | F   | Superficie | 354                    | 7.4 |      |    | 0.003             | 0.038             | 0.00              | 0.39 | 0.100             |                |    |    |    |                  |      | 72  | 4    | 76   | 119.3              | 0.90   |       |       |       |      |
|        |     | Fondo      |                        | 6.3 |      |    | 0.015             | 0.170             | 0.00              | 0.71 |                   |                |    |    |    |                  |      |     | 86   | 0    | 86                 | 67.6   |       |       |       |      |
|        | B   | Superficie |                        | 7.2 |      |    | 0.004             | 0.034             | 0.00              | 0.42 |                   |                |    |    |    |                  |      |     |      | 68   | 6                  | 74     | 109.3 | 0.85  |       |      |
|        |     | Fondo      |                        | 6.4 |      |    | 0.014             | 0.082             | 0.00              | 0.38 | 0.020             |                |    |    |    |                  |      |     |      | 72   | 4                  | 76     | 79.5  |       |       |      |
|        | G   | Superficie |                        | 6.8 |      |    | 0.004             | 0.040             | 0.00              | 0.53 |                   |                |    |    |    |                  |      |     |      |      | 74                 | 8      | 82    | 109.3 | 0.85  |      |
|        |     | Fondo      |                        | 6.5 |      |    | 0.002             | 0.105             | 0.00              | 0.47 |                   |                |    |    |    |                  |      |     |      | 116  | 104                | 220    | 109.3 |       |       |      |
|        | D   | Superficie |                        | 7.4 |      |    | 0.003             | 0.036             | 0.00              | 0.71 |                   |                |    |    |    |                  |      |     |      |      | 76                 | 10     | 86    | 99.4  | 1.00  |      |
|        |     | Fondo      |                        | 6.5 |      |    | 0.008             | 0.122             | 0.00              | 0.59 | 0.020             |                |    |    |    |                  |      |     |      |      | 74                 | 8      | 82    | 123.2 |       |      |
| Abr 99 | H   | Superficie | 354                    | 7.5 |      |    | 0.007             | 0.047             | 0.00              | 0.71 | 0.020             |                |    |    |    |                  |      |     | 76   | 12   | 88                 | 99.4   | 1.10  |       |       |      |
|        |     | Fondo      |                        | 7.1 |      |    | 0.003             | 0.057             | 0.00              | 0.42 | 0.080             |                |    |    |    |                  |      |     |      | 80   | 6                  | 86     | 99.4  |       |       |      |
|        | I   | Superficie |                        | 7.2 |      |    | 0.007             | 0.044             | 0.00              | 0.71 | 0.020             |                |    |    |    |                  |      |     |      | 84   | 4                  | 88     | 99.4  | 1.00  |       |      |
|        |     | Fondo      |                        | 7.4 |      |    | 0.002             | 0.038             | 0.00              | 1.34 | 0.060             |                |    |    |    |                  |      |     |      |      | 82                 | 4      | 86    | 99.4  |       |      |
| May 99 | F   | Superficie | 342                    | 7.7 |      |    | 0.000             | 0.034             | 0.18              | 1.31 |                   |                |    |    |    |                  | 11.0 | 72  | 108  | 180  | 63.6               | 0.80   |       |       |       |      |
|        |     | Fondo      |                        | 6.6 |      |    | 0.006             | 0.049             | 0.30              | 0.84 | 0.021             |                |    |    |    |                  |      | 7.0 | 72   | 38   | 110                | 95.4   |       |       |       |      |
|        | B   | Superficie |                        | 7.5 |      |    | 0.000             | 0.072             | 0.30              | 0.84 |                   |                |    |    |    |                  |      |     | 9.0  | 76   | 26                 | 102    | 65.6  | 0.85  |       |      |
|        |     | Fondo      |                        | 6.2 |      |    | 0.003             | 0.061             | 0.30              | 0.72 | 0.047             |                |    |    |    |                  |      |     | 12.0 | 130  | 16                 | 146    | 123.2 |       |       |      |
|        | G   | Superficie |                        | 7.4 |      |    | 0.000             | 0.086             | 0.30              | 1.14 | 0.021             |                |    |    |    |                  |      |     |      | 11.0 | 82                 | 28     | 110   | 65.6  | 0.80  |      |
|        |     | Fondo      |                        | 6.3 |      |    | 0.017             | 0.097             | 0.30              | 0.72 | 0.089             |                |    |    |    |                  |      |     |      | 4.0  | 102                | 34     | 136   | 113.3 |       |      |
|        | D   | Superficie |                        | 7.7 |      |    | 0.000             | 0.038             | 0.24              | 1.13 | 0.110             |                |    |    |    |                  |      |     |      |      | 9.0                | 96     | 30    | 126   | 63.6  | 0.90 |
|        |     | Fondo      |                        | 6.4 |      |    | 0.003             | 0.038             | 0.48              | 0.90 | 0.036             |                |    |    |    |                  |      |     |      |      | 3.0                | 94     | 48    | 142   | 139.1 |      |
|        | H   | Superficie |                        | 7.6 |      |    | 0.004             | 0.044             | 0.00              | 0.54 | 0.097             |                |    |    |    |                  |      |     |      |      | 10.0               | 96     | 26    | 122   | 63.6  | 0.95 |
|        |     | Fondo      |                        | 7.1 |      |    | 0.011             | 0.082             | 0.00              | 0.42 |                   |                |    |    |    |                  |      |     |      |      | 5.0                | 98     | 18    | 116   | 63.6  |      |
|        | I   | Superficie |                        | 7.8 |      |    | 0.000             | 0.076             | 0.00              | 0.89 | 0.057             |                |    |    |    |                  |      |     |      |      | 12.0               | 88     | 90    | 178   | 63.6  | 0.85 |
|        |     | Fondo      |                        | 7.5 |      |    | 0.003             | 0.070             | 0.00              | 0.60 | 0.057             |                |    |    |    |                  |      |     |      |      | 10.0               | 88     | 24    | 112   | 61.6  |      |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est | Nivel      | Vol<br>(Mm <sup>3</sup> ) | pH  | T<br>°C | OD | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK  | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe | Mn | Al | DBO <sub>5</sub> | DQO  | SDT  | SST | ST  | Alc <sub>Tot</sub> | DS<br>(m) |       |      |
|--------|-----|------------|---------------------------|-----|---------|----|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|----------------|----|----|----|------------------|------|------|-----|-----|--------------------|-----------|-------|------|
|        |     |            |                           |     |         |    |                   |                   |                   |      |                   |                |    |    |    |                  |      |      |     |     |                    |           | mg/L  |      |
| Jun 99 | F   | Superficie | 327666                    | 7.9 |         |    | 0.002             | 0.049             | 0.24              | 1.49 | 0.015             |                |    |    |    |                  | 8.0  | 86   | 14  | 100 | 119.3              | 0.75      |       |      |
|        |     | Fondo      |                           | 6.2 |         |    | 0.007             | 0.059             | 1.25              | 1.73 | 0.026             |                |    |    |    |                  |      | 3.0  | 82  | 14  | 96                 | 79.5      |       |      |
|        | B   | Superficie |                           | 7.6 |         |    | 0.000             | 0.059             | 0.24              | 1.37 | 0.047             |                |    |    |    |                  |      |      | 4.0 | 98  | 2                  | 100       | 109.3 | 0.85 |
|        |     | Fondo      |                           | 6.3 |         |    | 0.001             | 0.070             | 0.60              | 1.08 | 0.063             |                |    |    |    |                  |      |      | 3.0 | 84  | 8                  | 92        | 105.3 |      |
|        | G   | Superficie |                           | 7.6 |         |    | 0.005             | 0.070             | 0.06              | 1.07 | 0.047             |                |    |    |    |                  |      |      | 7.0 | 84  | 20                 | 104       | 107.3 | 0.70 |
|        |     | Fondo      |                           | 6.0 |         |    | 0.007             | 0.082             | 0.48              | 1.02 | 0.015             |                |    |    |    |                  |      |      | 3.0 | 84  | 12                 | 96        | 99.4  |      |
|        | D   | Superficie |                           | 7.6 |         |    | 0.003             | 0.070             | 0.06              | 1.31 |                   |                |    |    |    |                  |      |      | 7.0 | 90  | 18                 | 108       | 103.4 | 0.65 |
|        |     | Fondo      |                           | 6.0 |         |    | 0.001             | 0.099             | 0.24              | 0.78 |                   |                |    |    |    |                  |      |      | 4.0 | 86  | 4                  | 90        | 85.5  |      |
|        | H   | Superficie |                           | 7.4 |         |    | 0.001             | 0.065             | 0.18              | 1.02 |                   |                |    |    |    |                  |      |      | 3.0 | 82  | 8                  | 90        | 119.3 | 1.15 |
|        |     | Fondo      |                           | 6.5 |         |    | 0.000             | 0.076             | 0.00              | 0.66 |                   |                |    |    |    |                  |      |      | 3.0 | 84  | 8                  | 92        | 109.3 |      |
|        | I   | Superficie |                           | 7.7 |         |    | 0.003             | 0.068             | 0.00              | 0.89 |                   |                |    |    |    |                  |      |      | 7.0 | 98  | 4                  | 102       | 129.2 | 0.85 |
|        |     | Fondo      |                           | 7.3 |         |    | 0.000             | 0.082             | 0.00              | 0.84 | 0.470             |                |    |    |    |                  |      |      | 6.0 | 62  | 46                 | 108       | 109.3 |      |
| Jul 99 | F   | Superficie | 318                       | 6.4 |         |    | 0.005             | 0.048             | 0.06              | 1.19 | 0.246             |                |    |    |    |                  | 10.0 | 94   | 6   | 100 | 85.0               | 0.80      |       |      |
|        |     | Fondo      |                           | 7.4 |         |    | 0.004             | 0.130             | 0.18              | 0.84 | 0.013             |                |    |    |    |                  |      | 5.0  | 102 | 22  | 124                | 56.6      |       |      |
|        | B   | Superficie |                           | 7.2 |         |    | 0.004             | 0.067             | 0.18              | 1.13 |                   |                |    |    |    |                  |      | 10.0 | 100 | 52  | 152                | 94.4      | 0.80  |      |
|        |     | Fondo      |                           | 5.8 |         |    | 0.005             | 0.072             | 0.72              | 1.20 | 0.152             |                |    |    |    |                  |      | 4.0  | 80  | 8   | 88                 | 86.9      |       |      |
|        | G   | Superficie |                           | 6.9 |         |    | 0.004             | 0.065             | 0.12              | 1.16 |                   |                |    |    |    |                  |      | 10.0 | 92  | 16  | 108                | 94.4      | 0.80  |      |
|        |     | Fondo      |                           | 6.1 |         |    | 0.006             | 0.091             | 0.35              | 1.28 | 0.509             |                |    |    |    |                  |      | 8.0  | 94  | 190 | 284                | 75.5      |       |      |
|        | D   | Superficie |                           | 6.5 |         |    | 0.003             | 0.000             | 0.06              | 1.10 | 0.026             |                |    |    |    |                  |      | 9.0  | 84  | 10  | 94                 | 79.3      | 0.90  |      |
|        |     | Fondo      |                           | 5.4 |         |    | 0.005             | 0.065             | 0.58              | 1.04 | 0.021             |                |    |    |    |                  |      | 8.0  | 84  | 18  | 102                | 85.0      |       |      |
|        | H   | Superficie |                           | 6.8 |         |    | 0.003             | 0.000             | 0.17              | 0.98 | 0.070             |                |    |    |    |                  |      | 7.0  | 82  | 14  | 96                 | 94.4      | 0.90  |      |
|        |     | Fondo      |                           | 6.0 |         |    | 0.002             | 0.065             | 0.06              | 0.70 |                   |                |    |    |    |                  |      | 6.0  | 82  | 46  | 128                | 75.5      |       |      |
|        | I   | Superficie |                           | 6.8 |         |    | 0.004             | 0.000             | 0.06              | 0.52 | 0.015             |                |    |    |    |                  |      | 9.0  | 74  | 26  | 100                | 94.4      | 0.80  |      |
|        |     | Fondo      |                           | 6.5 |         |    | 0.003             | 0.048             | 0.06              | 0.99 | 0.105             |                |    |    |    |                  |      | 10.0 | 88  | 6   | 94                 | 86.9      |       |      |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est | Nivel      | Vol (Mm <sup>3</sup> ) | pH   | T °C | OD    | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK   | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe | Mn | Al | DBO <sub>5</sub> | DQO  | SDT  | SST | ST    | Alc <sub>Tot</sub> | DS (m) |      |
|--------|-----|------------|------------------------|------|------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------------------|----------------|----|----|----|------------------|------|------|-----|-------|--------------------|--------|------|
|        |     |            |                        |      |      |       |                   |                   |                   |       |                   |                |    |    |    |                  |      |      |     |       |                    |        | mg/L |
| Ene 00 | F   | Superficie | 362                    | 6.9  |      |       | 0.006             | 0.076             | 0.30              | 0.97  | 0.030             |                |    |    |    |                  | 10.0 | 62   | 10  | 72    | 83.1               | 2.70   |      |
|        |     | Fondo      |                        | 6.7  |      |       | 0.010             | 0.122             | 0.36              | 0.97  | 0.114             |                |    |    |    |                  |      | 4.0  | 72  | 12    | 84                 | 94.4   |      |
|        | B   | Superficie |                        | 7.1  |      |       | 0.015             | 0.129             | 0.24              | 0.85  |                   |                |    |    |    |                  |      | 8.0  | 64  | 8     | 72                 | 98.2   | 3.25 |
|        |     | Fondo      |                        | 6.9  |      |       | 0.006             | 0.129             | 0.30              | 0.66  | 0.095             |                |    |    |    |                  |      | 22.0 | 62  | 10    | 72                 | 85     |      |
|        | G   | Superficie |                        | 6.9  |      |       | 0.003             | 0.135             | 0.18              | 0.85  | 0.022             |                |    |    |    |                  |      | 10.0 | 62  | 12    | 74                 | 86.9   | 2.25 |
|        |     | Fondo      |                        | 7.0  |      |       | 0.015             | 0.125             | 0.42              | 0.72  | 0.069             |                |    |    |    |                  |      | 6.0  | 54  | 4     | 58                 | 85     |      |
|        | D   | Superficie |                        | 7.1  |      |       | 0.004             | 0.175             | 0.24              | 0.91  | 0.439             |                |    |    |    |                  |      | 12.0 | 122 | 6     | 128                | 75.5   | 3.05 |
|        |     | Fondo      |                        | 6.8  |      |       | 0.005             | 0.268             | 0.06              | 0.54  |                   |                |    |    |    |                  |      | 8.0  | 98  | 134   | 232                | 66.1   |      |
|        | H   | Superficie |                        | 7.2  |      |       | 0.003             | 0.165             | 0.06              | 0.54  | 0.055             |                |    |    |    |                  |      | 10.0 | 96  | 20    | 116                | 94.4   | 2.70 |
|        |     | Fondo      |                        | 7.0  |      |       | 0.005             | 0.178             | 0.06              | 0.54  |                   |                |    |    |    |                  |      | 8.0  | 88  | 42    | 130                | 94.4   |      |
|        | I   | Superficie |                        | 7.3  |      |       | 0.002             | 0.139             | 0.06              | 0.67  | 0.204             |                |    |    |    |                  |      | 6.0  | 94  | 24    | 118                | 66.1   | 2.70 |
|        |     | Fondo      |                        | 6.9  |      |       | 0.004             | 0.205             | 0.18              | 0.66  |                   |                |    |    |    |                  |      | 8.0  | 54  | 68    | 122                | 66.1   |      |
| Mar 00 | F   | Superficie | 322                    | 7.2  |      |       | 0.001             | 0.095             | 0                 | 0.60  |                   |                |    |    |    | 8.0              | 100  | 36   | 136 | 119.3 | 1.80               |        |      |
|        |     | Fondo      |                        | 5.4  |      |       |                   | 0.150             | 0                 | 0.36  | 0.015             |                |    |    |    |                  | 3.0  | 108  | 44  | 152   | 99.4               |        |      |
|        | B   | Superficie |                        | 6.8  |      |       |                   | 0.091             | 0                 | 0.54  | 0.011             |                |    |    |    |                  | 7.0  | 104  | 66  | 170   | 109.3              | 1.85   |      |
|        |     | Fondo      |                        | 5.9  |      |       |                   | 0.143             | 0                 | 0.48  | 0.022             |                |    |    |    |                  | 14.0 | 128  | 6   | 134   | 83.5               |        |      |
|        | G   | Superficie |                        | 6.4  |      |       |                   | 0.043             | 0.12              | 0.96  | 0.051             |                |    |    |    |                  | 8.0  | 100  | 46  | 146   | 99.4               | 1.30   |      |
|        |     | Fondo      |                        | 5.9  |      |       |                   | 0.074             | 0.06              | 0.66  |                   |                |    |    |    |                  | 6.0  | 110  | 48  | 158   | 89.4               |        |      |
| Mar 00 | D   | Superficie | 322                    | 7.1  |      |       |                   | 0.033             | 0                 | 0.60  | 0.159             |                |    |    |    | 9.0              | 104  | 44   | 148 | 89.4  | 1.70               |        |      |
|        |     | Fondo      |                        | 6.2  |      |       |                   | 0.060             | 0.06              | 0.54  | 0.040             |                |    |    |    |                  | 6.0  | 100  | 36  | 136   | 89.4               |        |      |
|        | H   | Superficie |                        | 8.0  |      |       |                   | 0.026             | 0.12              | 0.54  | 0.059             |                |    |    |    |                  | 8.0  | 112  | 38  | 150   | 99.4               | 1.70   |      |
|        |     | Fondo      |                        | 6.8  |      |       |                   | 0.143             | 0.06              | 0.54  | 0.027             |                |    |    |    |                  | 7.0  | 102  | 56  | 158   | 109.3              |        |      |
|        | I   | Superficie |                        | 7.5  |      |       |                   | 0.019             | 0.06              | 0.72  | 0.144             |                |    |    |    |                  | 4.0  | 104  | 22  | 126   | 99.4               | 1.70   |      |
|        |     | Fondo      |                        | 6.5  |      |       |                   | 0.022             | 0                 | 1.03  |                   |                |    |    |    |                  | 7.0  | 104  | 24  | 128   | 123.2              |        |      |
| Ago 02 | G   | Superficie | 290                    | 7.0  | 23.4 | 8.4   | 0.026             | 0.344             | 0.24              | 0.31  |                   | 0.14           |    |    |    | 4.00             | 10.8 | 88   | 12  | 100   | 55.7               | 1.06   |      |
|        |     | Fondo      |                        | 22.5 | 1.2  | 0.052 | 0.215             | 0.60              | 0.39              |       | 0.14              |                |    |    |    |                  | 3.00 | 6.0  | 90  | 12    | 102                | 89.4   |      |
|        | B   | Superficie |                        | 7.0  | 22.8 | 7.7   | 0.007             | 0.387             | 0.09              | 0.23  |                   | 0.14           |    |    |    |                  | 6.00 | 10.8 | 98  | 6     | 104                | 49.7   | 1.42 |
|        |     | Fondo      |                        | 22.2 | 0.5  | 0.013 | 0.194             | 0.27              | 0.78              |       | 0.19              |                |    |    |    |                  | 6.00 | 17.6 | 70  | 8     | 78                 | 71.6   |      |
|        | D   | Superficie |                        | 7.0  | 22.5 | 7.8   | 0.007             | 0.301             | 0.06              | 0.39  | 0.100             | 0.12           |    |    |    |                  | 5.40 | 12.0 | 118 | 6     | 124                | 51.7   | 1.21 |
|        |     | Fondo      |                        | 21.7 | 0.7  | 0.033 | 0.495             | 0.09              | 0.39              | 0.200 | 0.09              |                |    |    |    |                  | 3.60 | 7.6  | 112 | 4     | 116                | 79.5   |      |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est        | Nivel      | Vol (Mm <sup>3</sup> ) | pH    | T °C  | OD    | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK   | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe    | Mn   | Al    | DBO <sub>5</sub> | DQO  | SDT  | SST  | ST   | Alc <sub>Tot</sub> | DS (m) |      |
|--------|------------|------------|------------------------|-------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------------------|----------------|-------|------|-------|------------------|------|------|------|------|--------------------|--------|------|
|        |            |            |                        |       |       |       |                   |                   |                   |       |                   |                |       |      |       |                  |      |      |      |      |                    |        | mg/L |
| Sep 02 | G          | Superficie | 309                    | 7.0   | 24.4  | 8.5   | 0.013             |                   |                   | 0.54  | 0.100             | 0.20           |       |      |       | 9.60             | 18.7 | 88   | 10   | 98   | 79.5               | 0.96   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 21.6  | 0.0   | 0.163 |                   |                   | 0.62              | 0.200 | 0.39              |                |       |      |       |                  | 8.40 | 69.6 | 100  | 22   | 122                | 54.5   |      |
|        | B          | Superficie |                        | 7.0   | 22.5  | 7.6   |                   |                   |                   | 1.17  | 0.100             | 0.12           |       |      |       |                  | 9.60 | 19.5 | 102  | 8    | 110                | 89.4   | 1.53 |
|        |            | Fondo      |                        | 20.5  | 0.0   | 0.033 |                   | 0.30              | 0.58              | 0.200 | 0.12              |                |       |      |       |                  | 3.60 | 3.6  | 102  | 4    | 106                | 76.5   |      |
| D      | Superficie | 9.3        | 22.9                   | 7.3   |       |       |                   | 0.85              | 0.100             | 0.06  |                   |                |       |      | 6.00  | 11.6             | 92   | 6    | 98   | 75.5 | 1.16               |        |      |
|        | Fondo      | 20.4       | 0.0                    | 0.046 |       |       |                   | 1.09              | 0.200             | 0.36  |                   |                |       |      | 4.80  | 9.6              | 100  | 12   | 112  | 73.5 |                    |        |      |
| Oct 02 | G          | Superficie | 337                    | 6.8   | 22.9  | 8.4   |                   |                   | 0.06              | 0.51  | 0.100             | 0.07           |       |      |       |                  | 0.8  | 104  | 8    | 112  | 59.6               | 1.20   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 21.2  | 0.0   | 0.065 |                   | 0.03              | 0.65              | 0.200 | 0.20              |                |       |      |       | 2.10             | 2.0  | 100  | 10   | 110  | 49.7               |        |      |
|        | B          | Superficie |                        | 6.2   | 22.7  | 7.5   |                   |                   | 0.03              | 0.44  |                   | 0.14           |       |      |       | 3.00             | 6.0  | 104  | 6    | 110  | 59.6               | 1.50   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 21.0  | 0.0   | 0.013 |                   | 0.88              | 1.16              |       | 0.10              |                |       |      |       | 1.20             | 2.8  | 102  | 6    | 108  | 45.7               |        |      |
| D      | Superficie | 6.8        | 22.8                   | 7.1   |       |       |                   | 0.03              | 0.29              |       | 0.28              |                |       |      | 0.90  | 2.0              | 96   | 10   | 106  | 59.6 | 1.35               |        |      |
|        | Fondo      | 22.2       | 5.8                    |       |       |       | 0.80              | 0.65              |                   | 0.09  |                   |                |       | 1.50 | 3.2   | 90               | 8    | 98   | 49.7 |      |                    |        |      |
| Jun 04 | I          | Superficie | 319                    | 24.0  | 6.8   |       |                   | 0.043             | 0.15              | 0.52  |                   |                |       |      | <0.15 | 3.00             | 9.6  | 84   | 4    | 88   | 79.5               | 1.1    |      |
|        |            | Fondo      |                        | 8.9   | 24.0  | 6.0   |                   | 0.150             | 0.12              | 0.46  |                   |                |       |      | <0.15 | 7.50             | 10.8 | 78   | 12   | 90   | 75.5               |        |      |
|        | G          | Superficie |                        | 23.8  | 7.8   | 0.007 | 0.344             | 0.09              | 0.46              |       |                   |                |       |      | <0.15 | 9.00             | 14.8 | 84   | 14   | 98   | 119.2              | 0.95   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 19.8  |       |       | 0.193             | 0.72              | 0.35              |       | 0.03              | 0.11           |       |      | <0.15 | 2.10             | 4.4  | 88   | 4    | 92   | 49.7               |        |      |
|        | B          | Superficie |                        | 23.2  | 7.7   |       | 0.322             | 0.12              | 0.35              |       | 0.01              |                |       |      | <0.15 | 3.00             | 6.4  | 68   | 14   | 82   | 129.2              | 0.95   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 19.6  |       |       | 0.022             | 0.12              | 0.40              |       | 0.09              | 0.15           |       |      | <0.15 | 1.20             | 2.8  | 80   | 8    | 88   | 59.6               |        |      |
| D      | Superficie | 24.0       | 8.1                    |       | 0.043 | 0.12  | 0.23              |                   |                   |       |                   |                | <0.15 | 9.00 | 15.2  | 68               | 20   | 88   | 79.5 | 0.85 |                    |        |      |
|        | Fondo      | 19.6       |                        |       |       | 0.64  | 0.40              |                   | 0.03              | 0.11  |                   |                | <0.15 | 3.90 | 5.6   | 94               | 4    | 98   | 59.6 |      |                    |        |      |
| Ago 04 | I          | Superficie | 317                    | 8.5   | 25.6  | 6.0   |                   |                   | 0.15              | 0.28  |                   | 0.01           |       |      | 0.150 | 1.20             | 2.0  | 78   | 4    | 82   | 105.4              | 1.45   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 8.5   | 22.2  |       |                   | 0.12              | 0.28              |       | 0.04              |                |       |      | 0.150 | 0.60             | 1.6  | 86   | 6    | 92   | 79.5               |        |      |
|        | G          | Superficie |                        | 8.3   | 23.7  | 6.3   |                   |                   |                   | 0.40  |                   | 0.01           |       |      | 0.150 | 3.00             | 6.0  | 92   | 6    | 98   | 85.5               | 0.95   |      |
|        |            | Fondo      |                        | 8.3   | 23.5  | 6.2   |                   |                   |                   | 0.51  |                   | 0.06           | 0.01  |      | 0.150 | 2.40             | 10.0 | 92   | 42   | 134  | 89.5               |        |      |
|        | B          | Superficie |                        | 8.5   | 24.3  | 6.6   |                   |                   | 0.06              | 0.51  |                   | 0.01           |       |      | 0.150 | 3.00             | 7.6  | 80   | 4    | 84   | 83.5               | 1.7    |      |
|        |            | Fondo      |                        | 7.3   | 20.6  |       |                   | 0.08              | 0.28              |       | 0.01              | 0.08           | 0.05  |      | 0.150 | 0.60             | 1.2  | 80   | 6    | 86   | 89.5               |        |      |
|        | D          | Superficie |                        | 8.5   | 23.5  | 6.9   |                   |                   |                   | 0.12  | 0.40              |                | 0.01  |      |       | 0.150            | 3.30 | 6.0  | 70   | 8    | 78                 | 99.4   | 1.3  |
|        |            | Fondo      |                        | 8.5   | 23.1  | 1.3   |                   |                   |                   | 0.42  | 0.45              |                | 0.01  |      |       | 0.150            | 3.90 | 5.6  | 94   | 4    | 98                 | 105.4  |      |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est | Nivel      | Vol (Mm <sup>3</sup> ) | pH   | T °C | OD  | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK  | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe   | Mn   | Al      | DBO <sub>5</sub> | DQO  | SDT  | SST | ST  | Alc <sub>Tot</sub> | DS (m) |      |
|--------|-----|------------|------------------------|------|------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|----------------|------|------|---------|------------------|------|------|-----|-----|--------------------|--------|------|
|        |     |            |                        |      |      |     |                   |                   |                   |      |                   |                |      |      |         |                  |      |      |     |     |                    |        | mg/L |
| Oct 04 | I   | Superficie | 381                    | 9.0  | 22.9 | 6.9 | 0.007             | 0.129             | 0.12              | 0.40 |                   |                |      |      | <0.15   | 1.20             | 3.3  | 78   | 6   | 84  | 103.4              | 1.50   |      |
|        |     | Fondo      |                        | 8.3  | 22.4 | 7.4 | 0.007             | 0.086             | 0.09              | 0.40 |                   | 0.02           |      |      |         | <0.15            | 1.50 | 3.3  | 78  | 8   | 86                 | 111.3  |      |
|        | G   | Superficie |                        | 8.9  | 22.1 | 8.1 | 0.013             | 0.366             | 0.09              | 0.34 |                   |                |      |      |         | <0.15            | 3.00 | 7.4  | 102 | 8   | 110                | 79.5   | 1.70 |
|        |     | Fondo      |                        | 8.9  | 21.7 | 6.1 | 0.013             | 0.108             | 0.42              | 0.34 |                   |                |      |      |         | <0.15            | 2.40 | 5.4  | 84  | 8   | 92                 | 99.4   |      |
|        | B   | Superficie |                        | 8.7  | 22.4 | 7.4 | 0.007             | 0.172             | 0.12              | 0.23 |                   |                |      |      |         | <0.15            | 3.00 | 7.4  | 84  | 4   | 88                 | 69.6   |      |
|        |     | Fondo      |                        | 7.3  | 20.8 |     | 0.020             | 0.172             | 0.96              | 0.69 |                   | 0.01           | 0.12 | 0.05 |         | <0.15            | 1.80 | 3.7  | 88  | 6   | 94                 | 79.5   |      |
|        | D   | Superficie |                        | 8.9  | 22.6 | 7.3 | 0.013             | 0.193             | 0.21              | 0.40 |                   | 0.02           |      |      |         | <0.15            | 3.60 | 6.2  | 84  | 4   | 88                 | 91.4   | 1.70 |
|        |     | Fondo      |                        | 7.8  | 20.5 |     | 0.013             | 0.172             | 1.25              | 1.02 |                   | 0.06           | 0.26 | 0.07 |         | 0.150            | 1.20 | 2.1  | 96  | 10  | 106                | 89.5   |      |
| Jun 05 | I   | Superficie | 309                    | 8.52 | 26.5 | 7.4 |                   |                   | 0.06              | 0.79 | 0.025             |                |      |      | < 0.015 | 3.00             | 11.7 | 80   | 10  | 90  | 70.0               | 0.54   |      |
|        |     | Fondo      |                        | 9.2  | 23.0 |     |                   | 0.256             | 0.06              | 0.90 | 0.025             |                | 0.03 |      |         | < 0.015          | 7.20 | 16.2 | 88  | 92  | 180                | 70.0   |      |
|        | J   | Superficie |                        | 9.0  | 23.7 | 4.8 |                   |                   | 0.3               | 0.97 | 0.100             | 0.04           | 0.05 |      |         | < 0.015          | 7.20 | 16.2 | 76  | 28  | 104                | 70.0   | 0.41 |
|        |     | Fondo      |                        | 9.1  | 23.8 | 3.4 |                   |                   | 0.275             | 0.45 | 1.46              |                | 0.03 | 0.17 |         | 0.170            | 7.20 | 15.3 | 28  | 86  | 114                | 75.3   |      |
|        | G   | Superficie |                        | 9.4  | 23.4 | 7.4 | 0.025             | 0.148             | 0.24              | 0.97 |                   |                |      |      |         | < 0.015          | 9.00 | 18.2 | 84  | 14  | 98                 | 57.8   | 0.63 |
|        |     | Fondo      |                        | 9.1  | 22.9 | 5.4 | 0.022             | 0.075             | 0.06              | 0.79 | 0.050             |                |      |      |         | < 0.015          | 2.40 | 11.7 | 82  | 40  | 122                | 70.0   |      |
|        | B   | Superficie |                        | 9.5  | 25.4 | 8.2 |                   |                   | 0.06              | 0.62 | 0.150             |                |      |      |         | < 0.015          | 3.00 | 13.8 | 80  | 12  | 92                 | 49.0   | 0.63 |
|        |     | Fondo      |                        | 7.3  | 19.5 | 0.0 |                   |                   | 0.45              | 1.01 | 0.050             |                |      | 0.06 |         | < 0.015          | 1.20 | 2.1  | 78  | 8   | 86                 | 64.8   |      |
|        | D   | Superficie |                        | 9.4  | 24.7 | 7.6 |                   |                   | 0.161             | 0.03 | 0.64              | 0.025          |      | 0.07 |         | < 0.015          | 4.80 | 10.0 | 76  | 10  | 86                 | 66.5   | 0.55 |
|        |     | Fondo      |                        | 7.5  | 20.1 | 0.0 |                   |                   | 0.114             | 0.57 | 1.18              | 0.150          |      | 0.10 |         | < 0.015          | 1.50 | 3.3  | 76  | 8   | 84                 | 70.0   |      |
| Ago 05 | I   | Superficie | 291                    | 9.2  | 25.5 | 3.8 |                   | 0.249             | 0.06              | 0.56 |                   |                | 0.03 |      | 0.065   | 3.00             | 5.0  | 44   | 18  | 62  | 78.8               |        |      |
|        |     | Fondo      |                        | 9.0  | 24.9 | 6.1 |                   | 0.131             | 0.03              | 0.70 |                   | 0.02           | 0.05 |      |         | 0.061            | 2.40 | 5.5  | 80  | 48  | 128                | 82.3   |      |
|        | J   | Superficie |                        | 9.1  | 24.3 | 7.3 | 0.014             | 0.073             | 0.09              | 0.54 | 0.075             | 0.05           | 0.09 |      |         | 0.075            | 2.40 | 5.5  | 76  | 10  | 86                 | 78.8   | 0.89 |
|        |     | Fondo      |                        | 8.6  | 24.4 | 0.4 | 0.020             | 0.189             | 0.36              | 1.20 | 0.225             | 0.14           | 0.07 |      |         | 0.121            | 4.80 | 9.7  | 88  | 14  | 102                | 78.8   |      |
| Ago 05 | G   | Superficie | 291                    | 9.1  | 24.4 | 8.6 | 0.004             | 0.155             | 0.03              | 0.48 | 0.025             | 0.01           | 0.04 |      | 0.046   | 3.00             | 6.7  | 70   | 18  | 88  | 87.5               | 0.84   |      |
|        |     | Fondo      |                        | 8.7  | 21.0 | 1.1 | 0.023             | 0.148             | 0.03              | 0.53 | 0.075             | 0.45           | 0.10 |      |         | 0.340            | 2.40 | 14.7 | 110 | 314 | 424                | 70.0   |      |
|        | B   | Superficie |                        | 9.2  | 24.9 | 7.2 | 0.003             | 0.013             | 0.03              | 0.64 |                   | 0.01           | 0.04 |      |         | 0.072            | 3.00 | 11.3 | 68  | 14  | 82                 | 75.3   | 0.98 |
|        |     | Fondo      |                        | 9.0  | 23.7 | 1.3 | 0.003             | 0.140             | 0.03              | 0.59 |                   |                | 0.03 |      |         | 0.111            | 1.20 | 8.0  | 66  | 10  | 76                 | 80.5   |      |
|        | D   | Superficie |                        | 9    | 24.8 | 6.7 |                   | 0.069             | 0.03              | 0.76 |                   | 0.01           | 0.03 |      |         | 0.062            | 4.80 | 9.2  | 66  | 10  | 76                 | 78.8   | 0.99 |
|        |     | Fondo      |                        | 7.3  | 20.6 | 0.0 |                   |                   | 0.76              | 1.54 | 0.125             | 0.02           | 0.13 | 0.03 |         | 0.097            | 1.50 | 3.4  | 58  | 8   | 66                 | 87.5   |      |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est    | Nivel      | Vol (Mm <sup>3</sup> ) | pH         | T °C | OD  | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK   | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe    | Mn   | Al    | DBO <sub>5</sub> | DQO    | SDT    | SST  | ST   | Alc <sub>Tot</sub> | DS (m) |      |      |
|--------|--------|------------|------------------------|------------|------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------------------|----------------|-------|------|-------|------------------|--------|--------|------|------|--------------------|--------|------|------|
|        |        |            |                        |            |      |     |                   |                   |                   |       |                   |                |       |      |       |                  |        |        |      |      |                    |        | mg/L |      |
| Oct 05 | I      | Superficie | 303                    | 9.3        | 22.9 | 9.7 | 0.013             | 0.277             | 0.12              | 0.51  |                   |                | 0.04  |      | 0.042 | 3.00             | 11.9   | 14     | 4    | 18   | 96.0               |        |      |      |
|        |        | Fondo      |                        | 9.1        | 19.5 | 8.3 |                   | 0.209             | 0.12              | 0.51  |                   |                |       |      |       | 0.090            | 1.80   | 11.5   | 30   | 6    | 36                 | 85.4   |      |      |
|        | J      | Superficie |                        | 9.2        | 22.3 | 7.5 | 0.009             | 0.236             | 0.12              | 0.46  |                   |                | 0.03  | 0.03 |       | 0.170            | 2.40   | 13.8   | 30   | 16   | 46                 | 74.7   | 0.83 |      |
|        |        | Fondo      |                        | 9.0        | 22.1 | 5.7 | 0.029             | 0.181             | 0.12              | 0.79  |                   |                | 0.03  | 0.14 |       | 0.160            | 4.80   | 12.6   | 28   | 78   | 106                | 89.6   |      |      |
|        | G      | Superficie |                        | 9.2        | 22.6 | 7.3 | 0.009             | 0.193             | 0.09              | 0.70  |                   |                | 0.02  | 0.01 |       | 0.099            | 3.00   | 14.7   | 18   | 6    | 24                 | 78.7   | 1.25 |      |
|        |        | Fondo      |                        | 8.6        | 20.6 | 7.0 | 0.035             | 0.172             | 0.12              | 0.90  | 0.100             | 0.03           | 0.02  |      |       | 0.383            | 2.40   | 13.0   | 26   | 6    | 32                 | 91.8   |      |      |
|        | B      | Superficie |                        | 9.3        | 23.2 | 5.9 |                   | 0.245             | 0.12              | 0.68  | 0.025             |                | 0.03  |      |       | 0.088            | 3.00   | 14.3   | 12   | 6    | 18                 | 93.0   | 1.05 |      |
|        |        | Fondo      |                        | 7.1        | 21.3 | 0.1 |                   | 0.155             | 1.12              | 2.13  | 0.188             | 0.02           | 0.18  | 0.02 |       | 0.039            | 3.00   | 13.1   | 12   | 4    | 16                 | 117.4  |      |      |
|        | D      | Superficie |                        | 9.2        | 23.7 | 7.5 | 0.007             | 0.234             | 0.12              | 0.57  |                   |                |       |      |       | 0.026            | 4.80   | 14.7   | 14   | 6    | 20                 | 85.4   | 1.25 |      |
|        |        | Fondo      |                        | 7.0        | 21.4 | 0.9 | 0.012             | 0.135             | 1.12              | 2.18  | 0.188             | 0.03           | 0.27  | 0.02 |       | 0.033            | 3.00   | 9.0    | 16   | 8    | 24                 | 96.0   |      |      |
|        | Jun 06 | J          |                        | Superficie | 233  | 6.7 | 23.4              | 3.4               |                   | 0.710 | 0.06              | 0.66           |       |      |       |                  | <0.015 |        | 9.2  | 84   | 10                 | 94     |      | 1.00 |
|        |        |            |                        | Fondo      |      | 8.7 | 23.0              | 0.8               | 0.011             | 0.753 | 0.03              | 0.42           |       |      | 0.02  |                  |        | <0.015 |      | 11.2 | 84                 | 14     | 98   |      |
| G      |        | Superficie | 9.3                    | 24.3       |      | 4.0 |                   | 0.806             | 0.03              | 0.60  |                   |                |       |      |       | <0.015           |        | 13.6   | 84   | 16   | 100                |        | 0.81 |      |
|        |        | Fondo      | 9.0                    | 23.0       |      |     | 0.030             | 0.795             | 0.03              | 0.66  |                   |                | 0.12  |      |       | <0.015           |        | 19.9   | 100  | 88   | 188                |        |      |      |
| B      |        | Superficie | 9.3                    | 24.9       |      | 4.1 |                   | 0.882             | 0.03              | 0.60  |                   |                | 0.03  |      |       | <0.015           |        | 14.8   | 72   | 22   | 94                 |        | 0.85 |      |
|        |        | Fondo      | 6.6                    | 20.7       |      |     |                   | 0.656             | 0.84              | 0.96  | 0.02              | 0.03           |       |      |       | <0.015           |        | 8.0    | 84   | 10   | 94                 |        |      |      |
| D      |        | Superficie | 9.4                    | 23.1       |      | 3.5 |                   | 0.774             |                   | 0.54  |                   |                | 0.05  |      |       | <0.015           |        | 11.2   | 92   | 10   | 102                |        | 0.85 |      |
|        |        | Fondo      | 7.7                    | 20.8       |      |     |                   | 0.636             | 0.68              | 0.84  | 0.020             | 0.03           |       |      |       | <0.015           |        | 11.2   | 98   | 6    | 104                |        |      |      |
| Ago 06 |        | J          | Superficie             | 248        |      | 9.0 | 23.5              | 5.5               | 0.019             | 0.312 | 0.03              | 0.70           |       |      |       |                  | <0.015 |        | 14.2 | 72   | 8                  | 80     |      | 0.80 |
|        |        |            | Fondo                  |            |      | 8.3 | 21.4              |                   | 0.007             | 0.546 | 0.06              | 0.88           | 0.170 | 0.2  |       |                  |        | <0.015 |      | 15.4 | 62                 | 14     | 76   |      |
|        | G      | Superficie | 9.2                    |            | 23.7 | 8.6 |                   | 0.280             | 0.03              | 0.64  |                   |                | 0.01  |      |       | <0.015           |        | 17.0   | 56   | 16   | 72                 |        | 0.70 |      |
|        |        | Fondo      | 8.6                    |            | 22.3 |     | 0.007             | 0.387             | 0.06              | 0.53  | 0.020             | 0.04           |       |      |       | <0.015           |        | 8.1    | 80   | 188  | 268                |        |      |      |
|        | B      | Superficie | 9.3                    |            | 24.5 | 9.2 |                   | 0.301             | 0.06              | 0.47  |                   |                |       |      |       | <0.015           |        | 21.1   | 82   |      | 82                 |        | 0.70 |      |
|        |        | Fondo      | 7.6                    |            | 22.2 |     |                   | 0.150             | 0.88              | 1.17  | 0.050             | 0.08           |       |      |       | 0.112            |        | 9.3    | 80   |      | 80                 |        |      |      |
|        | D      | Superficie | 9.2                    |            | 24.6 | 9.0 |                   | 0.357             | 0.03              | 0.53  |                   |                |       |      |       | <0.015           |        | 5.1    | 72   | 12   | 84                 |        | 0.70 |      |
|        |        | Fondo      | 7.1                    |            | 22.2 |     |                   | 0.236             | 0.88              | 1.23  | 0.020             | 0.04           |       |      |       | <0.015           |        | 9.7    | 64   | 12   | 76                 |        |      |      |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est | Nivel      | Vol (Mm <sup>3</sup> ) | pH   | T °C | OD  | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK  | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe | Mn     | Al     | DBO <sub>5</sub> | DQO  | SDT | SST | ST  | Alc <sub>Tot</sub> | DS (m) |
|--------|-----|------------|------------------------|------|------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|----------------|----|--------|--------|------------------|------|-----|-----|-----|--------------------|--------|
|        |     |            |                        |      |      |     |                   |                   |                   |      |                   |                |    |        |        |                  |      |     |     |     |                    |        |
| Sep 06 | J   | Superficie | 277                    | 8.6  | 22.6 | 5.1 | 0.024             | 0.172             | 0.12              | 0.65 | 0.010             | 0.02           |    |        | 0.040  |                  | 11.4 | 88  | 12  | 100 |                    | 1.25   |
|        |     | Fondo      |                        | 8.3  | 21.1 | 0.0 | 0.089             | 0.236             | 0.64              | 2.79 | 0.100             | 0.24           |    |        | 0.120  |                  | 20.8 | 120 | 14  | 134 |                    |        |
|        | G   | Superficie |                        | 8.7  | 22.7 | 6.2 |                   | 0.185             | 0.06              | 0.83 | 0.010             | 0.02           |    |        | 0.03   |                  | 9.5  | 88  | 12  | 100 |                    | 1.40   |
|        |     | Fondo      |                        | 8.7  | 21.0 | 5.7 | 0.018             | 0.206             | 0.09              | 0.77 | 0.020             | 0.04           |    |        | 0.01   |                  | 7.6  | 110 | 10  | 120 |                    |        |
|        | B   | Superficie |                        | 8.69 | 21.1 | 6.0 |                   | 0.187             | 0.12              | 0.83 |                   |                |    |        | <0.015 |                  | 9.5  | 100 |     | 100 |                    |        |
|        |     | Fondo      |                        | 6.9  | 21.1 |     |                   | 0.129             | 0.71              | 0.72 | 0.010             | 0.02           |    |        | <0.015 |                  | 4.5  | 78  | 16  | 94  |                    |        |
|        | D   | Superficie |                        | 8.8  | 24.8 | 6.6 |                   | 0.236             | 0.06              | 0.89 |                   | 0.01           |    |        | <0.015 |                  | 9.5  | 94  | 8   | 102 |                    | 1.30   |
|        |     | Fondo      |                        | 7.7  | 21.5 | 0.0 |                   | 0.129             | 0.72              | 1.13 | 0.010             | 0.02           |    |        | 0.028  |                  | 8.0  | 106 | 6   | 112 |                    |        |
| Jul 07 | J   | Superficie | 270                    | 8.9  | 23.5 | 8.3 | 0.011             | 10.578            | 0.13              | 0.60 | 0.009             | 0.06           |    |        | 0.028  |                  | 8.6  | 100 | 8   | 108 |                    | 0.70   |
|        |     | Fondo      |                        | 8.8  | 22.6 |     | 0.005             | 9.911             | 0.13              | 0.93 | 0.009             | 0.17           |    |        | 0.924  |                  | 9.0  | 100 | 54  | 154 |                    |        |
|        | G   | Superficie |                        | 8.9  | 23.8 | 8.0 | 0.008             | 9.955             | 0.07              | 0.76 | 0.009             | 0.05           |    |        | 0.071  |                  | 11.5 | 96  | 4   | 100 |                    | 0.77   |
|        |     | Fondo      |                        | 8.0  | 21.6 |     | 0.017             | 10.255            | 0.06              | 0.71 | 0.010             | 0.05           |    |        | 0.153  |                  | 8.2  | 96  | 14  | 110 |                    |        |
|        | B   | Superficie |                        | 9.0  | 23.1 | 8.4 | 0.005             | 9.890             | 0.11              | 0.54 | 0.010             | 0.02           |    |        | 0.015  |                  | 14.8 | 86  | 8   | 94  |                    | 1.20   |
|        |     | Fondo      |                        | 7.2  | 19.3 |     | 0.003             | 11.589            | 0.96              | 1.31 | 0.050             | 0.09           |    |        | 0.015  |                  | 6.6  | 108 | 6   | 114 |                    |        |
|        | D   | Superficie |                        | 9.0  | 23.1 | 8.3 | 0.016             | 0.664             | 0.08              | 0.54 | 0.020             | 0.10           |    |        | 0.015  |                  | 7.0  | 78  | 8   | 86  |                    | 1.30   |
|        |     | Fondo      |                        | 7.1  | 20.3 |     | 0.009             | 1.477             | 0.80              | 1.14 | 0.040             | 0.06           |    |        | 0.015  |                  | 2.9  | 98  | 4   | 102 |                    |        |
| Sep 07 | J   | Superficie | 313                    | 8.9  | 23.6 | 7.0 |                   | 0.114             | 0.06              | 0.55 |                   | 0.04           |    | <0.015 |        | 10.5             | 88   | 10  | 98  |     | 1.15               |        |
|        |     | Fondo      |                        | 8.5  | 21.6 | 4.2 | 0.010             | 0.193             | 0.42              | 0.77 | 0.010             | 0.07           |    |        | <0.015 |                  | 13.2 | 102 | 70  | 172 |                    |        |
|        | G   | Superficie |                        | 9.0  | 23.2 | 9.0 |                   | 0.193             | 0.09              | 0.72 |                   | 0.05           |    |        | <0.015 |                  | 13.9 | 88  | 14  | 102 |                    | 0.70   |
|        |     | Fondo      |                        | 8.9  | 21.6 | 2.1 |                   | 0.148             | 0.06              | 0.66 |                   | 0.08           |    |        | <0.015 |                  | 13.5 | 82  | 12  | 94  |                    |        |
|        | B   | Superficie |                        | 9.1  | 22.2 | 7.8 |                   | 0.138             | 0.06              | 0.66 | 0.130             | 0.14           |    |        | <0.015 |                  | 11.8 | 84  | 6   | 90  |                    | 1.20   |
|        |     | Fondo      |                        | 7.6  | 20.7 |     |                   | 0.049             | 0.84              | 0.88 | 0.100             | 0.14           |    |        | <0.015 |                  | 16.7 | 94  | 6   | 100 |                    |        |
|        | D   | Superficie |                        | 9.1  | 21.9 | 8.8 |                   | 0.161             | 0.06              | 0.72 |                   | 0.04           |    |        | <0.015 |                  | 15.1 | 86  | 14  | 100 |                    | 1.15   |
|        |     | Fondo      |                        | 7.8  | 21.0 |     |                   | 0.062             | 0.54              | 0.77 | 0.010             | 0.04           |    |        | <0.015 |                  | 8.2  | 98  | 6   | 104 |                    |        |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est        | Nivel      | Vol (Mm <sup>3</sup> ) | pH  | T °C | OD    | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK  | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe   | Mn   | Al    | DBO <sub>5</sub> | DQO  | SDT  | SST | ST | Alc <sub>Tot</sub> | DS (m) |      |  |      |  |      |
|--------|------------|------------|------------------------|-----|------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|----------------|------|------|-------|------------------|------|------|-----|----|--------------------|--------|------|--|------|--|------|
|        |            |            |                        |     |      |       |                   |                   |                   |      |                   |                |      |      |       |                  |      |      |     |    |                    |        | mg/L |  |      |  |      |
| Oct 07 | J          | Superficie | 335                    | 8.3 | 24.3 | 6.9   |                   | 0.495             | 0.06              | 0.72 | 0.010             | 0.04           |      |      | 0.045 |                  | 10.9 | 94   | 4   | 98 |                    | 1.50   |      |  |      |  |      |
|        |            | Fondo      |                        | 8.0 | 22.8 | 2.0   | 0.007             | 0.451             | 0.06              | 0.66 |                   | 0.08           |      |      |       | 0.024            |      | 14.9 | 110 | 46 | 156                |        |      |  |      |  |      |
|        | G          | Superficie |                        | 8.8 | 26.3 | 7.3   |                   | 0.398             | 0.09              | 0.61 | 0.010             | 0.04           |      |      |       | 0.050            |      | 13.3 | 100 | 4  | 104                |        | 1.60 |  |      |  |      |
|        |            | Fondo      |                        | 8.6 | 25.2 | 6.9   | 0.004             | 0.331             | 0.09              | 0.61 | 0.009             | 0.05           |      |      |       | 0.015            |      | 10.1 | 136 | 80 | 216                |        |      |  |      |  |      |
|        | B          | Superficie |                        | 8.7 | 22.7 | 7.8   |                   | 0.430             | 0.12              | 0.50 | 0.010             | 0.03           |      |      |       | 0.080            |      | 14.1 | 98  | 4  | 102                |        | 1.60 |  |      |  |      |
|        |            | Fondo      |                        | 7.2 | 20.7 |       |                   | 0.355             | 0.76              | 0.99 | 0.040             | 0.11           |      |      |       | 0.071            |      | 9.3  | 92  | 6  | 98                 |        |      |  |      |  |      |
|        | D          | Superficie |                        | 8.7 | 23.6 | 7.3   |                   | 0.357             | 0.06              | 0.55 | 0.010             | 0.04           |      |      |       | 0.038            |      | 22.5 | 88  | 10 | 98                 |        | 1.60 |  |      |  |      |
|        |            | Fondo      |                        | 8.3 | 21.0 | 6.0   |                   | 0.396             | 0.36              | 0.77 | 0.010             | 0.05           |      |      |       | 0.066            |      | 10.1 | 100 | 2  | 102                |        |      |  |      |  |      |
| Jun 09 | 1          | Superficie | 199                    | 9.6 | 23.9 | 7.8   |                   | 0.030             | 3.00              | 3.37 |                   | 0.01           | 0.15 | 0.09 |       |                  |      |      |     |    |                    | 98     |      |  | 1.00 |  |      |
|        |            | Fondo      |                        | 8.0 | 22.3 | 0.2   |                   | 0.050             | 0.13              | 2.75 |                   | 0.10           | 0.76 | 0.27 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  |      |
|        | 2          | Superficie |                        | 9.7 | 24.0 | 7.9   |                   | 0.050             | 0.12              | 1.35 |                   | 0.03           | 0.15 | 0.07 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 0.80 |
|        |            | Fondo      |                        | 9.4 | 23.4 | 7.4   |                   | 0.060             | 0.04              | 0.94 |                   | 0.03           | 0.22 | 0.09 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  |      |
|        | 3          | Superficie |                        | 8.9 | 21.0 | 7.8   |                   | 0.040             | 0.03              | 1.46 |                   | 0.05           | 0.25 | 0.09 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 0.55 |
|        |            | Fondo      |                        | 8.5 | 18.6 | 7.7   |                   | 0.460             | 0.03              | 1.84 |                   | 0.10           | 0.41 | 0.09 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  |      |
|        | 4          | Superficie |                        | 9.8 | 24.2 | 8.0   |                   | 0.050             | 0.05              | 1.05 |                   | 0.05           | 0.24 | 0.10 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 0.60 |
|        |            | Fondo      |                        | 9.7 | 24.3 | 8.2   |                   | 0.050             | 0.05              | 1.65 |                   | 0.01           | 0.08 | 0.05 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 1.10 |
|        | 5          | Superficie |                        | 8.1 | 23.4 | 3.8   |                   | 0.120             | 0.03              | 1.58 |                   | 0.02           | 0.26 | 0.12 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 98   |
|        |            | Fondo      |                        | 9.8 | 24.4 | 8.6   |                   | 0.110             | 0.05              | 0.99 |                   | 0.04           | 0.08 | 0.05 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 97   |
|        | 6          | Superficie |                        | 9.0 | 21.9 | 2.9   |                   | 0.090             | 0.07              | 2.11 |                   | 0.06           | 0.74 | 0.27 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 106  |
|        |            | Fondo      |                        | 9.8 | 24.2 | 8.0   |                   | 0.245             | 0.06              | 1.01 |                   | 0.04           | 0.11 | 0.05 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 97   |
|        | 7          | Superficie |                        | 8.3 | 22.2 | 1.6   |                   | 0.260             | 0.14              | 1.44 |                   | 0.06           | 0.79 | 0.28 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 107  |
|        |            | Fondo      |                        | 9.8 | 24.0 | 8.4   |                   | 0.130             | 0.06              | 1.17 |                   | 0.05           | 0.09 | 0.04 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 97   |
|        | 8          | Superficie |                        | 9.6 | 23.6 | 7.2   |                   | 0.120             | 0.05              | 2.48 |                   | 0.04           | 0.10 | 0.05 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 97   |
|        |            | Fondo      |                        | 9.8 | 24.4 | 8.4   |                   | 0.120             | 0.06              | 0.98 |                   | 0.01           | 0.10 | 0.06 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 97   |
|        | 9          | Superficie |                        | 7.9 | 22.0 | 0.1   |                   | 0.210             | 0.17              | 1.19 |                   | 0.02           | 0.58 | 0.23 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 104  |
|        |            | Fondo      |                        | 9.8 | 24.3 | 8.5   |                   | 0.220             | 0.06              | 1.18 |                   | 0.02           | 0.07 | 0.06 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 97   |
|        | 10         | Superficie |                        | 8.3 | 21.7 | 0.7   |                   | 0.140             | 0.08              | 1.56 |                   | 0.02           | 0.61 | 0.26 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 105  |
|        |            | Fondo      |                        | 9.8 | 23.9 | 7.3   |                   | 0.060             | 0.05              | 0.94 |                   | 0.02           | 0.08 | 0.05 |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  | 97   |
| 11     | Superficie | 8.6        | 21.4                   | 1.7 |      | 0.040 | 0.06              | 2.26              |                   | 0.05 | 0.57              | 0.33           |      |      |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  | 106  |  |      |
|        | Fondo      |            |                        |     |      |       |                   |                   |                   |      |                   |                |      |      |       |                  |      |      |     |    |                    |        |      |  |      |  |      |

**Tabla 52. Datos de calidad del agua de la presa Valle de Bravo, 1992-2009 (cont.)**

| Fecha  | Est        | Nivel      | Vol<br>(Mm <sup>3</sup> ) | pH  | T<br>°C | OD    | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK  | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe   | Mn   | Al | DBO <sub>5</sub> | DQO | SDT | SST | ST  | Alc <sub>Tot</sub> | DS<br>(m) |      |      |
|--------|------------|------------|---------------------------|-----|---------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|----------------|------|------|----|------------------|-----|-----|-----|-----|--------------------|-----------|------|------|
|        |            |            |                           |     |         |       |                   |                   |                   |      |                   |                |      |      |    |                  |     |     |     |     |                    |           | mg/L |      |
| Jun 09 | 12         | Superficie | 199                       | 9.7 | 24.0    | 7.2   |                   | 0.100             | 0.05              | 2.80 |                   | 0.03           | 0.09 | 0.05 |    |                  |     | 97  |     |     |                    | 1.00      |      |      |
|        |            | Fondo      |                           | 9.5 | 24.0    | 6.8   |                   | 0.060             | 0.06              | 2.64 |                   | 0.05           | 0.20 | 0.07 |    |                  |     |     | 97  |     |                    |           |      |      |
|        | 13         | Superficie |                           | 9.7 | 24.0    | 7.5   |                   | 0.090             | 0.05              | 2.31 |                   | 0.01           | 0.08 | 0.17 |    |                  |     |     | 97  |     |                    |           | 1.00 |      |
|        |            | Fondo      |                           | 9.6 | 23.0    | 6.8   |                   | 0.080             | 0.04              | 0.92 |                   | 0.03           | 0.11 | 0.13 |    |                  |     |     |     | 99  |                    |           |      |      |
|        | 14         | Superficie |                           | 9.7 | 23.9    | 7.4   |                   | 0.280             | 0.06              | 1.02 |                   | 0.03           | 0.10 | 0.23 |    |                  |     |     |     | 97  |                    |           |      | 1.20 |
|        |            | Fondo      |                           | 7.9 | 22.5    | 0.1   |                   | 0.090             | 0.09              | 1.61 |                   | 0.05           | 0.25 | 0.26 |    |                  |     |     |     | 101 |                    |           |      |      |
|        | 15         | Superficie |                           | 9.7 | 24.0    | 7.6   |                   | 0.170             | 0.06              | 1.13 |                   | 0.01           | 0.09 | 0.07 |    |                  |     |     |     | 98  |                    |           |      | 1.20 |
|        |            | Fondo      |                           | 7.8 | 22.8    | 0.1   |                   | 0.150             | 0.13              | 1.35 |                   | 0.03           | 0.27 | 0.26 |    |                  |     |     |     | 103 |                    |           |      |      |
|        | 16         | Superficie |                           | 9.7 | 23.9    | 7.5   |                   | 0.190             | 0.06              | 0.71 |                   | 0.03           | 0.09 | 0.19 |    |                  |     |     |     | 97  |                    |           |      | 1.20 |
|        |            | Fondo      |                           | 9.7 | 22.4    | 7.9   |                   | 0.150             | 0.06              | 1.65 |                   | 0.03           | 0.26 | 0.13 |    |                  |     |     |     | 96  |                    |           |      |      |
|        | 17         | Superficie |                           | 9.7 | 23.8    | 7.5   |                   | 0.150             | 0.05              | 1.95 |                   | 0.03           | 0.08 | 0.07 |    |                  |     |     |     | 97  |                    |           |      | 1.00 |
|        |            | Fondo      |                           | 9.6 | 24.2    | 7.3   |                   | 0.120             | 0.05              | 1.38 |                   | 0.01           | 0.10 | 0.11 |    |                  |     |     |     | 97  |                    |           |      | 1.20 |
|        | 18         | Superficie |                           | 9.0 | 23.4    | 3.5   |                   | 0.110             | 0.03              | 1.99 |                   | 0.02           | 0.24 | 0.10 |    |                  |     |     |     | 98  |                    |           |      |      |
|        |            | Fondo      |                           | 9.5 | 22.0    | 7.8   |                   | 0.220             | 0.04              | 2.88 |                   | 0.15           | 1.69 | 0.24 |    |                  |     |     |     | 76  |                    |           |      | 0.80 |
|        | 19         | Superficie |                           | 9.7 | 24.3    | 7.5   |                   | 0.195             | 0.06              | 1.36 |                   | 0.02           | 0.10 | 0.09 |    |                  |     |     |     | 97  |                    |           |      | 1.00 |
|        |            | Fondo      |                           | 7.9 | 22.2    | 0.2   |                   | 0.125             | 0.15              | 1.48 |                   | 0.02           | 0.29 | 0.21 |    |                  |     |     |     | 103 |                    |           |      |      |
|        | 20         | Superficie |                           | 9.6 | 24.4    | 7.8   |                   | 0.170             | 0.06              | 1.73 |                   | 0.03           | 0.15 | 0.06 |    |                  |     |     |     | 96  |                    |           |      | 0.80 |
|        |            | Fondo      |                           | 7.8 | 22.2    | 0.1   |                   | 0.200             | 0.17              | 1.90 |                   | 0.04           | 0.63 | 0.31 |    |                  |     |     |     | 103 |                    |           |      |      |
|        | 21         | Superficie |                           | 9.6 | 25.7    | 8.3   |                   | 0.290             | 0.07              | 1.76 |                   | 0.02           | 0.23 | 0.09 |    |                  |     |     |     | 95  |                    |           |      | 0.67 |
|        |            | Fondo      |                           | 9.5 | 25.1    | 8.4   |                   | 0.180             | 0.07              | 3.72 |                   | 0.04           | 0.23 | 0.08 |    |                  |     |     |     | 95  |                    |           |      |      |
| 22     | Superficie | 9.6        | 24.7                      | 8.5 |         | 0.200 | 0.06              | 3.40              |                   | 0.05 | 0.28              | 0.09           |      |      |    |                  |     | 93  |     |     |                    | 0.40      |      |      |
|        | Fondo      |            |                           |     |         |       |                   |                   |                   |      |                   |                |      |      |    |                  |     |     |     |     |                    |           |      |      |

**Tabla 53. Registros de datos**

|                     | pH   | T     | OD    | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK  | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe   | Mn   | Al   | DBO <sub>5</sub> | DQO    | SDT    | SST    | ST     | Alc <sub>Tot</sub> | DS   |
|---------------------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|----------------|------|------|------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------|------|
| Registros numéricos | 314  | 162   | 178   | 212               | 304               | 322               | 330  | 194               | 134            | 73   | 48   | 52   | 83               | 264    | 318    | 272    | 275    | 228                | 223  |
| Diferencia          | 0    | 0     | 0     | 0                 | 0                 | 0                 | 0    | 0                 | 0              | 0    | 0    | 0    | 0                | 0      | 0      | 0      | 0      | 0                  | 0    |
| Vacíos              | 140  | 292   | 276   | 242               | 150               | 132               | 124  | 260               | 320            | 381  | 406  | 352  | 371              | 190    | 136    | 182    | 179    | 226                | 230  |
| Totales             | 454  | 454   | 454   | 454               | 454               | 454               | 454  | 454               | 454            | 454  | 454  | 454  | 454              | 454    | 454    | 454    | 454    | 454                | 454  |
| Mínimo              | 5.40 | 18.60 | 0.00  | 0.00              | 0.00              | 0.00              | 0.18 | 0.01              | 0.01           | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00             | 0.00   | 12.00  | 0.00   | 16.00  | 41.40              | 0.40 |
| Promedio            | 7.65 | 22.80 | 5.39  | 0.01              | 0.37              | 0.15              | 0.86 | 0.14              | 0.06           | 0.20 | 0.12 | 0.11 | 4.10             | 9.68   | 85.96  | 22.93  | 106.60 | 81.41              | 1.66 |
| Máximo              | 9.81 | 26.50 | 10.80 | 0.16              | 11.59             | 3.00              | 3.72 | 0.96              | 0.45           | 1.69 | 0.33 | 0.92 | 27.00            | 152.00 | 426.00 | 314.00 | 436.00 | 139.10             | 4.00 |

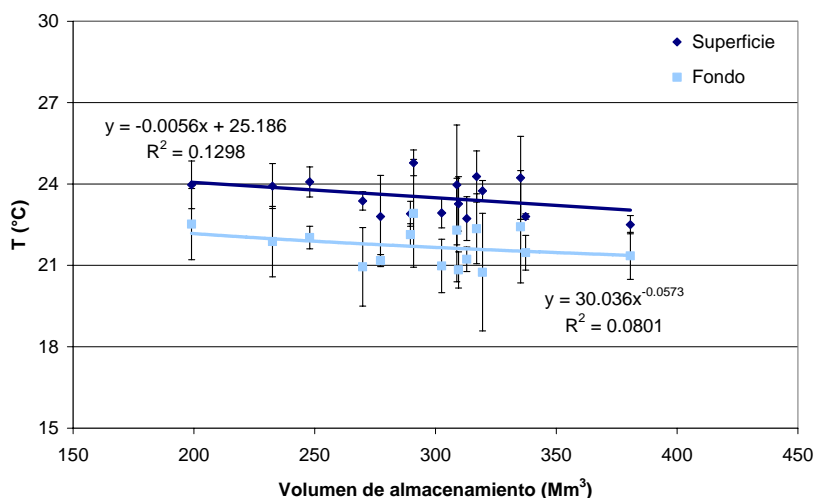
**Tabla 54. Distribución de datos**

| Percentil | pH   | T     | OD   | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK  | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe   | Mn   | Al   | DBO <sub>5</sub> | DQO  | SDT   | SST  | ST    | Alc <sub>Tot</sub> | DS   |
|-----------|------|-------|------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|----------------|------|------|------|------------------|------|-------|------|-------|--------------------|------|
| 0%        | 5.40 | 18.60 | 0.00 | 0.00              | 0.00              | 0.00              | 0.18 | 0.01              | 0.01           | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00             | 0.00 | 12.00 | 0.00 | 16.00 | 41.40              | 0.40 |
| 1%        | 5.81 | 19.42 | 0.00 | 0.00              | 0.00              | 0.00              | 0.23 | 0.01              | 0.01           | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00             | 0.93 | 14.34 | 2.00 | 19.48 | 48.60              | 0.54 |
| 5%        | 6.00 | 20.31 | 0.00 | 0.00              | 0.02              | 0.00              | 0.34 | 0.01              | 0.01           | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.00             | 2.00 | 43.70 | 4.00 | 72.00 | 50.86              | 0.67 |
| 10%       | 6.20 | 20.70 | 0.00 | 0.00              | 0.04              | 0.00              | 0.41 | 0.01              | 0.01           | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.60             | 3.00 | 62.00 | 4.00 | 78.00 | 59.62              | 0.80 |
| 15%       | 6.30 | 21.00 | 0.14 | 0.00              | 0.05              | 0.00              | 0.46 | 0.02              | 0.02           | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 1.20             | 3.31 | 68.00 | 6.00 | 82.00 | 62.90              | 0.82 |
| 20%       | 6.50 | 21.40 | 1.17 | 0.00              | 0.06              | 0.00              | 0.51 | 0.02              | 0.02           | 0.06 | 0.05 | 0.03 | 1.20             | 4.00 | 72.00 | 6.00 | 86.00 | 64.70              | 0.85 |

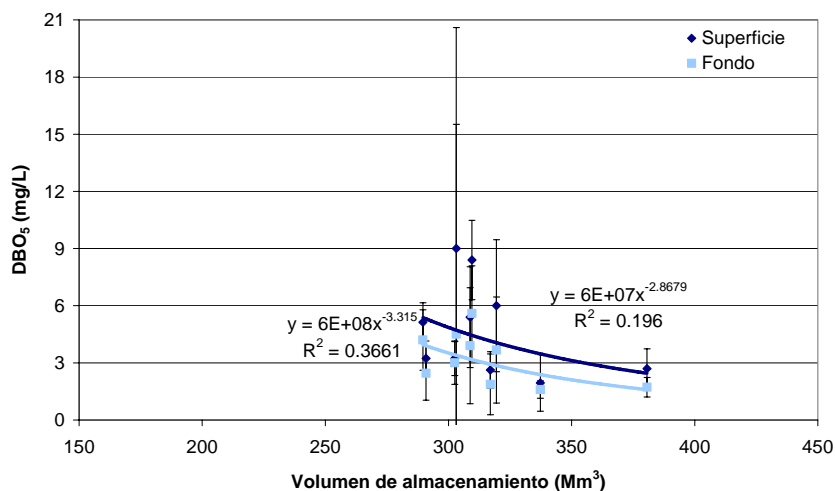
**Tabla 54. Distribución de datos (Cont.)**

| Percentil | pH   | T     | OD    | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | NTK  | P-PO <sub>4</sub> | P <sub>T</sub> | Fe   | Mn   | Al   | DBO <sub>5</sub> | DQO    | SDT    | SST    | ST     | Alc <sub>Tot</sub> | DS   |
|-----------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|----------------|------|------|------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------|------|
| 25%       | 6.60 | 21.70 | 3.10  | 0.00              | 0.07              | 0.00              | 0.53 | 0.02              | 0.02           | 0.07 | 0.06 | 0.04 | 1.50             | 5.00   | 76.00  | 6.00   | 88.00  | 66.50              | 0.96 |
| 30%       | 6.80 | 22.17 | 4.22  | 0.00              | 0.08              | 0.00              | 0.54 | 0.03              | 0.03           | 0.08 | 0.06 | 0.04 | 2.10             | 6.00   | 78.20  | 8.00   | 90.00  | 70.18              | 1.00 |
| 35%       | 7.00 | 22.24 | 5.43  | 0.00              | 0.09              | 0.03              | 0.59 | 0.04              | 0.03           | 0.09 | 0.07 | 0.05 | 2.40             | 6.00   | 82.00  | 8.00   | 94.00  | 74.04              | 1.10 |
| 40%       | 7.10 | 22.50 | 5.91  | 0.01              | 0.10              | 0.03              | 0.64 | 0.05              | 0.03           | 0.10 | 0.07 | 0.06 | 2.40             | 7.00   | 84.00  | 10.00  | 98.00  | 75.52              | 1.20 |
| 45%       | 7.22 | 22.70 | 6.22  | 0.01              | 0.11              | 0.06              | 0.66 | 0.06              | 0.03           | 0.10 | 0.09 | 0.07 | 3.00             | 7.43   | 86.00  | 10.00  | 98.00  | 79.13              | 1.25 |
| 50%       | 7.40 | 22.90 | 6.86  | 0.01              | 0.13              | 0.06              | 0.70 | 0.08              | 0.04           | 0.11 | 0.09 | 0.07 | 3.00             | 8.00   | 88.00  | 12.00  | 100.00 | 80.72              | 1.40 |
| 55%       | 7.60 | 23.10 | 7.07  | 0.01              | 0.14              | 0.06              | 0.72 | 0.09              | 0.04           | 0.11 | 0.09 | 0.09 | 3.00             | 8.07   | 90.00  | 14.00  | 102.00 | 80.90              | 1.50 |
| 60%       | 7.80 | 23.40 | 7.30  | 0.01              | 0.15              | 0.06              | 0.78 | 0.10              | 0.05           | 0.15 | 0.10 | 0.10 | 3.00             | 9.01   | 94.00  | 14.00  | 104.00 | 84.50              | 1.62 |
| 65%       | 8.27 | 23.59 | 7.41  | 0.01              | 0.17              | 0.09              | 0.87 | 0.11              | 0.05           | 0.17 | 0.12 | 0.11 | 3.60             | 9.99   | 96.00  | 18.00  | 108.00 | 85.94              | 1.80 |
| 70%       | 8.54 | 23.79 | 7.51  | 0.01              | 0.19              | 0.12              | 0.93 | 0.13              | 0.06           | 0.22 | 0.13 | 0.14 | 3.94             | 10.06  | 97.10  | 22.00  | 110.00 | 89.40              | 2.20 |
| 75%       | 8.71 | 23.97 | 7.75  | 0.01              | 0.20              | 0.15              | 1.00 | 0.15              | 0.08           | 0.24 | 0.20 | 0.15 | 4.80             | 11.34  | 98.00  | 26.00  | 113.00 | 93.73              | 2.40 |
| 80%       | 8.95 | 24.15 | 7.89  | 0.01              | 0.24              | 0.24              | 1.13 | 0.20              | 0.09           | 0.26 | 0.23 | 0.15 | 5.76             | 12.00  | 100.00 | 36.00  | 122.00 | 98.62              | 2.58 |
| 85%       | 9.13 | 24.30 | 8.20  | 0.01              | 0.28              | 0.30              | 1.20 | 0.23              | 0.12           | 0.28 | 0.26 | 0.15 | 7.14             | 13.80  | 102.00 | 44.00  | 128.00 | 99.40              | 2.80 |
| 90%       | 9.35 | 24.49 | 8.37  | 0.02              | 0.36              | 0.45              | 1.46 | 0.36              | 0.14           | 0.54 | 0.26 | 0.16 | 8.22             | 14.78  | 104.00 | 48.00  | 136.00 | 107.48             | 3.00 |
| 95%       | 9.65 | 24.90 | 8.60  | 0.03              | 0.63              | 0.72              | 1.97 | 0.58              | 0.20           | 0.67 | 0.28 | 0.25 | 9.54             | 18.14  | 110.00 | 73.60  | 158.00 | 115.95             | 3.20 |
| 99%       | 9.77 | 25.90 | 9.32  | 0.09              | 9.95              | 1.12              | 3.18 | 0.88              | 0.38           | 1.04 | 0.32 | 0.65 | 25.36            | 54.73  | 126.98 | 149.66 | 272.16 | 127.58             | 3.49 |
| 100%      | 9.81 | 26.50 | 10.80 | 0.16              | 11.59             | 3.00              | 3.72 | 0.96              | 0.45           | 1.69 | 0.33 | 0.92 | 27.00            | 152.00 | 426.00 | 314.00 | 436.00 | 139.10             | 4.00 |

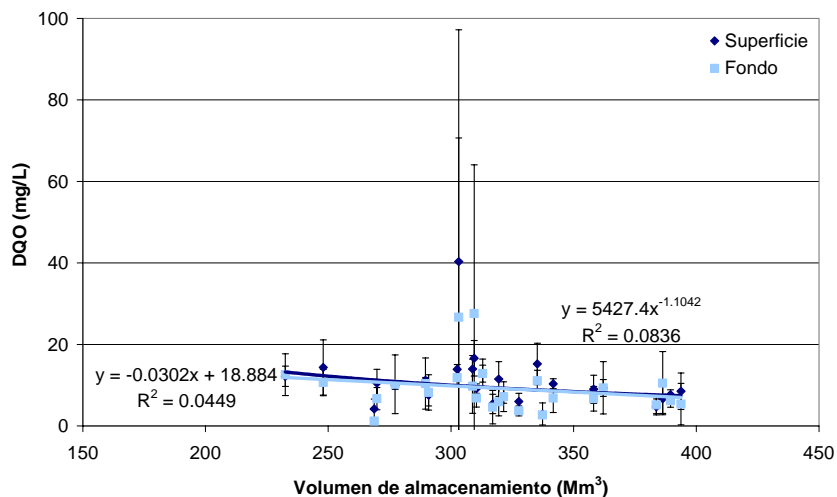
A continuación se presentan las figuras de parámetros de calidad del agua en función del volumen de almacenamiento, que no fueron incluidas en el capítulo 3.



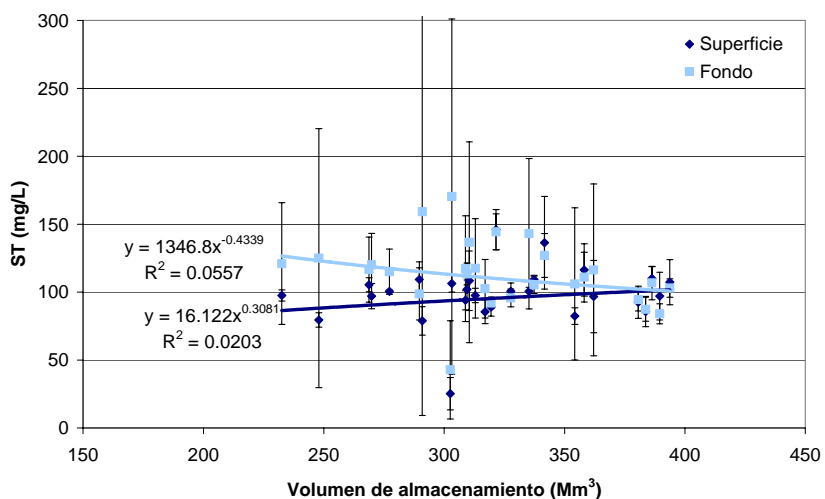
**Figura 122. Temperatura del agua en función del volumen de almacenamiento**



**Figura 123. Demanda bioquímica de oxígeno en función del volumen de almacenamiento**



**Figura 124. Demanda química de oxígeno en función del volumen de almacenamiento**



**Figura 125. Sólidos totales en función del volumen de almacenamiento**

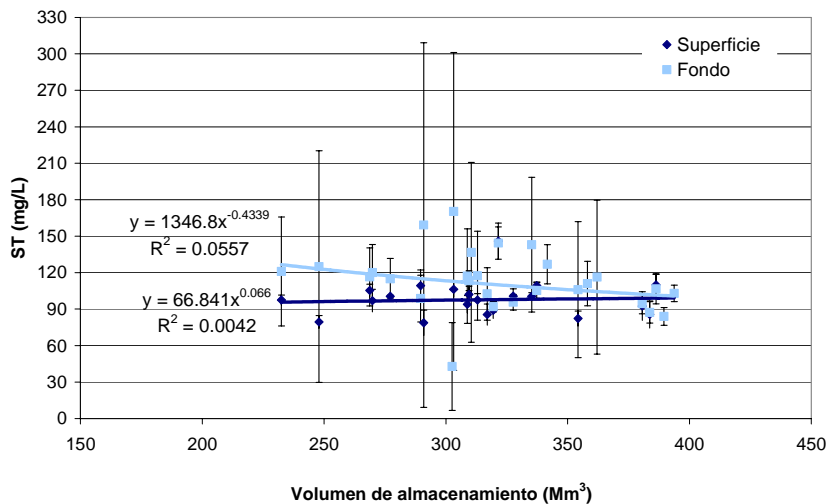


Figura 126. Sólidos totales en función del volumen de almacenamiento (CV<0.15)

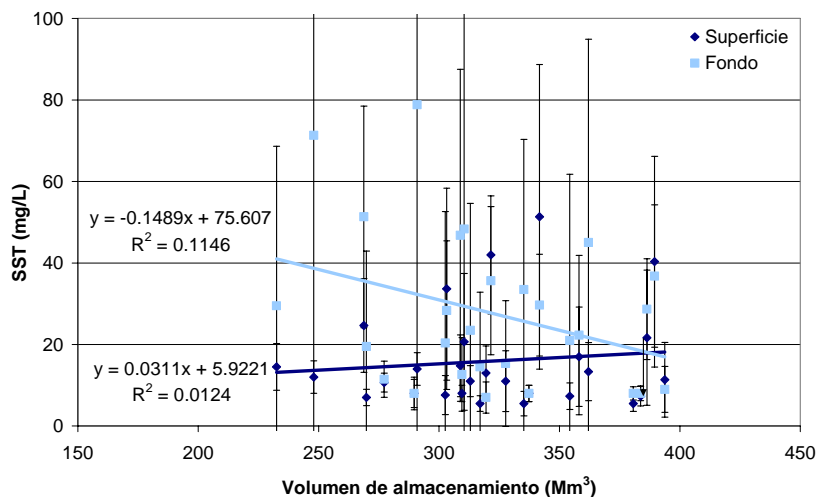
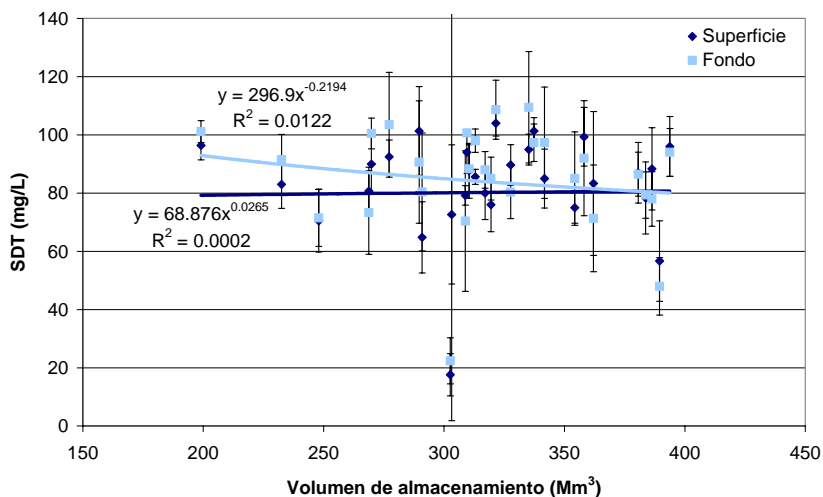
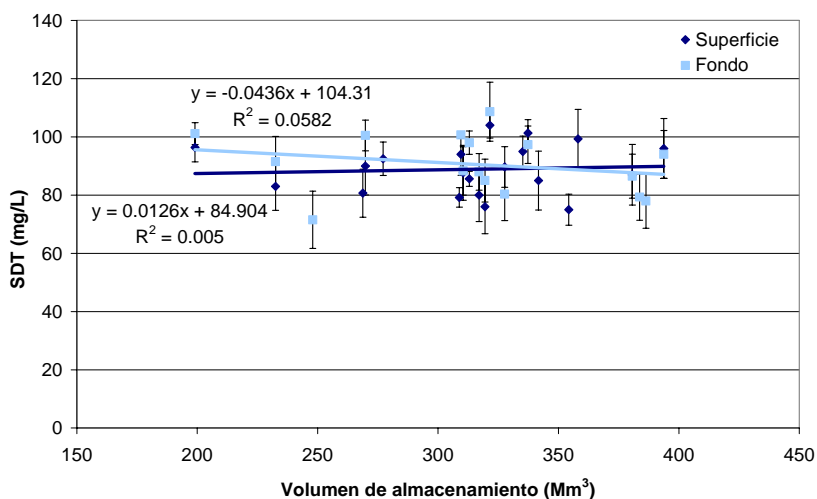


Figura 127. Sólidos suspendidos totales en función del volumen de almacenamiento



**Figura 128. Sólidos disueltos totales en función del volumen de almacenamiento**



**Figura 129. Sólidos disueltos totales en función del volumen de almacenamiento (CV<0.15)**

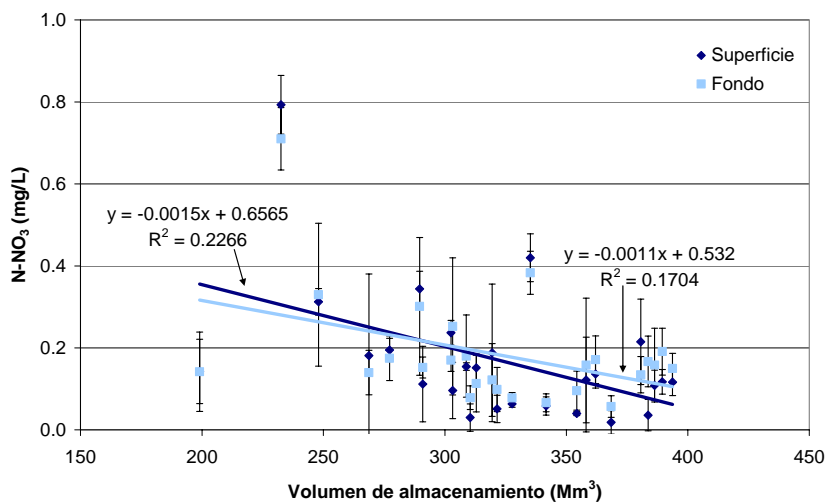


Figura 130. Nitrógeno como nitratos en función del volumen de almacenamiento

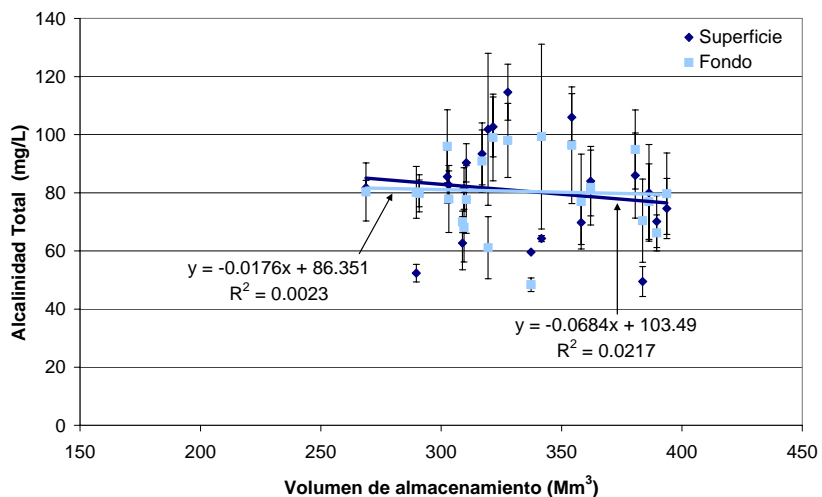
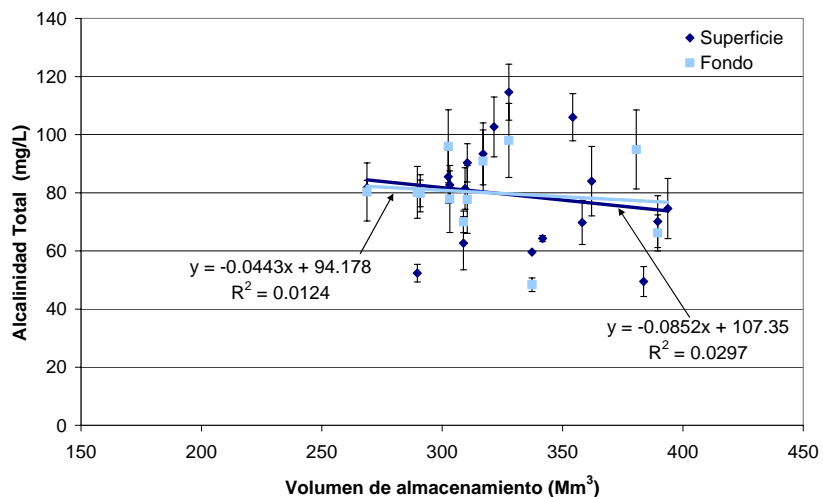
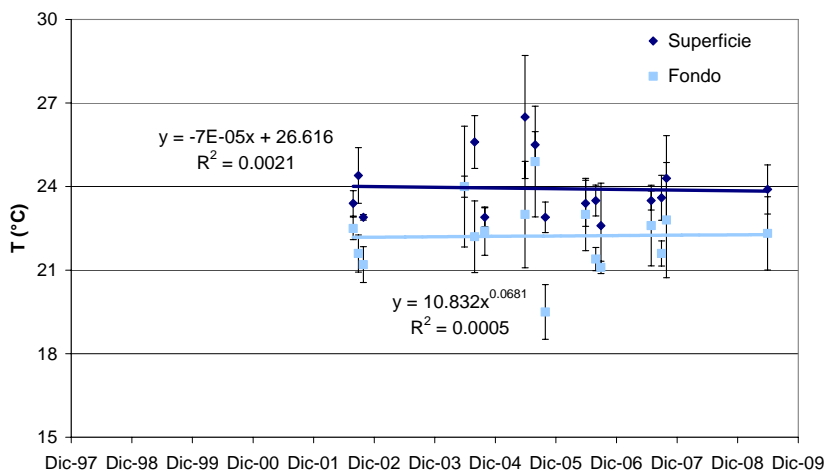


Figura 131. Alcalinidad total en función del volumen de almacenamiento



**Figura 132. Alcalinidad total en función del volumen de almacenamiento (CV<0.15)**

Variación de la calidad del agua en la presa Valle de Bravo en función del tiempo



**Figura 133. Temperatura del agua en función del tiempo**

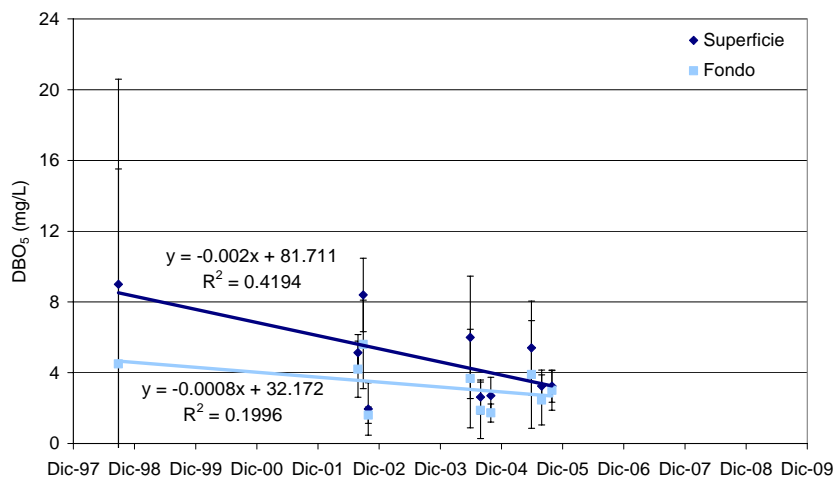


Figura 134. Demanda bioquímica de oxígeno en el agua en función del tiempo

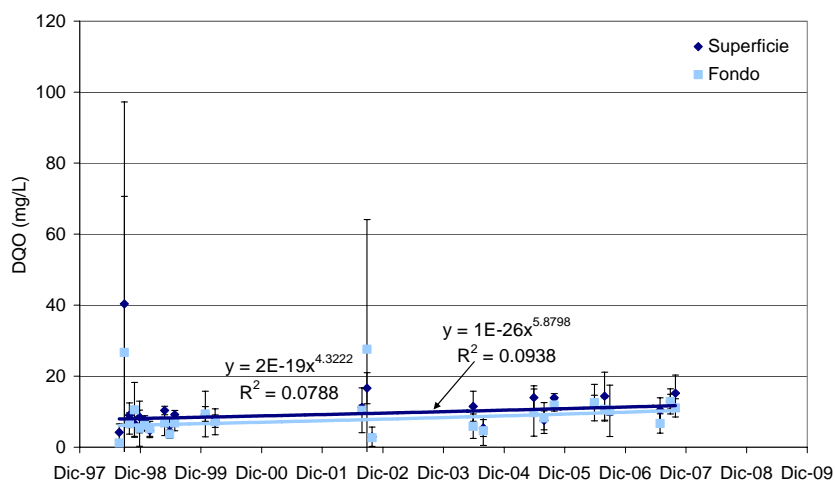
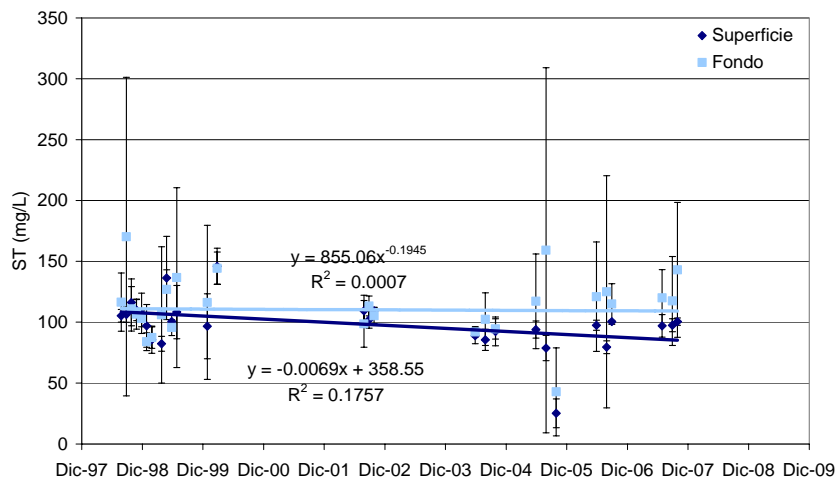
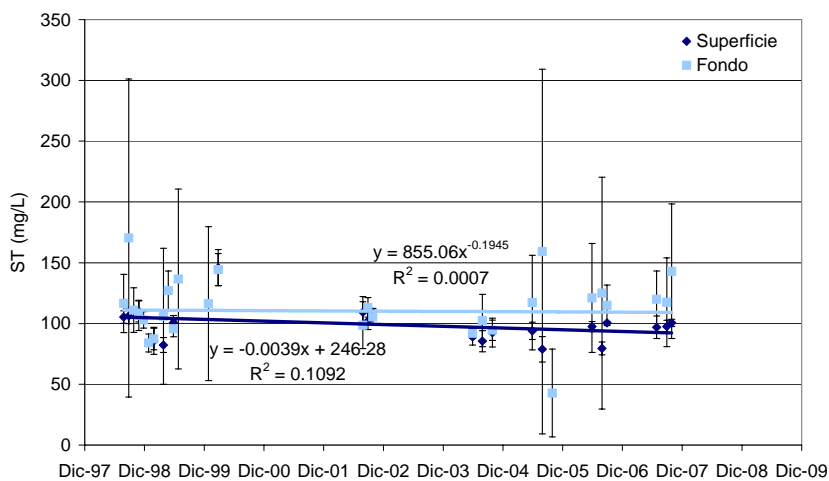


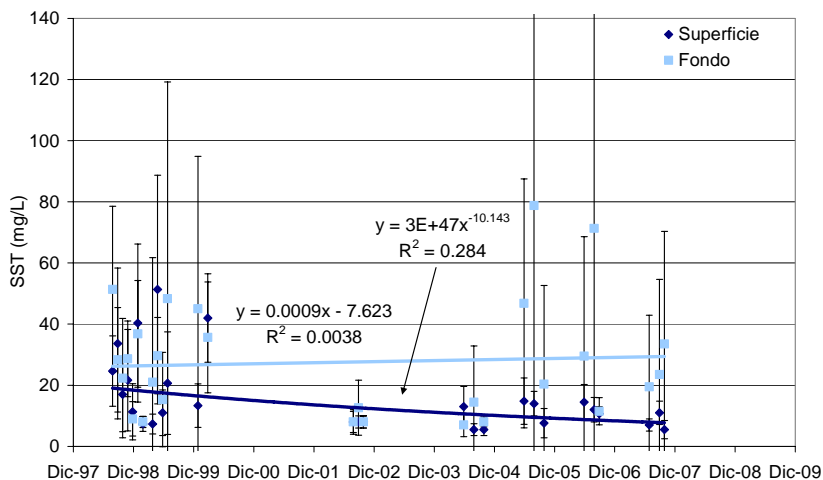
Figura 135. Demanda química de oxígeno en función del tiempo



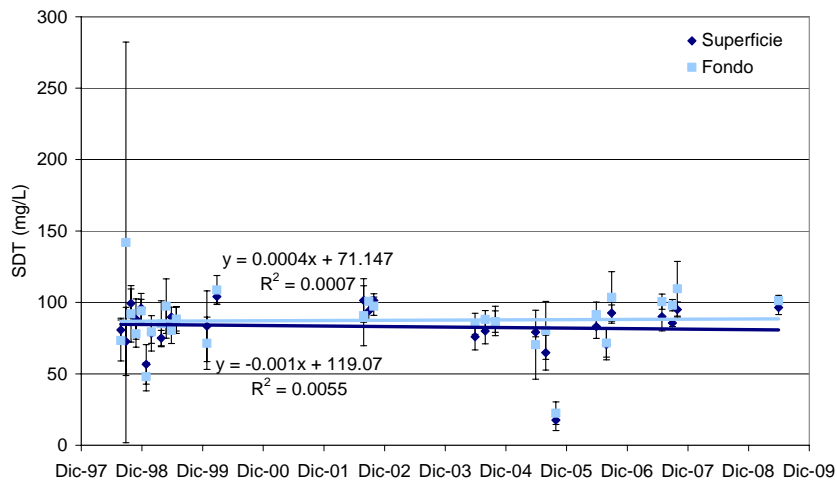
**Figura 136. Sólidos totales en función del tiempo**



**Figura 137. Sólidos totales en función del tiempo (CV<0.15)**



**Figura 138. Sólidos suspendidos totales en función del tiempo**



**Figura 139. Sólidos disueltos totales en función del tiempo**



**CONAGUA**

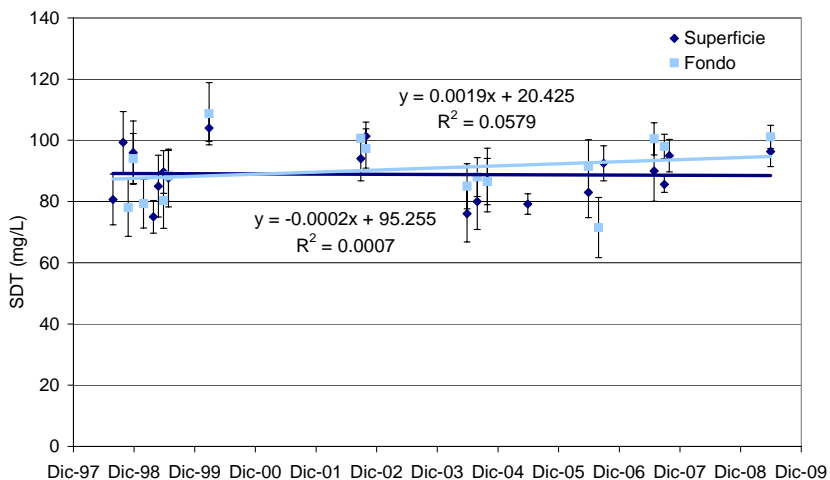
Comisión Nacional del Agua

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. Dirección Técnica.

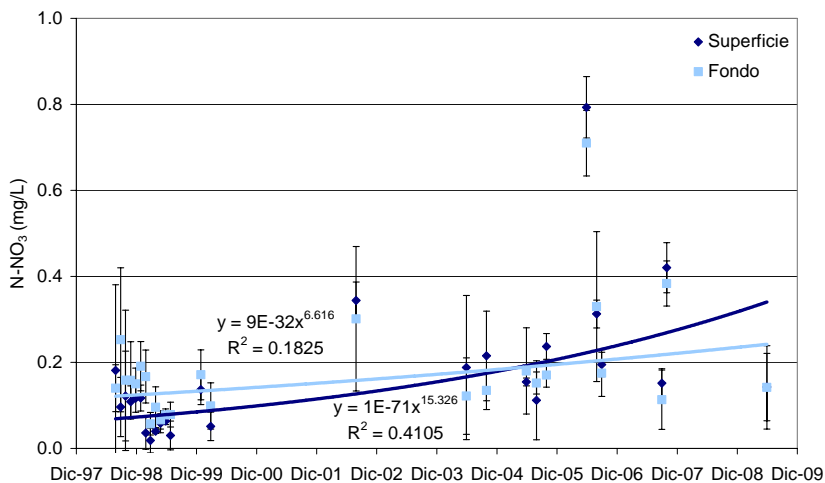


SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

SEMARNAT



**Figura 140. Sólidos disueltos totales en función del tiempo (CV<0.15)**



**Figura 141. Nitrógeno como nitratos en agua en función del tiempo**



**CONAGUA**

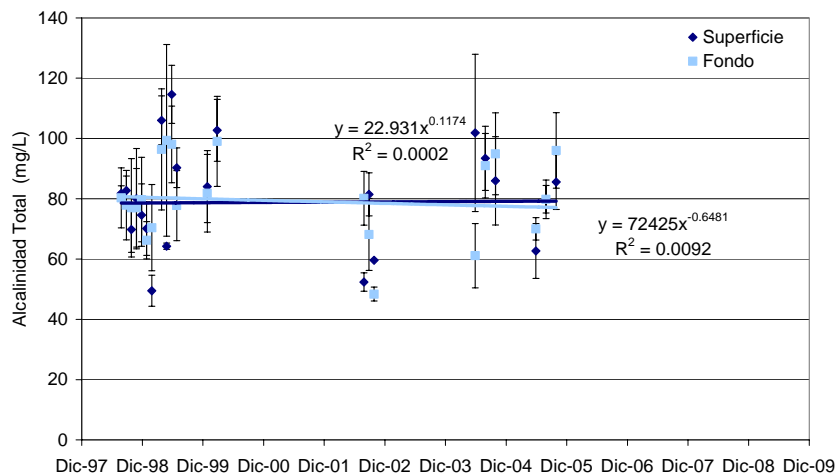
Comisión Nacional del Agua

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. Dirección Técnica.

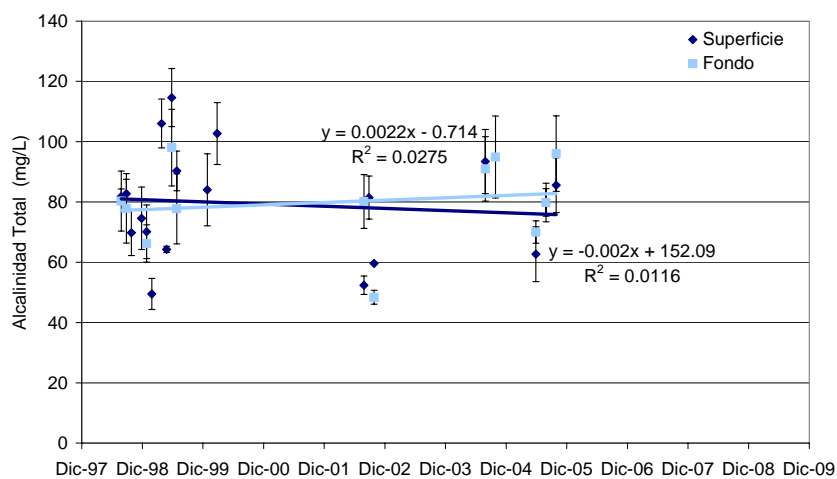


SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

SEMARNAT



**Figura 142. Alcalinidad total en función del tiempo**



**Figura 143. Alcalinidad total en función del tiempo (CV<0.15)**





**CONAGUA**

Comisión Nacional del Agua

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. Dirección Técnica.



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

SEMARNAT

## **Anexo 3. Carga interna de nutrientes y minerales y generación de CO<sub>2</sub> en sedimentos**



**Tabla 55. Carga interna de nutrientes y minerales. Zonas someras (0-3 m)**

| Eh (mV)   | NT<br>(mg/m <sup>2</sup> ) | N-NH <sub>4</sub><br>(mg/m <sup>2</sup> ) | N-NO <sub>3</sub><br>(mg/m <sup>2</sup> ) | P <sub>T</sub><br>(mg/m <sup>2</sup> ) | PO <sub>4</sub><br>(mg/m <sup>2</sup> ) | Fe<br>(mg/m <sup>2</sup> ) | Mn<br>(mg/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|----------------------------|---|---|--|---|----------------------------|----------------------------|
| -169.0±12 | 1031.1±102                 | 841.2±38                                  | 90.5±26                                   | 46.1±50                                | 140.2±147                               | 2787.7±3502                | 258.7±69                   |
| -98.0±2   | 1573.8±205                 | 832.1±26                                  | 379.9±333                                 | 22.6±9                                 | 74.2±28                                 | 2643.9±3363                | 219.8±65                   |
| -50.4±5   | 1582.9±473                 | 768.8±243                                 | 578.9±409                                 | 20.8±9                                 | 62.4±37                                 | 2438.5±3198                | 109.4±17                   |
| -0.5±3    | 2053.2±243                 | 823.1±166                                 | 1031.1±486                                | 19.9±10                                | 58.8±32                                 | 2287.5±3069                | 68.7±18                    |
| 52.9±1    | 2053.2±243                 | 651.2±460                                 | 1347.7±192                                | 17.2±4                                 | 72.4±26                                 | 2126.5±2815                | 31.7±14                    |
| 104.6±1   | 2152.7±205                 | 470.3±77                                  | 1492.4±217                                | 19.0±1                                 | 81.4±38                                 | 1239.2±1650                | 25.3±5                     |
| 154.9±2   | 2008.0±77                  | 352.8±192                                 | 1582.9±243                                | 17.2±1                                 | 54.3±0                                  | 976.9±1279                 | 38.0±28                    |
| 208.6±2   | 2396.9±576                 | 162.8±153                                 | 2170.8±333                                | 13.6±1                                 | 45.2±13                                 | 966.0±1307                 | 28.9±0                     |
| 251.0±3   | 2216.0±192                 | 54.3±0                                    | 2125.6±243                                | 10.9±0                                 | 36.2±0                                  | 51.6±1                     | 27.3±20                    |
| 299.5±8   | 2225.1±256                 | 54.3±0                                    | 2026.1±205                                | 11.8±1                                 | 36.2±0                                  | 51.6±4                     | 36.2±15                    |
| 356.8±2   | 2297.4±307                 | 54.3±0                                    | 2089.4±269                                | 12.7±0                                 | 36.2±0                                  | 47.0±0                     | 48.8±14                    |
| 404.7±5   | 2324.6±13                  | 54.3±0                                    | 2125.6±90                                 | 12.7±0                                 | 36.2±0                                  | 66.9±23                    | 40.3±3                     |
| 448.6     | 2387.9                     | 54.3                                      | 2261.3                                    | 12.7                                   | 36.2                                    | 56.1                       | 28.9                       |

**Tabla 56. Carga interna de nutrientes y minerales. Zonas intermedias (3-13.5 m)**

| Eh (mV) | N <sub>T</sub><br>(mg/m <sup>2</sup> ) | N-NH <sub>4</sub><br>(mg/m <sup>2</sup> ) | N-NO <sub>3</sub><br>(mg/m <sup>2</sup> ) | PT<br>(mg/m <sup>2</sup> ) | PO <sub>4</sub><br>(mg/m <sup>2</sup> ) | Fe<br>(mg/m <sup>2</sup> ) | Mn<br>(mg/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--|---|---|----------------------------|---|----------------------------|----------------------------|
| -165.1  | 1881.4                                 | 1831.6                                    | 49.7                                      | 195.4                      | 597.0                                   | 6946.6                     | 890.0                      |
| -147.4  | 2496.4                                 | 1356.8                                    | 1067.3                                    | 132.1                      | 416.1                                   | 6373.1                     | 691.0                      |
| -102.8  | 2858.2                                 | 1492.4                                    | 1004.0                                    | 97.7                       | 289.4                                   | 4160.7                     | 383.5                      |
| -55.0   | 3382.8                                 | 1501.5                                    | 1827.1                                    | 23.5                       | 72.4                                    | 3681.3                     | 506.5                      |
| 3.4     | 4233.1                                 | 1302.5                                    | 2840.1                                    | 41.6                       | 126.6                                   | 2948.7                     | 325.6                      |
| 50.9    | 4251.2                                 | 1126.1                                    | 2799.4                                    | 9.0                        | 36.2                                    | 3346.7                     | 636.8                      |
| 102.4   | 3853.2                                 | 1099.0                                    | 2392.4                                    | 18.1                       | 54.3                                    | 2713.5                     | 571.6                      |
| 155.2   | 5535.5                                 | 958.8                                     | 4251.2                                    | 10.9                       | 36.2                                    | 1971.8                     | 463.1                      |
| 198.5   | 6241.1                                 | 343.7                                     | 5879.3                                    | 10.9                       | 36.2                                    | 226.1                      | 455.9                      |
| 250.6   | 7145.6                                 | 307.5                                     | 6440.0                                    | 12.7                       | 36.2                                    | 271.4                      | 434.2                      |
| 303.4   | 7127.5                                 | 289.4                                     | 6458.1                                    | 12.7                       | 36.2                                    | 258.7                      | 426.9                      |
| 355.6   | 7091.3                                 | 180.9                                     | 6530.5                                    | 12.7                       | 36.2                                    | 213.5                      | 416.1                      |
| 397.2   | 7037.0                                 | 235.2                                     | 6403.9                                    | 10.9                       | 36.2                                    | 220.7                      | 434.2                      |

**Tabla 57. Carga interna de nutrientes y minerales. Zonas profundas (> 13.5 m)**

| Eh (mV) | N <sub>T</sub><br>(mg/m <sup>2</sup> ) | N-NH <sub>4</sub><br>(mg/m <sup>2</sup> ) | N-NO <sub>3</sub><br>(mg/m <sup>2</sup> ) | PT<br>(mg/m <sup>2</sup> ) | PO <sub>4</sub><br>(mg/m <sup>2</sup> ) | Fe<br>(mg/m <sup>2</sup> ) | Mn<br>(mg/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--|---|---|----------------------------|---|----------------------------|----------------------------|
| -170.7  | 1139.7                                 | 1049.2                                    | 54.3                                      | 146.5                      | 452.3                                   | 7742.5                     | 1432.7                     |
| -149.2  | 2333.6                                 | 1049.2                                    | 1230.1                                    | 139.3                      | 434.2                                   | 6928.5                     | 904.5                      |
| -101.0  | 2894.4                                 | 832.1                                     | 1917.5                                    | 114.0                      | 343.7                                   | 6313.4                     | 636.8                      |
| -58.5   | 3545.6                                 | 759.8                                     | 2207.0                                    | 59.7                       | 180.9                                   | 4395.9                     | 513.8                      |
| -4.1    | 4323.5                                 | 615.1                                     | 3509.5                                    | 23.5                       | 72.4                                    | 2758.7                     | 231.6                      |
| 58.5    | 4522.5                                 | 506.5                                     | 3581.8                                    | 14.5                       | 36.2                                    | 2984.9                     | 839.4                      |
| 102.4   | 4703.4                                 | 452.3                                     | 4070.3                                    | 10.9                       | 36.2                                    | 2170.8                     | 644.0                      |
| 159.5   | 5137.6                                 | 452.3                                     | 4251.2                                    | 14.5                       | 36.2                                    | 2984.9                     | 275.0                      |
| 203.3   | 6241.1                                 | 470.3                                     | 5680.3                                    | 18.1                       | 54.3                                    | 2351.7                     | 311.1                      |
| 250.5   | 6729.5                                 | 379.9                                     | 6241.1                                    | 19.9                       | 72.4                                    | 1112.5                     | 341.9                      |
| 304.2   | 6747.6                                 | 325.6                                     | 6313.4                                    | 21.7                       | 72.4                                    | 1067.3                     | 314.8                      |
| 353.3   | 6711.4                                 | 271.4                                     | 6385.8                                    | 21.7                       | 72.4                                    | 1013.0                     | 302.1                      |
| 394.9   | 6856.1                                 | 271.4                                     | 6584.8                                    | 21.7                       | 72.4                                    | 915.4                      | 313.0                      |
| 394.9   | 6838.0                                 | 271.4                                     | 6602.9                                    | 21.7                       | 72.4                                    | 904.5                      | 311.1                      |

**Tabla 58. Generación de CO<sub>2</sub> en sedimentos de zonas someras (0-3 m)**

| tiempo (d) | T (°C) | CE (mS/cm) | Volumen de la solución de Ba(OH) <sub>2</sub> (L) | Factor de ajuste de conductividad a temperatura $T_x$ (mS/cm mM) | Conductividad del agua de la solución de Ba(OH) <sub>2</sub> a temperatura $T_x$ (mS/cm) | Evaluación de CO <sub>2</sub> (mmol) | CO <sub>2</sub> acumulado (mmol) |
|------------|--------|------------|---|--|--|--------------------------------------|----------------------------------|
| 0          | 24.5   | 2.49       | 2   | 0.391  | 0.0126   |                                      |                                  |
| 1          | 24.5   | 2.47       | 2   | 0.391  | 0.0126   | 0.102                                | 0.10                             |
| 2          | 24.6   | 2.42       | 2   | 0.392  | 0.0126   | 0.277                                | 0.38                             |
| 3          | 18.2   | 2.32       | 2   | 0.349  | 0.0113   | -0.917                               | -0.54                            |
| 4          | 24.6   | 1.97       | 2   | 0.392  | 0.0126   | 3.215                                | 2.68                             |
| 5          | 23.0   | 1.53       | 2   | 0.381  | 0.0123   | 2.032                                | 4.71                             |
| 6          | 22.5   | 1.47       | 2   | 0.378  | 0.0122   | 0.248                                | 4.96                             |
| 7          | 22.9   | 1.47       | 2   | 0.380  | 0.0123   | 0.054                                | 5.01                             |
| 8          | 23.4   | 1.45       | 2   | 0.384  | 0.0124   | 0.171                                | 5.18                             |
| 9          | 24.9   | 1.46       | 2   | 0.394  | 0.0127   | 0.139                                | 5.32                             |
| 10         | 24.2   | 1.53       | 2   | 0.389  | 0.0125   | -0.448                               | 4.87                             |
| 11         | 23.3   | 1.54       | 2   | 0.383  | 0.0124   | -0.174                               | 4.70                             |
| 13         | 24.6   | 1.40       | 2   | 0.392  | 0.0126   | 0.891                                | 5.59                             |
| 13         | 22.1   | 1.46       | 2   | 0.375  | 0.0121   | -0.633                               | 4.96                             |
| 14         | 24.0   | 1.54       | 2   | 0.388  | 0.0125   | -0.162                               | 4.79                             |
| 17         | 26.5   | 1.05       | 2   | 0.404  | 0.0130   | 2.749                                | 7.54                             |
| 17         | 25.6   | 1.44       | 2   | 0.398  | 0.0128   | -2.036                               | 5.51                             |
| 18         | 23.4   | 1.38       | 2   | 0.384  | 0.0124   | 0.040                                | 5.55                             |
| 18         | 22.7   | 1.37       | 2   | 0.379  | 0.0122   | -0.035                               | 5.51                             |
| 19         | 26.1   | 1.25       | 2   | 0.401  | 0.0129   | 1.000                                | 6.51                             |
| 20         | 26.0   | 0.69       | 2   | 0.401  | 0.0129   | 2.784                                | 9.30                             |
| 21         | 27.3   | 0.22       | 2   | 0.409  | 0.0132   | 2.368                                | 11.66                            |
| 22         | 26.9   | -0.69      | 2   | 0.407  | 0.0131   | 4.468                                | 16.13                            |
| 24         | 27.8   | 0.49       | 2   | 0.413  | 0.0133   | -5.768                               | 10.36                            |
| 25         | 27.2   | 0.38       | 2   | 0.409  | 0.0131   | 0.515                                | 10.88                            |
| 26         | 27.8   | 0.02       | 2   | 0.413  | 0.0133   | 1.763                                | 12.64                            |
| 27         | 27.6   | 0.45       | 2   | 0.411  | 0.0132   | -2.091                               | 10.55                            |
| 28         | 28.9   | 0.37       | 2   | 0.420  | 0.0135   | 0.426                                | 10.98                            |
| 29         | 27.6   | 0.00       | 2   | 0.411  | 0.0132   | 1.763                                | 12.74                            |
| 30         | 26.3   | 0.43       | 2   | 0.403  | 0.0130   | -2.135                               | 10.60                            |
| 31         | 26.4   | 0.12       | 2   | 0.403  | 0.0130   | 1.540                                | 12.14                            |
| 32         | 28.8   | 0.10       | 2   | 0.419  | 0.0135   | 0.118                                | 12.26                            |
| 33         | 28.7   | -0.29      | 2   | 0.419  | 0.0134   | 1.863                                | 14.13                            |
| 34         | 28.2   | -0.26      | 2   | 0.415  | 0.0133   | -0.133                               | 13.99                            |
| 37         | 26.0   | -0.23      | 2   | 0.401  | 0.0129   | -0.104                               | 13.89                            |
| 38         | 28.2   | -0.46      | 2   | 0.415  | 0.0133   | 1.068                                | 14.95                            |



| tiempo (d) | T (°C) | CE (mS/cm) | Volumen de la solución de Ba(OH) <sub>2</sub> (L) | Factor de ajuste de conductividad a temperatura $T_x$ (mS/cm mM) | Conductividad del agua de la solución de Ba(OH) <sub>2</sub> a temperatura $T_x$ (mS/cm) | Evaluación de CO <sub>2</sub> (mmol) | CO <sub>2</sub> acumulado (mmol) |
|------------|--------|------------|---|--|--|--------------------------------------|----------------------------------|
| 39         | 28.1   | -0.42      | 2   | 0.415  | 0.0133   | -0.189                               | 14.77                            |
| 40         | 25.9   | -0.25      | 2   | 0.400  | 0.0129   | -0.776                               | 13.99                            |
| 41         | 27.8   | -0.93      | 2   | 0.413  | 0.0133   | 3.258                                | 17.25                            |
| 42         | 28.4   | -0.09      | 2   | 0.417  | 0.0134   | -4.076                               | 13.17                            |
| 43         | 28.5   | -0.10      | 2   | 0.417  | 0.0134   | 0.047                                | 13.22                            |
| 44         | 24.4   | -0.01      | 2   | 0.390  | 0.0126   | -0.428                               | 12.79                            |
| 45         | 28.6   | -2.14      | 2   | 0.418  | 0.0134   | 10.190                               | 22.98                            |
| 46         | 29.8   | -0.02      | 2   | 0.426  | 0.0137   | -10.148                              | 12.83                            |
| 47         | 27.6   | -0.31      | 2   | 0.411  | 0.0132   | 1.414                                | 14.25                            |
| 48         | 30.3   | -0.02      | 2   | 0.429  | 0.0138   | -1.414                               | 12.83                            |
| 49         | 29.1   | -0.04      | 2   | 0.421  | 0.0135   | 0.097                                | 12.93                            |
| 50         | 26.4   | -0.47      | 2   | 0.403  | 0.0130   | 2.140                                | 15.07                            |
| 51         | 24.9   | 0.04       | 2   | 0.394  | 0.0127   | -2.533                               | 12.54                            |
| 52         | 28.2   | -0.34      | 2   | 0.415  | 0.0133   | 1.841                                | 14.38                            |
| 53         | 28.3   | 0.03       | 2   | 0.416  | 0.0134   | -1.782                               | 12.60                            |
| 54         | 26.1   | 0.07       | 2   | 0.401  | 0.0129   | -0.204                               | 12.39                            |
| 55         | 28.8   | -0.03      | 2   | 0.419  | 0.0135   | 0.492                                | 12.88                            |
| 56         | 29.4   | -0.01      | 2   | 0.423  | 0.0136   | -0.096                               | 12.79                            |
| 57         | 29.2   | -0.01      | 2   | 0.422  | 0.0135   | 0.000                                | 12.79                            |
| 58         | 29.7   | -0.09      | 2   | 0.425  | 0.0136   | 0.376                                | 13.16                            |
| 59         | 29.0   | -0.09      | 2   | 0.421  | 0.0135   | 0.005                                | 13.17                            |
| 60         | 27.4   | -0.40      | 2   | 0.410  | 0.0132   | 1.523                                | 14.69                            |
| 61         | 29.4   | -0.12      | 2   | 0.423  | 0.0136   | -1.384                               | 13.31                            |
| 62         | 28.4   | -0.14      | 2   | 0.417  | 0.0134   | 0.105                                | 13.41                            |
| 62         | 27.1   | -0.03      | 2   | 0.408  | 0.0131   | -0.525                               | 12.89                            |

**Tabla 59. Generación de CO<sub>2</sub> en sedimentos de zonas profundas (>13.5 m)**

| tiempo (d) | T (°C) | CE (mS/cm) | Volumen de la solución de Ba(OH) <sub>2</sub> (L) | Factor de ajuste de conductividad a temperatura T <sub>x</sub> (mS/cm mM) | Conductividad del agua de la solución de Ba(OH) <sub>2</sub> a temperatura T <sub>x</sub> (mS/cm) | Evaluación de CO <sub>2</sub> (mmol) | CO <sub>2</sub> Acumulado (mmol) |
|------------|--------|------------|---|---|---|--------------------------------------|----------------------------------|
| 0          | 24.5   | 2.61       | 1   | 0.391   | 0.0126  |                                      |                                  |
| 1          | 24.5   | 2.60       | 1   | 0.391   | 0.0126  | 0.026                                | 0.03                             |
| 2          | 24.6   | 2.59       | 1   | 0.392   | 0.0126  | 0.037                                | 0.06                             |
| 3          | 18.2   | 2.57       | 1   | 0.349   | 0.0113  | -0.740                               | -0.68                            |
| 4          | 24.6   | 2.22       | 1   | 0.392   | 0.0126  | 1.685                                | 1.01                             |
| 5          | 23.0   | 2.03       | 1   | 0.381   | 0.0123  | 0.342                                | 1.35                             |
| 6          | 22.5   | 2.02       | 1   | 0.378   | 0.0122  | -0.020                               | 1.33                             |
| 7          | 22.9   | 1.76       | 1   | 0.380   | 0.0123  | 0.721                                | 2.05                             |
| 8          | 23.4   | 1.63       | 1   | 0.384   | 0.0124  | 0.378                                | 2.43                             |
| 9          | 24.9   | 1.62       | 1   | 0.394   | 0.0127  | 0.132                                | 2.56                             |
| 10         | 24.2   | 0.88       | 1   | 0.389   | 0.0125  | 1.854                                | 4.41                             |
| 11         | 23.3   | 0.86       | 1   | 0.383   | 0.0124  | 0.017                                | 4.43                             |
| 13         | 24.6   | 0.82       | 1   | 0.392   | 0.0126  | 0.151                                | 4.58                             |
| 13         | 22.1   | 0.83       | 1   | 0.375   | 0.0121  | -0.118                               | 4.46                             |
| 14         | 24.0   | 0.82       | 1   | 0.388   | 0.0125  | 0.097                                | 4.56                             |
| 17         | 26.5   | 0.71       | 1   | 0.404   | 0.0130  | 0.358                                | 4.92                             |
| 17         | 25.2   | 0.79       | 1   | 0.396   | 0.0127  | -0.240                               | 4.68                             |
| 18         | 22.7   | 0.76       | 1   | 0.379   | 0.0122  | -0.007                               | 4.67                             |
| 19         | 26.0   | 0.72       | 1   | 0.401   | 0.0129  | 0.208                                | 4.88                             |
| 20         | 26.0   | 0.70       | 1   | 0.401   | 0.0129  | 0.050                                | 4.93                             |
| 21         | 27.3   | 0.64       | 1   | 0.409   | 0.0132  | 0.183                                | 5.11                             |
| 22         | 26.9   | 0.63       | 1   | 0.407   | 0.0131  | 0.014                                | 5.13                             |
| 23         | 26.0   | 0.62       | 1   | 0.401   | 0.0129  | 0.002                                | 5.13                             |
| 24         | 27.8   | 0.47       | 1   | 0.413   | 0.0133  | 0.408                                | 5.54                             |
| 25         | 27.2   | 0.46       | 1   | 0.409   | 0.0131  | 0.013                                | 5.55                             |
| 26         | 27.8   | 0.45       | 1   | 0.413   | 0.0133  | 0.035                                | 5.59                             |
| 27         | 27.6   | 0.28       | 1   | 0.411   | 0.0132  | 0.410                                | 6.00                             |
| 28         | 28.9   | 0.26       | 1   | 0.420   | 0.0135  | 0.061                                | 6.06                             |
| 29         | 27.6   | 0.25       | 1   | 0.411   | 0.0132  | 0.011                                | 6.07                             |
| 30         | 26.3   | 0.25       | 1   | 0.403   | 0.0130  | -0.013                               | 6.06                             |
| 31         | 26.4   | 0.25       | 1   | 0.403   | 0.0130  | 0.001                                | 6.06                             |
| 32         | 28.8   | 0.27       | 1   | 0.419   | 0.0135  | -0.024                               | 6.03                             |
| 33         | 28.7   | 0.28       | 1   | 0.419   | 0.0134  | -0.025                               | 6.01                             |
| 34         | 28.2   | 0.30       | 1   | 0.415   | 0.0133  | -0.053                               | 5.95                             |
| 35         | 27.8   | 0.31       | 1   | 0.413   | 0.0133  | -0.029                               | 5.93                             |



| tiempo (d) | T (°C) | CE (mS/cm) | Volumen de la solución de Ba(OH) <sub>2</sub> (L) | Factor de ajuste de conductividad a temperatura $T_x$ (mS/cm mM) | Conductividad del agua de la solución de Ba(OH) <sub>2</sub> a temperatura $T_x$ (mS/cm) | Evaluación de CO <sub>2</sub> (mmol) | CO <sub>2</sub> Acumulado (mmol) |
|------------|--------|------------|---|--|--|--------------------------------------|----------------------------------|
| 36         | 28.1   | 0.32       | 1   | 0.415  | 0.0133   | -0.021                               | 5.90                             |
| 38         | 26.0   | 0.31       | 1   | 0.401  | 0.0129   | 0.023                                | 5.93                             |
| 39         | 28.2   | 0.31       | 1   | 0.415  | 0.0133   | 0.002                                | 5.93                             |
| 40         | 28.1   | 0.31       | 1   | 0.415  | 0.0133   | -0.001                               | 5.93                             |
| 41         | 25.9   | 0.31       | 1   | 0.400  | 0.0129   | -0.027                               | 5.90                             |
| 42         | 27.8   | 0.30       | 1   | 0.413  | 0.0133   | 0.023                                | 5.93                             |
| 43         | 28.4   | 0.30       | 1   | 0.417  | 0.0134   | 0.031                                | 5.96                             |
| 44         | 28.5   | 0.30       | 1   | 0.417  | 0.0134   | 0.001                                | 5.96                             |
| 45         | 24.4   | 0.30       | 1   | 0.390  | 0.0126   | -0.050                               | 5.91                             |
| 46         | 28.6   | 0.30       | 1   | 0.418  | 0.0134   | 0.051                                | 5.96                             |
| 47         | 29.8   | 0.29       | 1   | 0.426  | 0.0137   | 0.013                                | 5.97                             |
| 48         | 27.6   | 0.28       | 1   | 0.411  | 0.0132   | 0.000                                | 5.97                             |
| 49         | 30.3   | 0.28       | 1   | 0.429  | 0.0138   | 0.052                                | 6.02                             |
| 50         | 29.1   | 0.28       | 1   | 0.421  | 0.0135   | -0.012                               | 6.01                             |
| 51         | 26.4   | 0.28       | 1   | 0.403  | 0.0130   | -0.029                               | 5.98                             |
| 52         | 24.9   | 0.28       | 1   | 0.394  | 0.0127   | -0.017                               | 5.97                             |
| 53         | 28.2   | 0.28       | 1   | 0.415  | 0.0133   | 0.037                                | 6.00                             |
| 54         | 28.3   | 0.28       | 1   | 0.416  | 0.0134   | 0.001                                | 6.00                             |
| 55         | 26.1   | 0.28       | 1   | 0.401  | 0.0129   | -0.024                               | 5.98                             |
| 56         | 28.8   | 0.27       | 1   | 0.419  | 0.0135   | 0.029                                | 6.01                             |
| 57         | 29.4   | 0.28       | 1   | 0.423  | 0.0136   | 0.030                                | 6.04                             |
| 58         | 29.2   | 0.28       | 1   | 0.422  | 0.0135   | -0.026                               | 6.01                             |
| 59         | 29.7   | 0.28       | 1   | 0.425  | 0.0136   | 0.005                                | 6.02                             |
| 60         | 29.0   | 0.28       | 1   | 0.421  | 0.0135   | -0.007                               | 6.01                             |
| 61         | 27.4   | 0.29       | 1   | 0.410  | 0.0132   | -0.017                               | 5.99                             |
| 62         | 29.4   | 0.29       | 1   | 0.423  | 0.0136   | -0.002                               | 5.99                             |
| 62         | 28.4   | 0.29       | 1   | 0.417  | 0.0134   | -0.011                               | 5.98                             |



**CONAGUA**

Comisión Nacional del Agua

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. Dirección Técnica.



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

SEMARNAT

## **Anexo 4. Habitantes por localidad y aportación de contaminantes por tipo de descarga en la cuenca de la presa Valle de Bravo**



| Subcuenca              | Municipio                      | Localidad                                    | Longitud   | Latitud   | Habitantes    |
|------------------------|--------------------------------|--|------------|-----------|---------------|
| Río Amanalco           | Amanalco                       | Ojo de Agua                                  | 99°58'50"  | 19°13'27" | 37            |
|                        | Amanalco                       | Capilla Vieja                                | 99°59'57"  | 19°13'30" | 196           |
|                        | Valle de Bravo                 | La Candelaria                                | 100°05'11" | 19°13'36" | 419           |
|                        | Amanalco                       | San Jerónimo                                 | 100°01'23" | 19°14'01" | 1 811         |
|                        | Amanalco                       | Polvillos (San Bartolo Quinta Sección)       | 100°04'54" | 19°14'00" | 1 163         |
|                        | Amanalco                       | Hacienda Nueva                               | 99°57'08"  | 19°14'12" | 76            |
|                        | Valle de Bravo                 | Santa María Pipioltepec (Pipioltepec)        | 100°05'50" | 19°14'26" | 1 262         |
|                        | Donato Guerra                  | San Francisco Mihualtepec                    | 100°05'47" | 19°14'36" | 2 312         |
|                        | Amanalco                       | El Zacatonal                                 | 99°57'45"  | 19°14'45" | 94            |
|                        | Amanalco                       | San Bartolo                                  | 100°03'20" | 19°14'53" | 2 321         |
|                        | Amanalco                       | San Juan                                     | 100°02'09" | 19°14'55" | 2 341         |
|                        | Amanalco                       | Amanalco de Becerra                          | 100°01'11" | 19°15'07" | 1 050         |
|                        | Amanalco                       | San Jerónimo Primera Sección (El Convento)   | 100°00'52" | 19°15'08" | 256           |
|                        | Donato Guerra                  | San Miguel Xooltepec                         | 100°05'05" | 19°15'14" | 1 626         |
|                        | Valle de Bravo                 | San Gabriel Ixtla                            | 100°07'22" | 19°15'25" | 927           |
|                        | Amanalco                       | Huacal Viejo                                 | 99°55'54"  | 19°15'29" | 185           |
|                        | Amanalco                       | San Lucas Cuarta Sección (San Francisco)     | 99°58'59"  | 19°15'29" | 231           |
|                        | Amanalco                       | San Lucas                                    | 99°59'49"  | 19°15'40" | 1 014         |
|                        | Amanalco                       | El Pedregal                                  | 99°58'12"  | 19°15'47" | 258           |
|                        | Amanalco                       | San Miguel (San Miguel Tenextepec)           | 100°01'58" | 19°15'49" | 881           |
|                        | Donato Guerra                  | Nueva Colonia Tres Puentes                   | 100°06'32" | 19°15'52" | 215           |
|                        | Amanalco                       | San Sebastián el Chico                       | 100°01'19" | 19°16'00" | 476           |
|                        | Amanalco                       | Agua Bendita                                 | 99°56'42"  | 19°16'24" | 601           |
|                        | Amanalco                       | Rincón de Guadalupe                          | 99°59'42"  | 19°16'26" | 1 020         |
|                        | Amanalco                       | San Mateo                                    | 100°00'57" | 19°16'49" | 1 647         |
|                        | Amanalco                       | El Capulín Tercera Sección (Palo Mancornado) | 99°55'18"  | 19°17'05" | 479           |
|                        | Amanalco                       | Pueblo Nuevo                                 | 100°01'46" | 19°17'24" | 688           |
|                        | Amanalco                       | El Capulín Segunda Sección                   | 99°56'36"  | 19°17'30" | 280           |
|                        | Amanalco                       | El Capulín Primera Sección                   | 99°57'31"  | 19°18'12" | 575           |
|                        | Amanalco                       | El Potrero                                   | 99°59'35"  | 19°18'22" | 1 160         |
| Villa de Allende       | Sabana Taborda Primera Sección | 100°00'11"                                   | 19°19'51"  | 778       |               |
| <b>Total Subcuenca</b> |                                |  |            |           | <b>26 379</b> |

| Subcuenca              | Municipio        | Localidad                         | Longitud   | Latitud   | Habitantes   |
|------------------------|------------------|-----------------------------------|------------|-----------|--------------|
| Río Molino             | Valle de Bravo   | Tierra Grande (La Loma)           | 100°03'16" | 19°07'26" | 175          |
|                        | Valle de Bravo   | La Laguna                         | 100°02'45" | 19°07'35" | 90           |
|                        | Valle de Bravo   | Cuadrilla de Dolores              | 100°04'05" | 19°07'47" | 885          |
|                        | Valle de Bravo   | Santo Tomás el Pedregal           | 100°02'18" | 19°08'06" | 203          |
|                        | Valle de Bravo   | El Fresno (El Fresno la Compañía) | 100°04'14" | 19°08'54" | 487          |
|                        | Valle de Bravo   | Rancho Avándaro Country Club      | 100°03'11" | 19°09'08" | 13           |
|                        | Valle de Bravo   | San Ramón                         | 100°01'40" | 19°09'12" | 53           |
|                        | Valle de Bravo   | La Compañía (Tres Espigas)        | 100°03'52" | 19°09'25" | 11           |
|                        | Valle de Bravo   | Tenantongo                        | 100°03'08" | 19°09'28" | 328          |
|                        | Valle de Bravo   | La Compañía (Cerro Colorado)      | 100°04'46" | 19°09'54" | 902          |
|                        | Valle de Bravo   | Los Saucos                        | 99°59'52"  | 19°09'57" | 1 092        |
|                        | Valle de Bravo   | Las Ahujas                        | 100°01'16" | 19°10'00" | 32           |
|                        | Valle de Bravo   | La Palma                          | 100°03'11" | 19°10'05" | 179          |
|                        | Valle de Bravo   | Monte Alto                        | 100°06'50" | 19°10'28" | 525          |
|                        | Valle de Bravo   | Loma de Chihuahua                 | 100°06'10" | 19°10'33" | 238          |
|                        | Valle de Bravo   | San Simón el Alto                 | 100°02'26" | 19°10'36" | 258          |
|                        | Valle de Bravo   | El Trompillo                      | 100°01'20" | 19°10'50" | 128          |
|                        | Valle de Bravo   | Loma de Rodríguez                 | 100°05'26" | 19°10'59" | 117          |
|                        | Valle de Bravo   | Los Álamos                        | 100°03'50" | 19°11'05" | 34           |
|                        | Valle de Bravo   | San Mateo Acatitlán               | 100°05'45" | 19°11'13" | 607          |
|                        | Amanalco         | El Ancón                          | 100°01'17" | 19°11'24" | 134          |
|                        | Valle de Bravo   | El Castellano                     | 100°04'32" | 19°11'49" | 89           |
|                        | Valle de Bravo   | Santa Rosa                        | 100°05'01" | 19°12'03" | 30           |
| Amanalco               | El Temporal      | 100°02'55"                        | 19°12'13"  | 298       |              |
| Amanalco               | Corral de Piedra | 99°58'09"                         | 19°12'40"  | 251       |              |
| <b>Total Subcuenca</b> |                  |                                   |            |           | <b>7 159</b> |

| Subcuenca              | Municipio      | Localidad                      | Longitud   | Latitud   | Habitantes   |
|------------------------|----------------|--------------------------------|------------|-----------|--------------|
| Arroyo González        | Valle de Bravo | La Huerta San Agustín          | 100°06'16" | 19°07'22" | 128          |
|                        | Valle de Bravo | Barranca Fresca                | 100°07'05" | 19°07'54" | 42           |
|                        | Valle de Bravo | Cerro Gordo                    | 100°08'49" | 19°08'09" | 535          |
|                        | Valle de Bravo | La Mecedora                    | 100°06'25" | 19°08'10" | 23           |
|                        | Valle de Bravo | Escalerillas                   | 100°06'54" | 19°08'33" | 105          |
|                        | Valle de Bravo | Peña Blanca                    | 100°06'21" | 19°08'38" | 229          |
|                        | Valle de Bravo | Rancho Espinos                 | 100°08'01" | 19°08'39" | 30           |
|                        | Valle de Bravo | Colonia Valle Escondido        | 100°07'25" | 19°08'51" | 123          |
|                        | Valle de Bravo | Casas Viejas                   | 100°06'29" | 19°09'05" | 721          |
| <b>Total Subcuenca</b> |                |                                |            |           | <b>1 936</b> |
| Arroyo El Carrizal     | Valle de Bravo | Los Pozos (Pinar de Osorios)   | 100°10'23" | 19°05'55" | 31           |
|                        | Valle de Bravo | Agua Fría                      | 100°10'25" | 19°08'08" | 22           |
|                        | Valle de Bravo | Mata Redonda (Paso Hondo)      | 100°09'22" | 19°08'28" | 16           |
|                        | Valle de Bravo | El Aguacate (El Aserradero)    | 100°09'01" | 19°08'53" | 5            |
| <b>Total Subcuenca</b> |                |                                |            |           | <b>74</b>    |
| Arroyo Sta. Mónica     | Valle de Bravo | La Volanta                     | 100°04'54" | 19°09'07" | 203          |
|                        | Valle de Bravo | Mesa de Jaimes                 | 100°06'00" | 19°09'37" | 380          |
| <b>Total Subcuenca</b> |                |                                |            |           | <b>583</b>   |
| Arroyo las Flores      | Valle de Bravo | Rincón de Estradas             | 100°05'04" | 19°12'26" | 396          |
|                        | Valle de Bravo | Barrio de Guadalupe            | 100°06'57" | 19°12'26" | 579          |
|                        | Valle de Bravo | Los Tizates                    | 100°06'16" | 19°12'33" | 71           |
|                        | Valle de Bravo | Tres Puentes                   | 100°06'41" | 19°12'38" | 102          |
|                        | Valle de Bravo | Colonia Rincón Villa del Valle | 100°07'20" | 19°12'40" | 891          |
| <b>Total Subcuenca</b> |                |                                |            |           | <b>2 039</b> |

| Subcuenca              | Municipio        | Localidad                                    | Longitud   | Latitud   | Habitantes    |
|------------------------|------------------|--|------------|-----------|---------------|
| Laderas                | Valle de Bravo   | El Cerrillo (San José el Cerrillo)           | 100°10'12" | 19°10'42" | 371           |
|                        | Valle de Bravo   | Valle de Bravo                               | 100°07'50" | 19°11'33" | 40 701        |
|                        | Valle de Bravo   | La Boquilla (Cerro el Cualtenco la Boquilla) | 100°10'38" | 19°12'08" | 126           |
|                        | Valle de Bravo   | San Antonio                                  | 100°08'06" | 19°13'01" | 89            |
|                        | Valle de Bravo   | San Gaspar                                   | 100°08'39" | 19°13'31" | 844           |
|                        | Valle de Bravo   | El Arco                                      | 100°07'54" | 19°13'37" | 1 577         |
| <b>Total Subcuenca</b> |                  |  |            |           | <b>43 708</b> |
| Cerrada de San Simon   | Donato Guerra    | San Simón de la Laguna                       | 100°04'42" | 19°17'24" | 4527          |
|                        | Amanalco         | San Sebastián el Grande                      | 100°03'23" | 19°17'47" | 822           |
|                        | Donato Guerra    | San Antonio de la Laguna                     | 100°04'22" | 19°18'04" | 1743          |
|                        | Villa de Allende | Sabana Taborda Segunda Sección               | 100°01'03" | 19°18'16" | 236           |
|                        | Donato Guerra    | San Antonio Hidalgo (Rchría. de San Antonio) | 100°05'35" | 19°18'18" | 556           |
|                        | Amanalco         | Providencia (5a. Secc. San Mateo Amanalco)   | 100°02'21" | 19°18'51" | 144           |
|                        | Donato Guerra    | Ranchería de San Martín Obispo               | 100°06'04" | 19°19'00" | 855           |
|                        | Donato Guerra    | San Martín Obispo (San Martín San Pedro)     | 100°04'23" | 19°19'08" | 1291          |
|                        | Villa de Allende | Rancho Morelos                               | 100°03'15" | 19°19'13" | 57            |
|                        | Villa de Allende | Sabana de San Jerónimo                       | 100°01'32" | 19°19'30" | 481           |
|                        | Villa de Allende | Sabana de la Peña (La Peña)                  | 100°02'26" | 19°19'42" | 454           |
|                        | Villa de Allende | Cerro de Guadalupe                           | 100°03'24" | 19°19'50" | 127           |
|                        | Villa de Allende | Ejido la Sabana de San Jerónimo              | 100°03'57" | 19°20'09" | 341           |
|                        | Villa de Allende | Mesas de San Martín                          | 100°04'59" | 19°20'13" | 437           |
|                        | Villa Victoria   | Laguna Seca Propiedad                        | 99°59'44"  | 19°20'41" | 983           |
|                        | Villa de Allende | Ejido de San Martín                          | 100°03'21" | 19°20'55" | 350           |
|                        | Villa de Allende | Sabana del Madroño (El Madroño)              | 100°02'53" | 19°20'56" | 525           |
|                        | Villa de Allende | Sabana del Rosario (San Miguel)              | 100°03'39" | 19°21'32" | 1246          |
|                        | Villa de Allende | Sabana del Refugio                           | 100°02'30" | 19°21'57" | 250           |
|                        | Villa Victoria   | San Agustín Canohillas Segunda Sección       | 100°01'04" | 19°22'25" | 201           |
| <b>Total Subcuenca</b> |                  |  |            |           | <b>15 626</b> |
| <b>Total General</b>   |                  |  |            |           | <b>97 504</b> |

**Aportación de nitrógeno y fósforo por subcuenca y tipo de descarga en la cuenca de la presa Valle de Bravo (t/año)**

| Subcuenca          | Tipo de descarga                        |             |   |              |              |              |            |              |                |              |
|--------------------|---|-------------|---|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|----------------|--------------|
|                    | Plantas de tratamiento de agua residual |             | Agua residual municipal sin tratamiento |              | Pecuarias    |              | Trutícolas |              | Escurrimientos |              |
|                    | NT                                      | PT          | NT                                      | PT           | NT           | PT           | NT         | PT           | NT             | PT           |
| Río Amanalco       | 6.62                                    | 1.94        | 21.32                                   | 5.33         | 21.52        | 5.60         | SD         | 5.41         | 57.10          | 9.10         |
| Río Molino         | 0                                       | 0           | 13.29                                   | 3.32         | 56.76        | 40.81        | SD         | 3.59         | 32.40          | 3.55         |
| Arroyo González    | 0                                       | 0           | 3.74                                    | 0.93         | 4.31         | 1.12         | SD         | 0.05         | 8.88           | 0.95         |
| Arroyo El Carrizal | 0                                       | 0           | 0.14                                    | 0.04         | 3.83         | 1.00         | SD         | 0            | 1.34           | 0.11         |
| Arroyo Sta. Mónica | 0                                       | 0           | 1.13                                    | 0.28         | 1.44         | 0.37         | SD         | 0            | 3.17           | 0.30         |
| Arroyo Las Flores  | 0                                       | 0           | 3.94                                    | 0.98         | 1.92         | 0.50         | SD         | 0.84         | 5.56           | 0.64         |
| Laderas            | 0                                       | 0           | 32.39                                   | 8.10         | 2.18         | 0.57         | SD         | 0.29         | 4.72           | 0.57         |
| <b>Total</b>       | <b>6.62</b>                             | <b>1.94</b> | <b>75.95</b>                            | <b>18.98</b> | <b>91.96</b> | <b>49.97</b> | <b>SD</b>  | <b>10.18</b> | <b>113.17</b>  | <b>15.22</b> |

**Aportación de DBO y SST por subcuenca y tipo de descarga en la cuenca de la presa Valle de Bravo (t/año)**

| Subcuenca          | Tipo de descarga                        |             |   |               |               |               |               |               |                |                 |
|--------------------|---|-------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|
|                    | Plantas de tratamiento de agua residual |             | Agua residual municipal sin tratamiento |               | Pecuarias     |               | Trutícolas    |               | Escurrimientos |                 |
|                    | DBO                                     | SST         | DBO                                     | SST           | DBO           | SST           | DBO           | SST           | DBO            | SST             |
| Río Amanalco       | 2.37                                    | 4.73        | 106.58                                  | 106.58        | 107.64        | 258.34        | 87.05         | 274.55        | 260.81         | 5 230.74        |
| Río Molino         | 0                                       | 0           | 66.43                                   | 66.43         | 270.87        | 162.93        | 57.80         | 182.29        | 170.08         | 2 102.21        |
| Arroyo González    | 0                                       | 0           | 18.69                                   | 18.69         | 21.53         | 51.68         | 0.85          | 2.67          | 51.86          | 554.65          |
| Arroyo El Carrizal | 0                                       | 0           | 0.71                                    | 0.71          | 19.15         | 45.96         | 0             | 0             | 8.87           | 68.91           |
| Arroyo Sta. Mónica | 0                                       | 0           | 5.63                                    | 5.63          | 7.20          | 17.28         | 0             | 0             | 18.29          | 176.09          |
| Arroyo Las Flores  | 0                                       | 0           | 19.68                                   | 19.68         | 9.61          | 23.08         | 13.52         | 42.64         | 32.39          | 375.07          |
| Laderas            | 0                                       | 0           | 161.97                                  | 161.97        | 10.91         | 26.18         | 4.73          | 14.92         | 27.47          | 294.07          |
| <b>Total</b>       | <b>2.37</b>                             | <b>4.73</b> | <b>379.69</b>                           | <b>379.69</b> | <b>446.91</b> | <b>585.45</b> | <b>163.95</b> | <b>517.07</b> | <b>569.77</b>  | <b>8 801.74</b> |