



Justo Huayamave

TESIS DOCTORAL
2013

“ESTUDIO DE LAS AGUAS Y SEDIMENTOS DEL RIO DAULE, EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS, DESDE EL PUNTO DE VISTA FÍSICO QUÍMICO, ORGÁNICO BACTERIOLÓGICO Y TOXICOLÓGICO”

JUSTO PASTOR HUAYAMAVE NAVARRETE

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

Dpto. de Ingeniería de Procesos

ANEXO I

**D. ANTONIO NIZARDO BENÍTEZ VEGA, EN CALIDAD DE SECRETARIO
DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS DE LA
UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA,**

CERTIFICA

Que la Comisión de Doctores del Departamento de Ingeniería de Procesos, en su sesión de fecha 23/09/2013, tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación, a la Tesis Doctoral titulada "**Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule, en la provincia de Guayas, desde el punto de vista físico-químico, orgánico bacteriológico y toxicológico**"., presentada por el Doctorando D. Justo Pastor Huayamave Navarrete y dirigida por el Dr. D. Juan Emilio González González y el Dr. D. Antonio NizarDO Benítez Vega.

Y para que así conste a efectos de lo previsto en el Art. 6.2 del Reglamento para la elaboración, tribunal, defensa y evaluación de tesis doctorales de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, firmo la presente en Las Palmas de Gran Canaria, a veintitrés de septiembre de dos mil trece.





UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

DEPARTAMENTO: *INGENIERÍA DE PROCESOS*

Programa de Doctorado: *Ingeniería Ambiental y Desalinización*

Título de la tesis

***“ESTUDIO DE LAS AGUAS Y SEDIMENTOS DEL RIO DAULE, EN LA
PROVINCIA DEL GUAYAS, DESDE EL PUNTO DE VISTA FÍSICO QUÍMICO,
ORGÁNICO, BACTERIOLÓGICO Y TOXICOLÓGICO”***

Tesis Doctoral presentada por: *Don Justo Pastor Huayamave Navarrete*

Dirigida por los Dres. D. Juan Emilio González González
 D. Antonio Nizado Benítez Vega

El Director,

El Director,

El Doctorando,

Las Palmas de Gran Canaria, a 13 de Septiembre de 2013

**Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule,
en la Provincia del Guayas, desde el punto de
vista físico químico, orgánico, bacteriológico y
toxicológico
2013**

**Tesis Doctoral
Justo Pastor Huayamave Navarrete
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Departamento de Ingeniería de Procesos**

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mi familia que permanentemente me han brindado su comprensión y animado a continuar con este trabajo investigativo.

En particular quiero expresar mi agradecimiento a los Dres: Don Juan Emilio González Gonzalez y Don. Antonio Nizado Benítez Vega, quienes en calidad de Tutores me han brindado el apoyo necesario para el desarrollo del presente trabajo de tesis doctoral.

A mis amigos de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Universidad Complutense de Madrid, Universidad Autónoma de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Universidad Rey Juan Carlos de Madrid, quienes participaron en el Proyecto *“Fortalecimiento de un Centro Tecnológico sobre la Gestión y Desarrollo de la Reutilización de Aguas Residuales procedentes de Depuradoras para Aplicaciones en Explotaciones Agrícolas”*.

Agradezco a todos los integrantes del grupo CAFMA por su colaboración y el apoyo brindado para la ejecución de la parte experimental de la tesis en las instalaciones del CAFMA.

Agradezco a la Universidad de las Palmas por el apoyo institucional recibido durante mi estadia en las las Palmas de Gran Canaria y a la Escuela Superior Politécnica de Litoral por el financiamiento y las facilidades brindadas.

INDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|-------------|
| Capítulo 1 | |
| Introducción..... | 1 |
| 1.1. Recurso agua y su importancia..... | 3 |
| 1.2. Necesidad de agua en el planeta..... | 5 |
| 1.3. Ambiente del río Daule..... | 6 |
| 1.3.1. Cuenca del Río Guayas..... | 7 |
| 1.3.2. Clima de la región..... | 13 |
| 1.3.3. Economía..... | 14 |
| 1.4. Río Daule..... | 15 |
| 1.4.1. Caudales del río Daule..... | 17 |
| 1.4.2. Población relacionada al río Daule..... | 18 |
| 1.4.3. Indicadores de condiciones de vida de las poblaciones en las riberas del río Daule..... | 20 |
| 1.5. Usos del agua..... | 22 |
| 1.6. Estado de la Calidad de las aguas de Ecuador y del río Daule..... | 23 |
| 1.7. Marco legal del agua..... | 25 |
| Capítulo 2 | |
| 2.1. Objetivo..... | 29 |
| 2.1.1. Objetivos específicos..... | 29 |
| 2.2. Metodología del estudio experimental del trabajo de la tesis..... | 30 |
| 2.2.1. Sistemática de muestreo..... | 32 |
| 2.2.2. Toma y conservación de muestras de agua..... | 32 |
| 2.2.3. Equipos..... | 34 |
| 2.3. Métodos de análisis en muestras de agua..... | 35 |
| 2.3.1. Determinaciones analíticas..... | 35 |
| 2.3.1.1. Determinaciones de parámetros físico-químicos in-situ..... | 35 |
| 2.3.1.2. Determinaciones analíticas en laboratorio..... | 36 |
| 2.3.1.2.1. Determinaciones de parámetros físico-químicos en laboratorio..... | 36 |
| 2.3.1.2.2. Determinación de compuestos orgánicos contaminantes..... | 36 |
| 2.3.1.2.3. Determinación de carbono orgánico total..... | 37 |
| 2.3.1.2.4. Determinación de iones metálicos mayoritarios..... | 37 |
| 2.3.1.2.5. Determinación de metales pesados..... | 38 |
| 2.3.1.2.6. Determinación coliformes fecales y totales..... | 38 |
| 2.3.1.2.7. Determinación de la toxicidad de las aguas del río Daule..... | 39 |
| 2.3.1.3. Análisis de los sedimentos..... | 39 |
| 2.3.1.3.1. Determinación de la materia orgánica por pérdida de masa..... | 40 |
| 2.3.1.3.2. Determinación de los compuestos orgánicos persistentes..... | 40 |
| 2.3.1.3.3. Determinación de metales pesados..... | 40 |
| 2.3.1.3.4. Ensayos de toxicidad..... | 41 |

Capítulo 3

| | |
|---|----|
| 3.1. Hidroquímica..... | 45 |
| 3.2. Parámetros físico-químicos de las aguas del río Daule..... | 47 |
| 3.2.1. Temperatura..... | 47 |
| 3.2.2. Potencial de hidrógeno..... | 47 |
| 3.2.3. Conductividad..... | 48 |
| 3.2.4. Oxígeno disuelto..... | 48 |
| 3.2.5. Alcalinidad..... | 49 |
| 3.2.6. Amonio..... | 49 |
| 3.2.7. Nitratos..... | 50 |
| 3.2.8. Nitritos..... | 51 |
| 3.2.9. Cloruros..... | 51 |
| 3.2.10. Sólidos suspendidos..... | 52 |
| 3.2.11. Sólidos disueltos..... | 52 |
| 3.2.12. Sólidos totales..... | 53 |
| 3.2.13. Turbidez..... | 53 |
| 3.2.14. Sulfatos..... | 54 |
| 3.2.15. Fosfatos..... | 54 |
| 3.2.16. Carbono orgánico total..... | 55 |
| 3.2.17. Calcio..... | 56 |
| 3.2.18. Magnesio..... | 56 |
| 3.2.19. Sodio..... | 56 |
| 3.2.20. Potasio..... | 57 |
| 3.3. Metales pesados en agua..... | 57 |
| 3.3.1. Introducción..... | 57 |
| 3.3.2. Ciclo biogeoquímico..... | 59 |
| 3.3.3. Toxicidad..... | 60 |
| 3.3.3.1. Grado de toxicidad y biodisponibilidad..... | 62 |
| 3.3.4. Arsénico..... | 63 |
| 3.3.5. Cadmio..... | 64 |
| 3.3.6. Cinc..... | 65 |
| 3.3.7. Cobre..... | 66 |
| 3.3.8. Cromo..... | 67 |
| 3.3.9. Hierro..... | 68 |
| 3.3.10. Mercurio..... | 69 |
| 3.3.11. Níquel..... | 71 |
| 3.3.12. Plomo..... | 72 |

Capítulo 4

| | |
|---|----|
| 4.1. Introducción: Contaminantes orgánicos..... | 77 |
| 4.2. Pesticidas..... | 80 |
| 4.2.1. Pesticidas organoclorados..... | 83 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.1.1. DDT y análogos..... | 85 |
| 4.2.1.2. Hexaclorociclohexano..... | 86 |
| 4.2.1.3. Ciclodienos..... | 87 |
| 4.2.1.4. Toxafeno..... | 88 |
| 4.2.2. Pesticidas organofosforados..... | 89 |
| 4.2.3. Hidrocarburos aromáticos policíclicos..... | 91 |
| 4.2.3.1. Origen de los hidrocarburos aromáticos policíclicos..... | 92 |
| 4.2.3.2. Toxicidad de los hidrocarburos aromáticos policíclicos..... | 94 |
| 4.3 Bifenilos policlorados..... | 95 |
| 4.3.1. Toxicología bifenilos policlorados..... | 96 |
| 4.4. Transporte de contaminantes orgánicos..... | 97 |
| 4.5. Contaminantes orgánicos estudiados en las aguas del río Daule..... | 98 |
| Capítulo 5 | |
| 5.1. Aspectos microbiológicos del agua..... | 103 |
| 5.1.1. Indicadores de calidad sanitaria del agua..... | 108 |
| 5.1.2. Factores microbiológicos del río Daule..... | 110 |
| Capítulo 6 | |
| 6.1. Generalidades sobre los sedimentos..... | 115 |
| 6.1.1. Transporte de los sedimentos..... | 115 |
| 6.1.2. Contaminación de los sedimentos..... | 116 |
| 6.1.3. Gestión de los sedimentos..... | 119 |
| 6.1.3.1. Dragado de sedimentos..... | 121 |
| 6.2. Legislación y regulaciones..... | 123 |
| 6.2.1. Guías de calidad de los sedimentos..... | 125 |
| Capítulo 7 | |
| 7.1. Introducción..... | 131 |
| 7.2. Resultados de parámetros físico-químicos in situ..... | 131 |
| 7.2.1. Temperatura..... | 131 |
| 7.2.2. Potencial de hidrógeno..... | 133 |
| 7.2.3. Conductividad..... | 135 |
| 7.2.4. Oxígeno disuelto..... | 137 |
| 7.3. Parámetros físico-químicos determinados en laboratorio..... | 140 |
| 7.3.1. Alcalinidad..... | 140 |
| 7.3.2. Cloruros..... | 142 |
| 7.3.3. Carbono orgánico total.. | 144 |
| 7.3.4. Amonio..... | 146 |
| 7.3.5. Nitritos y nitratos..... | 148 |
| 7.3.6. Fosfatos..... | 150 |
| 7.3.7. Demanda bioquímica de oxígeno..... | 152 |
| 7.3.8. Turbidez..... | 154 |
| 7.3.9. Sólidos suspendidos, disueltos y totales | 156 |

| | |
|---|------------|
| 7.3.10. Sulfatos..... | 159 |
| 7.3.11. Iones metálicos mayoritarios..... | 160 |
| 7.4. Contaminantes orgánicos en aguas del río Daule | 164 |
| 7.5 Metales pesados en aguas del rio Daule | 175 |
| 7.5.1. Arsénico..... | 175 |
| 7.5.2. Cadmio..... | 175 |
| 7.5.3. Cromo..... | 175 |
| 7.5.4. Cobre..... | 176 |
| 7.5.5. Níquel..... | 176 |
| 7.5.6. Plomo..... | 176 |
| 7.5.7. Mercurio..... | 177 |
| 7.5.8. Índice de contenido metálico..... | 177 |
| 7.6. Resultados microbiológicos..... | 180 |
| 7.7. Toxicidad de las aguas del río Daule..... | 182 |
| 7.8. Sedimentos..... | 184 |
| 7.8.1. Materia orgánica..... | 184 |
| 7.8.2. Compuestos orgánicos persistentes..... | 185 |
| 7.8.3. Metales pesados..... | 190 |
| 7.8.4. Bioensayos de toxicidad..... | 192 |
| 7.8.5. Análisis de correlación..... | 193 |
| Conclusiones..... | 197 |
| Bibliografía..... | 205 |
| Tablas y Anexos | |

INDICE DE TABLAS

| | | | |
|-------|-----|--|-----|
| Tabla | 1. | Distribución del Sistema hidrográfico del Ecuador | 7 |
| Tabla | 2. | Áreas de provincias dentro de la Cuenca del Río Guayas..... | 9 |
| Tabla | 3. | Superficie de las Subcuencas hidrográficas de la Cuenca del río Guayas..... | 10 |
| Tabla | 4. | Usos del suelo en el Ecuador periodo 2006-2010..... | 14 |
| Tabla | 5. | Áreas principales de cultivos en el Ecuador..... | 15 |
| Tabla | 6. | Población ribereña del río Daule..... | 19 |
| Tabla | 7. | Procedencia del agua de consumo de ciudades ribereñas del río Daule..... | 20 |
| Tabla | 8. | Formas de evacuación de aguas residuales urbanas de las poblaciones ribereñas del río Daule..... | 21 |
| Tabla | 9. | Disposición de residuos sólidos urbanos de ciudades ribereñas del río Daule..... | 22 |
| Tabla | 10. | Coordenadas de las estaciones de muestreo de aguas y sedimentos. | 30 |
| Tabla | 11. | Métodos Normalizados APHA-AWWA-WPCF, para toma y conservación de muestras de aguas..... | 34 |
| Tabla | 12. | Parámetros determinados in situ en aguas del río Daule..... | 35 |
| Tabla | 13. | Métodos normalizados para la determinación de parámetros físico-químicos..... | 36 |
| Tabla | 14. | Parámetros y condiciones del protocolo SBPT con la bacteria <i>Vibrio fisheri</i> | 41 |
| Tabla | 15. | Lista de contaminantes orgánicos, Convenio de Estocolmo..... | 78 |
| Tabla | 16. | Limites máximos permisibles de pesticidas organoclorados, TULSMA, Libro VI, Anexo 1..... | 84 |
| Tabla | 17. | Limites máximos permisible de pesticidas organofosforados..... | 90 |
| Tabla | 18. | Pesticidas organoclorados analizados en aguas del río Daule..... | 98 |
| Tabla | 19. | Pesticidas organofosforados analizados en aguas del río Daule..... | 99 |
| Tabla | 20. | Hidrocarburos aromáticos analizados en aguas del río Daule..... | 100 |
| Tabla | 21. | Bifenilos policlorados analizados en aguas del río Daule..... | 100 |
| Tabla | 22. | Patógenos en agua cruda y enfermedades que pueden ser transmitidos por el agua..... | 104 |
| Tabla | 23. | Tiempo de supervivencia de patógenos en diferentes matrices..... | 105 |

| | | | |
|-------|-----|--|-----|
| Tabla | 24. | Patógenos que crecen en sistemas de distribución de agua potable.. | 105 |
| Tabla | 25. | Límites máximos permisibles de microorganismos para agua de uso doméstico y otros..... | 112 |
| Tabla | 26. | Guía de calidad de sedimentos para metales pesados..... | 128 |
| Tabla | 27. | Hidrocarburos aromáticos policíclicos determinados en aguas de río Daule..... | 172 |
| Tabla | 28. | Análisis de correlación y correspondencia de las variables..... | 193 |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|-----|
| Figura 1. | Mapa del Ecuador..... | 1 |
| Figura 2. | Mapa de la Cuenca del río Guayas..... | 8 |
| Figura 3. | Proyecto Plan Hidráulico Acueducto Santa Elena, (PHASE)..... | 12 |
| Figura 4. | Mapa Hidrográfico de la Cuenca del Río Guayas..... | 16 |
| Figura 5. | Caudales del río Daule, periodo 1964-1988..... | 18 |
| Figura 6. | Caudales del río Daule, periodo 1989-2010..... | 18 |
| Figura 7. | Usos del agua en Ecuador..... | 23 |
| Figura 8. | Ubicación de las estaciones de muestreo en el río Daule..... | 31 |
| Figura 9. | Temperatura, muestreo de aguas, 09 junio 2011..... | 132 |
| Figura 10. | Temperatura, muestreos de aguas del 23/06/2012 al 07/07/2012..... | 133 |
| Figura 11. | pH muestreo de aguas, 09/06/2011..... | 134 |
| Figura 12. | pH muestreos de aguas, 23/06/2011 al 07/07/2012..... | 135 |
| Figura 13. | Valores de conductividad, muestreo del 09/06/2011..... | 136 |
| Figura 14. | Conductividad, muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12..... | 137 |
| Figura 15. | Oxígeno disuelto, muestreo del 09/06/2011..... | 138 |
| Figura 16. | Oxígeno disuelto, muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12..... | 140 |
| Figura 17. | Alcalinidad muestreo del 09/06/2011..... | 140 |
| Figura 18. | Alcalinidad, muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12..... | 141 |
| Figura 19. | Concentraciones de cloruros, muestreo del 09/06/2011..... | 142 |
| Figura 20. | Concentraciones de cloruros, muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12..... | 143 |
| Figura 21. | Concentraciones de carbono orgánico, muestreo, 09/06/2011..... | 145 |
| Figura 22. | Concentraciones de carbono orgánico, muestreos, 23/06/2011 al 07/07/2012..... | 146 |
| Figura 23. | Concentraciones de nitrógeno amoniacal, 09/06/2011..... | 147 |
| Figura 24. | Concentración nitrógeno amoniacal muestreo de aguas del 23/06/11 al 07/07/12..... | 148 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Figura 25. | Concentraciones de nitratos, N-Nitrato y N-Nitrito muestreo del 9/06/ 2011..... | 149 |
| Figura 26. | Resultados de nitratos como N-Nitrato y N-Nitrito muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12..... | 150 |
| Figura 27. | Concentraciones de fosfatos, muestreo de aguas del 9/06/2011..... | 151 |
| Figura 28. | Concentraciones de fosfatos, muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12..... | 152 |
| Figura 29. | Niveles de la demanda bioquímica de oxígeno, muestreo de aguas del 09 /06/2011..... | 153 |
| Figura 30. | Niveles de la demanda bioquímica de oxígeno muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12..... | 154 |
| Figura 31. | Niveles de turbidez muestreo de aguas del 09/06/2011..... | 155 |
| Figura 32. | Niveles de turbidez muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12..... | 156 |
| Figura 33. | Concentraciones de sólidos disueltos y suspendidos totales, muestreo de aguas del 09 /06/2011..... | 157 |
| Figura 34. | Concentraciones de sólidos disueltos y suspendidos totales, muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12..... | 158 |
| Figura 35. | Concentraciones de sulfatos, muestreos en aguas del 09/06/2011 | 159 |
| Figura 36. | Concentraciones de sulfatos, muestreos en aguas del 23/06/11 al 07/07/12..... | 160 |
| Figura 37. | Concentraciones de cationes mayoritarios, muestreos en aguas, 09 /06/2011..... | 161 |
| Figura 38. | Concentraciones de cationes mayoritarios muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12..... | 163 |
| Figura 39. | Concentraciones totales organoclorados y variación temporal del (1,2`DIB) 06/2011 a 07/2012..... | 164 |
| Figura 40. | Concentraciones de HAPs, muestreo en aguas 03/06/2011..... | 166 |
| Figura 41. | Concentraciones de HAPs, muestreo en aguas 14/07/2011..... | 166 |
| Figura 42. | Concentraciones de HAPs, muestreo en aguas 03/08/2011..... | 167 |
| Figura 43. | Concentraciones de HAPs, muestreo en aguas 08/09/2011..... | 167 |
| Figura 44. | Concentraciones de HAPs, muestreo en aguas 16/09/2011..... | 168 |
| Figura 45. | Concentraciones de HAPs muestreo en aguas ..07/09/2011..... | 168 |
| Figura 46. | Concentraciones de HAPs, muestreo en aguas 19/10/2011..... | 169 |
| Figura 47. | Concentraciones de HAPs muestreo en aguas 9/10/2011..... | 169 |
| Figura 48. | Concentraciones de HAPs, muestreo en aguas 10/11/2011..... | 170 |
| Figura 49. | Concentraciones de HAPs, muestreo de aguas 10/12/2011..... | 170 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Figura 50. | Concentraciones de HAPs, en aguas muestreo, 17/01/2012..... | 171 |
| Figura 51. | Concentraciones de HAPs, muestreo de aguas, 25/04/2012..... | 171 |
| Figura 52. | Concentraciones de HAPs, muestreo de aguas, 16/04/2012..... | 172 |
| Figura 53. | Concentraciones de HAPs, muestreo de aguas, 08/05/2012..... | 172 |
| Figura 54. | Hidrocarburos aromáticos totales determinados en aguas del río Daule, 06/2011- 05/2012..... | 174 |
| Figura 55. | ICM y concentraciones promedios de metales pesados en aguas de río..... | 179 |
| Figura 56. | Concentración de coliformes fecales y totales, muestreo del 09/06/2011..... | 180 |
| Figura 57. | Concentración de coliformes fecales y totales, 23/06/11 al 07/07/12..... | 181 |
| Figura 58. | Incremento de la luminosidad en relación al TOC 28/06/2012.... | 182 |
| Figura 59. | Incremento porcentual de luminosidad vs. TOC, 10/07/2012..... | 183 |
| Figura 60. | Incremento porcentual de luminosidad vs. TOC, 21/07/2012..... | 183 |
| Figura 61. | Incremento porcentual de luminosidad vs. TOC, 17/08/2012..... | 183 |
| Figura 62. | Incremento porcentual de luminosidad vs. TOC, 23/08/2012..... | 184 |
| Figura 63. | Incremento porcentual de luminosidad vs TOC, 09/2012..... | 184 |
| Figura 64. | Porcentajes de materia orgánica por estaciones..... | 185 |
| Figura 65. | Concentraciones de HAPs, muestreo de aguas, 15/11/ 2012..... | 186 |
| Figura 66. | Concentraciones de HAPs, muestreo de aguas 21/12/2011..... | 186 |
| Figura 67. | Concentraciones de HAPs, muestreo de aguas, 17/01/2012..... | 187 |
| Figura 68. | Concentraciones de HAPs, muestreo de aguas, 09/02/2012..... | 187 |
| Figura 69. | Concentraciones de HAPs, muestreo de aguas 25/04/2012..... | 188 |
| Figura 70. | Concentraciones de HAPs, muestreo de aguas, 08/05/2012..... | 188 |
| Figura 71. | Concentración de fenantreno en sedimentos, 15/12/2011- 08/05/2012..... | 189 |
| Figura 72. | Concentración de pireno en sedimentos, 15/12/2011- 08/05/2012..... | 189 |
| Figura 73. | Concentración de antraceno en sedimentos, 15/12/2011- 25/04/2012..... | 190 |
| Figura 74. | Promedio metales pesados estacionales vs. concentración anual promedio..... | 192 |

Figura 75. Evolución de la toxicidad y la materia orgánica en sedimentos, 193
11/2011-05/2012.....

SIMBOLOGÍA

| | |
|--------------------|--|
| APHA-AWWA- WPCF | Manual de Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales |
| ANZECC | Consejo para el Medio Ambiente y la Naturaleza de Australia y Nueva Zelanda |
| CAFMA | Laboratorio de Control Analítico Medio Ambiental |
| CEDEGE | Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas |
| COPs | Contaminantes orgánicos persistentes |
| COT | Carbono orgánico total |
| DED | Servicio Alemán para el Desarrollo |
| DMA | Directiva Marco del Agua |
| EPA | Agencia de Protección Ambiental |
| ERL | Rangos de efectos bajos |
| ERM | Efecto de rango medio |
| FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación |
| HAPs | Hidrocarburos aromáticos policíclicos |
| IARC | Agencia Internacional de Investigación del Cáncer |
| INAMHI | Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología |
| INEC | Instituto Nacional de Censos y Estadística |
| ISTP | Ingesta Semanal Tolerable de plomo |
| ISQG | Guía Provisional de Calidad de los Sedimentos |
| MAGAP | Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca |
| MET | Umbral de mínimo efecto |
| MIDUVI | Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda |
| NOAA | Administración Nacional Oceánica y Atmosférica |
| OEA | Organización de Estados Americanos |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| PCBs | Bifenilos policlorados |
| PEL | Nivel de efectos probables |
| PHASE | Plan Hidráulico Acueducto Santa Elena |
| PHI | Programa Hidrológico Internacional |
| PNUD | Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo |
| SENAGUA | Secretaría Nacional del Agua |
| SIGAGRO | Sistemas de Información del Agro |
| TEC | Concentración de umbral efecto |
| TEL | Nivel de umbral de efecto |
| TET | Umbral de efecto tóxico |
| TULSMA | Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente |
| UE | Unión Europea |
| UL | Niveles de ingesta diaria |
| UNESCO | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura |
| UN-Water | ONU-Agua |
| WWAP | Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos |
| WWC | Consejo Mundial del Agua |

Capítulo 1

Introducción

- 1.1. Recurso agua y su importancia
- 1.2. Necesidad de agua en el planeta
- 1.3. Ambiente del río Daule
 - 1.3.1. Cuenca del Río Guayas
 - 1.3.2. Clima de la región
 - 1.3.3. Economía
- 1.4. Río Daule
 - 1.4.1. Caudales del río Daule.
 - 1.4.2. Población relacionada al río Daule
 - 1.4.3. Indicadores de condiciones de vida de las poblaciones en las riberas del río Daule
- 1.5. Usos del agua
- 1.6. Estado de la Calidad de las aguas de Ecuador y del río Daule
- 1.7. Marco legal del agua

INTRODUCCIÓN

La República del Ecuador, es un país que se encuentra en la costa Nor-Occidental de América del Sur, y está ubicada entre los paralelos $1^{\circ} 30,0' N$ y $03^{\circ} 23,5' S$. y los meridianos $75^{\circ}12' W$ y $81^{\circ} 00,0'$ sin incluir el archipiélago de Galápagos [1] a nivel de la línea del Ecuador, su extensión territorial es de 256.370 km^2 , posee una de las más altas concentraciones de ríos por kilómetro cuadrado en el mundo, con una población de 14.483.499 habitantes de los cuales el 62,76% habitan en el área urbana y el 37,24% en el área rural de acuerdo al último censo del 2010 realizado por Instituto Nacional de Estadísticas y Censo del Ecuador (INEC). La Cordillera de los Andes atraviesa de sur a norte al país, son dos cadenas paralelas, la cordillera Oriental y la Occidental, el Ecuador a pesar de su pequeña extensión territorial tiene cuatro regiones claramente diferenciadas que hace que posea diferentes climas.

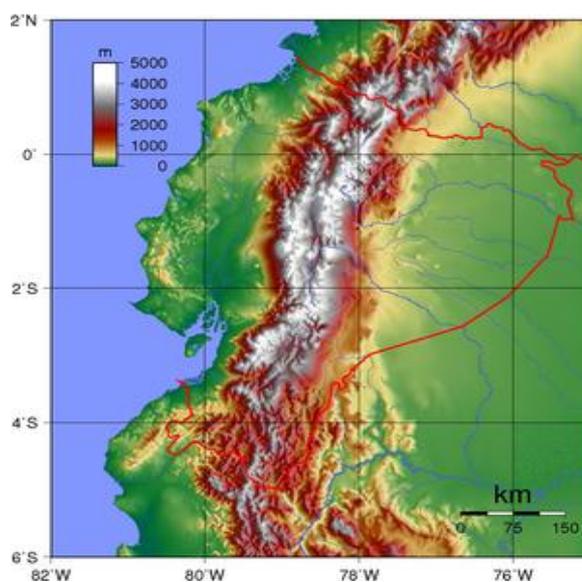


Figura 1. Mapa del Ecuador Instituto Geográfico Militar (IGM), 2010

La Costa o Litoral que se extiende desde la Cordillera Occidental de los Andes hasta la Costa bañada por el Océano Pacífico, es una región que presenta pocas elevaciones de consideración y esta constituida por llanuras fértiles, colinas y cuencas sedimentarias húmedas y exuberantes formados por numerosos ríos que nacen en las estribaciones de los Andes y desembocan en el océano Pacífico. Su clima es cálido y seco al sur y tropical y húmedo al norte y esta influenciado por la Corriente fría de

Humboldt, la misma que hace que la temperatura disminuya en ciertos meses del año y la Corriente cálida de el Niño, que llega a las costas en el mes de diciembre, hace que el clima sea mas cálido incrementando los índices de pluviosidad, la temperatura de manera general oscila entre 23 y 36°C, tiene dos estaciones [2], la lluviosa desde diciembre a mayo y la época seca de junio a noviembre. En esta región de la costa se encuentra la red fluvial más extensa del país, se trata de la Cuenca del río Guayas, que tiene cerca de doce afluentes.

La Sierra que se encuentra ubicada entre las Cordilleras Occidental y Oriental de los Andes con grandes montañas, volcanes y nevados muy altos entre los que destaca el Chimborazo de 6.310 m sobre el nivel del mar, existen nudos entre las dos cordilleras que forman hermosos y fértiles valles. En la sierra la estación lluviosa o de invierno se produce de octubre a mayo y la temperatura fluctúa entre 12 y 18°C.

La región amazónica que se extiende desde la cordillera Oriental hasta los límites con el Perú posee grandes extensiones de selva tiene un clima entre los 23 y 28°C con constantes lluvias a lo largo del año que están entre 300 y 400 mm, su clima es tropical húmedo, es la región con más biodiversidad, rica en flora y fauna y es parte del bosque lluvioso tropical del Amazonas, en esta región se han desarrollado especies endémicas únicas en el planeta y una gran cantidad de ríos que son tributarios del gran río Amazonas. Tiene un gran sistema de parques naturales y áreas protegidas, entre ellas una muy importante el Parque Nacional Yasuni que en el subsuelo tiene grandes reservas de petróleo y el Ecuador ha planteado que los países desarrollados contribuyan a su conservación ya que es una de las áreas más ricas en biodiversidad en todo el planeta.

La cuarta región es la Insular o Islas Galápagos de origen volcánico, esta constituida por 13 grandes islas y más de 40 islotes, se encuentra a una distancia de aproximadamente 1.000 km. del Ecuador continental, tiene un clima templado con temperatura de 22°C a 32°C. El medio ambiente terrestre y marino de las islas ofrece una variedad de singulares paisajes que ha llamado el interés de científicos y turistas, existen tortugas gigantes, iguanas marinas y terrestres y lagartijas de lava, constituyen la familia de reptiles más espectaculares jamás conocida y otras especies que hacen de las Islas Galápagos un sitio único y maravilloso. Por estas razones la UNESCO en el año de 1978, declaró a las islas Galápagos Patrimonio Natural de la Humanidad [3]. Ecuador es

considerado uno de los 17 países donde está concentrada la mayor biodiversidad del planeta. Su amplia gama de climas en sus cuatro regiones, ha dado lugar al nacimiento de miles de especies de flora y fauna en medio de extensos territorios naturales.

El Ecuador es uno de los países mas pequeños de América del Sur, sin embargo pese a su pequeña extensión territorial es rico en recursos hídricos, que son utilizados de diferentes formas, como: agricultura, generación de energía hidroeléctrica, doméstico, industrial, transporte, recreativos y otros.

1.1. Recurso agua y su importancia

Sin duda que el recurso agua es el más valioso para la vida en nuestro planeta, aproximadamente el 71% de la superficie de la tierra esta cubierta por agua. el volumen total aproximado de agua en la Tierra es de 1,4 mil millones de km^3 , de los cuales 35 millones km^3 un 2,5% del total corresponden a agua dulce, de esta cantidad de agua dulce, unos 24 millones de km^3 o el 69,6% se encuentra en forma de hielo y de nieve permanente en los polos antártico y ártico y en regiones montañosas, alrededor del 30% del agua dulce del mundo se almacena bajo tierra en forma de aguas subterráneas, los lagos y ríos de agua dulce contienen un estimado de 105.000 km^3 o alrededor de 0,3% del agua dulce del mundo y la atmósfera de la Tierra contiene aproximadamente 13.000 km^3 de agua [4].

Esta claro que el agua dulce disponible a nivel mundial es bastante escasa en relación a la cantidad total del agua en el planeta, a lo que hay que agregar esta no se encuentra uniformemente distribuida por el planeta, se desperdicia, está contaminada y se gestiona de forma insostenible, existen sitios con más agua, y otros con muy poca o casi nada de agua como en el medio Oriente y el Norte de África y algunos países de Asia, sin duda que el agua va a representar un gran problema, por lo que es necesario realizar la gestión del recurso, para poder evitar situaciones conflictivas debidas a escasez, sobreexplotación y contaminación del agua [5]. Habitualmente, los hidrólogos miden la escasez de agua a través de la relación agua/población y se han creado algunos indicadores como los Kumar y Singh 2005; Falkenmark y Widstrand, 1992. Se dice que existe estrés hídrico cuando su suministro anual de agua cae por debajo de los 1.700 m^3 por persona. Cuando ese mismo suministro anual cae por debajo de los 1.000 m^3 por

persona, entonces se habla de escasez de agua, y de escasez absoluta de agua si la tasa es menor a 500 m^3 [6]. Factores de crecimiento poblacional y otras actividades humanas, incrementarán la demanda de agua, países que al momento tienen estrés hídrico en los próximos años pasarán a tener escasez de agua, lo que afectaría a aproximadamente 3.000 millones de personas para el 2025 (FAO 2006).

Dada la importancia del agua en nuestro planeta, existen muchas organizaciones internacionales, que unen esfuerzos por la conservación de este valioso recurso tales como:

- ONU-Agua, conocida por sus siglas en inglés (UN-Water), que es el mecanismo interinstitucional de todo el sistema de las Naciones Unidas, que reúne a los organismos, departamentos y programas pertinentes que participan en las cuestiones relativas al recurso agua.
- Programa Naciones Unidas para el Desarrollo, por sus siglas en inglés (PNUD), es el organismo mundial de las Naciones Unidas creado para mejorar la calidad de vida de las naciones, es la encargada de recoger las diversas políticas y estrategias para gobernabilidad del agua y gestión sostenible e iniciativas sobre pobreza y medio ambiente.
- El Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, por sus siglas en inglés (WWAP) auspiciado y dirigido por la UNESCO, tiene como objetivo dotar de información, datos, herramientas y los conocimientos necesarios a los gestores del agua dulce y a los principales responsables de la toma de decisiones para que puedan participar de forma eficaz en el desarrollo de políticas con relación al agua [7].
- El Consejo Mundial del Agua, por sus siglas en inglés (WWC), tiene como objetivo el promover conciencia y construir compromiso político, así como acciones relacionadas con el agua para la toma de decisiones al más alto nivel, para la conservación, protección, desarrollo, manejo y uso del agua.
- El Programa Hidrológico Internacional (PHI), por sus siglas en inglés, es un programa intergubernamental del sistema de la UNESCO dedicado a la investigación del agua, gestión de recursos hídricos y la educación y creación de capacidades.

- La OMS/UNICEF de Monitoreo Conjunto (JMP), para el abastecimiento y saneamiento es el mecanismo oficial de las Naciones Unidas, para supervisar el progreso hacia el Objetivo de Desarrollo del Milenio, relacionados con el agua potable y saneamiento.

1.1 Necesidad de agua en el planeta

La población mundial actual es de unos 7.000 millones de personas, y con el crecimiento de la población mundial que es de aproximadamente 1,2% al año, para el 2030 se espera que la población mundial sea de 9.000 millones de personas, lo que constituirá un gran desafío, dado que el agua no sólo es esencial para el consumo humano directo, sino además es necesario para producir alimentos y productos manufacturados necesarios para vivir y mejorar los estándares de vida. Se calcula que unos 2 millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, residuos humanos y desechos agrícolas como pesticidas, fertilizantes, se estima que la producción de aguas residuales es de aproximadamente 1.500 km³, considerando que un litro de aguas residuales contamina 8 litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender actualmente a 12.000 km³ [8].

En el ciclo hidrológico, el agua de lluvia precipita desde las nubes, y retorna a los océanos a través de los ríos y arroyos de agua dulce y se evapora para volver a las nubes. El ciclo explica por qué no se puede agotar el agua, pero la oferta de agua es finita. El ciclo hidrológico de nuestro planeta introduce y transfiere aproximadamente 44.000 km³ de agua a la tierra todos los años, lo que equivale a 6.900 metros cúbicos para cada habitante del planeta (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD-2006), a lo cual se sumaría 8.000 km³ de aguas que se encuentran en represas y embalses, lo que significa que hay suficiente agua para la población humana, pero esta se encuentra en muchos países con un alto grado de contaminación por la acción de los seres humanos que han deteriorado su calidad.

En el círculo vicioso de la pobreza y la enfermedad, el agua y el saneamiento insuficiente se constituyen en causa y efecto: aquellos que no disponen de un suministro de agua suficiente y abordable son invariablemente los más pobres. Actualmente, 1.100

millones de personas carecen de instalaciones necesarias para abastecerse de agua y 2.400 millones no tienen acceso a sistemas de saneamiento. Se registran 4.000 millones de casos anuales de diarrea, de los cuales el 88% puede atribuirse a la insalubridad del agua y a deficiencias de saneamiento y de higiene, un millón ochocientas mil personas mueren de enfermedades diarreicas cada año; la mayoría de ellas son niños menores de cinco años de edad [9]. Si el abastecimiento de agua y el saneamiento básico fueran ampliados a aquéllos que hasta el día de hoy no tienen acceso a estos servicios, se estima que la carga de las diarreas infecciosas se reduciría en un 17% anual. El agua contaminada por microbios sigue siendo la mayor causa de enfermedad humana y de mortalidad a nivel mundial [10].

La cantidad y la calidad de recursos hídricos de superficie y subterráneos y los servicios de soporte vital de los ecosistemas están en peligro, debido al impacto ocasionado por el crecimiento de la población que requiere cada vez mayor cantidad de agua para subsistencia. Si la tendencia actual continúa, para el 2025 se estima que 1.800 millones de personas estarán viviendo en países o regiones con una escasez de agua total, y dos tercios de la población mundial podrían sufrir estrés hídrico (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD-2006)).

El agua constituye la parte esencial de todo ecosistema, en los aspectos cuantitativos y cualitativos y su reducción en cantidad y calidad dará como resultado efectos negativos sobre ellos, que podría provocar la pérdida de biodiversidad, fuentes naturales de alimentos, problemas salubridad, así como problemas de desastres naturales.

1.2 Ambiente del río Daule

Para abordar el tema del sitio de estudio, que en el presente caso es el río Daule en el cual se estudia el tramo comprendido desde la ciudad de Balzar hasta el sitio denominado Puente Lucía, lugar donde la ciudad de Guayaquil capta las aguas de este río para la producción de agua potable. El río Daule es parte de la Cuenca del río Guayas, que es el más grande sistema hidrográfico del Ecuador que drena a la costa del Pacífico y tiene influencia directa en las provincias de Guayas, Manabí, y Santa Elena, por lo que comenzaremos describiendo la cuenca del río Guayas.

1.2.1 Cuenca del Río Guayas

El sistema hidrográfico del Ecuador, se encuentra determinado por la Cordillera de los Andes, que forma dos vertientes la del océano Pacífico y la del río Amazonas. En el país existen 31 Sistemas Hidrográficos y 79 Cuencas Hidrográficas, excluyendo la del río Cenepa, 137 subcuencas [11]. De los 31 sistemas, 24 de estos sistemas hidrográficos pertenecen a la vertiente del Pacífico, que cubre una superficie de 122.316 km² que corresponde al 48,59% del territorio Nacional, y 7 vertientes del Amazonas con una superficie de 131.726 km² y representa el 51,41% de la extensión territorial del Ecuador. En la tabla No 1 se indican los sistemas hidrográficos del Ecuador [12].

| Sistemas hidrográficos del Ecuador | Vertiente del Pacífico | Vertiente del Amazonas |
|---|------------------------|------------------------|
| Sistemas Hidrográficos | 24 | 7 |
| Área superficial Ecuador (km ²) | 123.216 | 131.726 |
| Área superficial Ecuador (%) | 48,06 | 51,38 |
| Cuencas hidrográficas | 72 | 7 |
| Subcuencas hidrográficas | 101 | 36 |
| Potencial hídrico (Hm ³) | 6.100 | 229.000 |
| Potencial hídrico (%) | 21 | 79 |
| Disponibilidad hídrica m ³ /hab./año | 5.300 | 91.000 |
| Población aproximada | 11.500.000 | 2.500.000 |

Tabla No 1. Distribución del Sistema hidrográfico del Ecuador, SENAGUA (2011)

La Cuenca del Río Guayas, es una de las 72 cuencas, es la más grande del país, toma el nombre del río Guayas, río que es formado por la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo, estos ríos atraviesan extensas zonas de varias provincias y confluyen en la ciudad de Guayaquil, el río Guayas tiene una escasa longitud aproximada de 55 km. y un caudal promedio en época seca que se estima en 350 m³/s, en época de invierno en más 1.500 m³/s. En su desembocadura en el Océano Pacífico forma el golfo de Guayaquil es un sitio único en la costa del Pacífico Sur, posee una rica flora y fauna. El río Daule aporta aproximadamente el 40% del caudal del río Guayas, a su vez el río Daule recibe agua de los ríos Macul, Puca, Paján, Colimes, y Pedro Carbo, el río Babahoyo, cuenta como afluentes los ríos Yaguachi, Puebloviejo, Zapotal (Caracol), Balzar, Quevedo, Vinces.

La Cuenca del Guayas es la más grande Cuenca Hidrográfica de la Costa del Pacífico Sur, está ubicada en la parte occidental del país entre los meridianos 78° 36' W- 80° 36' W, y los paralelos 00° 14' S-02° 27' S, tiene una extensión de 33.214 Km², que constituye más del 12% de la extensión territorial del Ecuador, es el área más fértil y desde el punto de vista económico la zona más importante que genera aproximadamente el 40% del producto interno bruto.

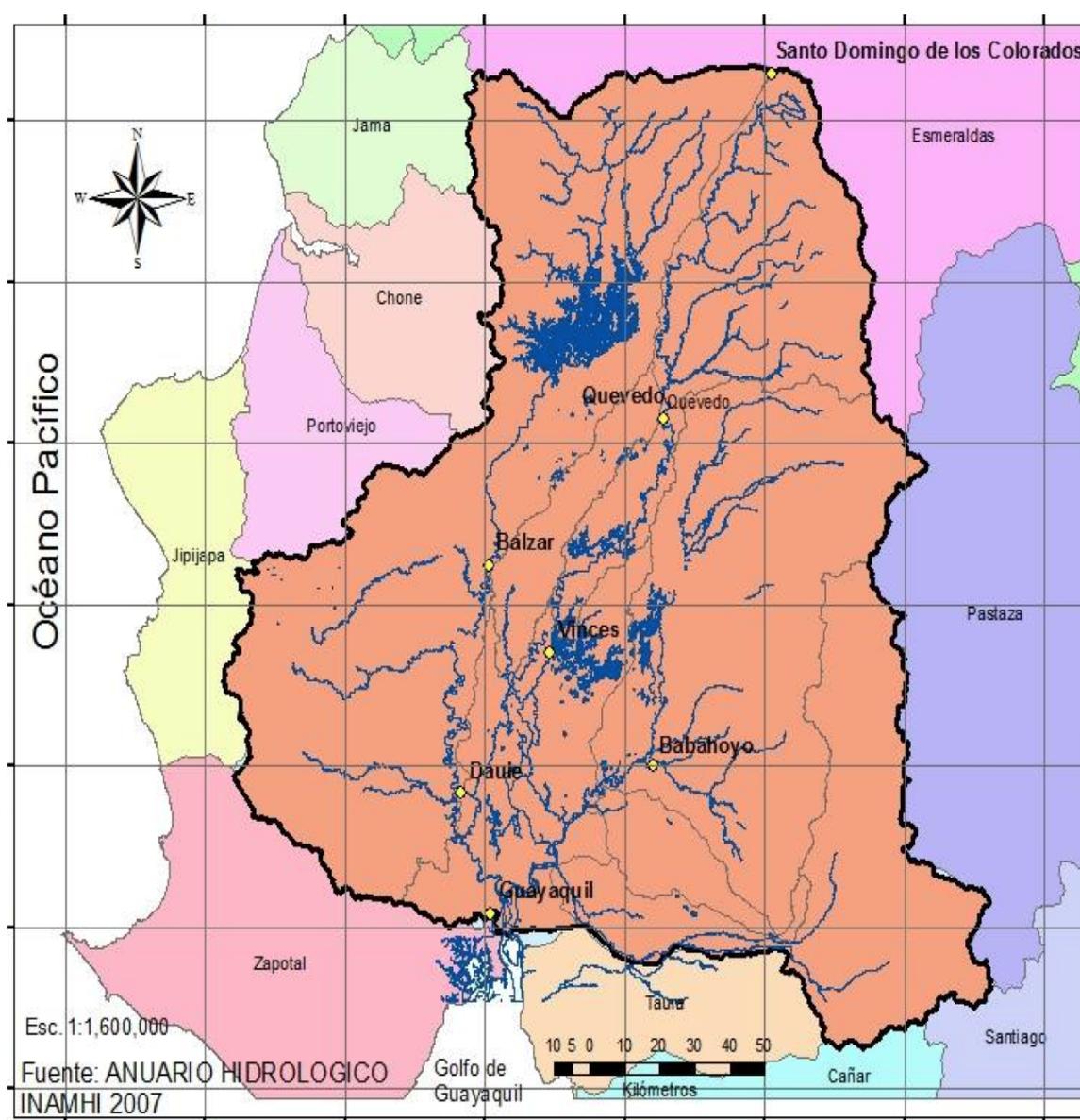


Figura 2. Mapa de la Cuenca del río Guayas, Estudio Exploratorio: “Problemática y Conflictos sobre Recursos Hídricos por Efectos del Cambio Climático”-Disponibilidad Usos y Aprovechamientos del Recurso Hídrico, Convenio DED-SENAGUA, (2009)

De los 8 millones de hectáreas de terrenos agrícolas que globalmente se estiman en Ecuador, aproximadamente 3 millones de has que corresponde al 37,5% de los suelos se encuentran en la cuenca del río Guayas y en ella se concentra una población de aproximadamente 5 millones de habitantes [13].

La Cuenca del Río Guayas, abarca 9 de las 24 provincias del Ecuador y constituye el sistema hidrográfico más grande e importante del país, y en promedio descarga 30.000 millones de metros cúbicos de agua al océano Pacífico [14]. La Cuenca del Río Guayas esta integrada por las provincias de: Bolívar, Chimborazo, Cotopaxi, Los Ríos, Santo Domingo de los Tsáchilas, Cañar, Tungurahua, Manabí y Guayas, y la extensión territorial de algunas provincias en un 100% están integrado a la Cuenca, como se puede apreciar en la Tabla No 2.

| Provincia | Área de Provincia km ² | Área de provincia dentro de la Cuenca del Río Guayas km ² |
|--------------------------------|--------------------------------------|---|
| Bolívar | 3.931 | 3.931 |
| Chimborazo | 6.491 | 2.367 |
| Cotopaxi | 6.015 | 2.444 |
| Los Ríos | 7.224 | 7.224 |
| Santo Domingo de los Tsachilas | 3.488 | 1.653 |
| Manabí | 18.889 | 5.594 |
| Cañar | 3.152 | 162 |
| Guayas | 15.822 | 8.351 |
| Tungurahua | 3.384 | 1 |
| No delimitado | 487 | 487 |
| total | 32.214 | 32.214 |

Tabla No. 2. Áreas de provincias dentro de la Cuenca del Río Guayas, Convenio DED-SENAGUA (2009)

La SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua) en la actual demarcación hidrográfica del Ecuador del 2011, indica que la Cuenca del Río Guayas esta constituida por siete subcuencas entre ellas: Subcuenca del río Daule, Subcuenca del río Vinces, Subcuenca del río Macul, Subcuenca del río Babahoyo, Subcuenca del río Yaguachi, Subcuenca del río Juján y Drenajes menores, cuyas áreas se indican en la tabla No 3.

La Cuenca del Río Guayas es de vital importancia para el Ecuador, entre los años 1963-1964, la Unidad de Recursos Naturales del Departamento Económico de la

Organización de Estados Americanos (OEA), calificó a la Cuenca del Río Guayas, como una de las zonas con mayores posibilidades de desarrollo en el país, y recomendó, después de una intensa investigación, la creación de un ente destinado a su estudio.

| Subcuencas hidrográficas | Áreas de drenaje (km ²) |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Río Daule | 11.567,15 |
| Río Vinces | 4.276,32 |
| Río Macul | 978,10 |
| Río Babahoyo | 7.016,55 |
| Río Yaguachi | 4.501,75 |
| Río Jujan | 820,57 |
| Drenajes menores | 3.056,74 |

Tabla No 3. Superficie de las Subcuencas hidrográficas de la Cuenca del río Guayas, SENAGUA

En diciembre de 1965 [15], se creó por parte del Estado ecuatoriano la Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del río Guayas, (CEDEGE), con la finalidad de planificar, estudiar, diseñar y ejecutar proyectos para el desarrollo social y económico en la región de la Cuenca del Río Guayas, y posteriormente, ampliando su ámbito a la Península de Santa Elena [16].

Desde entonces CEDEGE, realizó muchos estudios y obras para cumplir con los objetivos de su creación: dotar de riego a tierras de cultivo, provisión potable, control de inundaciones, energía y agua para recreación de agua, posteriormente en septiembre del 2009, es absorbida por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA),

La creación del Proyecto de Propósito Múltiple Jaime Roldós Aguilera, que se inició en 1982 con la construcción de la Presa Daule-Peripa con un almacenamiento de 6.000 millones de m³ de agua, cuya construcción finalizó en 1987, agua que se utiliza para: el abastecimiento de agua cruda para potabilizar y abastecer a 2,5 millones de habitantes de la Ciudad de Guayaquil y otras ciudades, para el riego de 100.000 has y control de inundaciones en 70.000 has, trasvase de aguas a la Península de Santa Elena, y su respectivo Plan Hidráulico, y trasvase a la Provincia de Manabí para riego y consumo de la población de esta provincia mediante el trasvase hacía el embalse la

Esperanza, control de caudales del río Daule para preveer las inundaciones, control de calidad de agua del río Guayas, control de la intrusión salina y la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind, de 213 MW de capacidad instalada, en tres unidades de 71 MW [17].

La Represa Daule-Peripa se encuentra funcionando desde Febrero de 1988 y gracias a su construcción se regula el caudal del río Daule, almacenando los excedentes del invierno, con el propósito de entregarlos en el verano para permitir el uso de sus aguas en actividades de agricultura, provisión de agua potable, preservación de la fauna y recreación. Por la obras que se han realizado en el Proyecto Multipropósito en la cuenca del Guayas, esta se ha convertido en uno de los principales soportes de la economía nacional, ya que aporta aproximadamente el 40% del PIB, y su producción significa el 85% de las divisas generadas por el cacao el 80%, por el café, el 80% de los productos del mar y el 40% por el banano, con relación a los productos de consumo interno, aporta el 94% de la producción de arroz, el 99% de la producción de soya, el 74% de azúcar, el 37% de maíz duro y el 15% de palma africana.

Uno de los elementos principales del Plan Hidráulico es sin duda el embalse Daule-Peripa, cuya represa está localizada a unos 19 km de la localidad de Pichincha y a unos 140 Km. al Norte de la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo, que despues como se ha indicado forman el río Guayas, consiste en un terraplén de 78 metros sobre el lecho del río Daule, el embalse se alimenta en gran parte del 50% de agua que produce la subcuenca del río Daule, cuando el embalse alcanza su máxima cota de 88 metros sobre el nivel del mar, forma un espejo de agua de aproximadamente de 295 km², esta represa aumenta el flujo de agua dulce al estuario del río Guayas durante la estación seca, evitando la intrusión de agua salada en la parte baja del río Daule y potenciando la agricultura en esta área.

El proyecto de la represa de los ríos Daule-Peripa descrito anteriormente también aumentará las áreas de explotación agrícola en la cuenca del río Guayas. El área propuesta para la agricultura de regadío es de 125.000 hectáreas ubicadas en la cuenca del río Daule, la península de Santa Elena y la provincia de Manabí.

Uno de los objetivos del embalse es dotar de agua a la Península de Santa Elena

denominado Plan Hidráulico Acueducto Santa Elena (PHASE) [18], el cual es un conjunto de obras para dotar de agua a la provincia de Santa Elena para múltiples propósitos como: consumo humano, industrial y de riego, es una obra que tiene mas de 120 Km. de grandes canales revestidos, un túnel de 7 Km., capta las aguas del río Daule en el sitio conocido como La Toma, va al Embalse de Chongón que tiene una capacidad de 280 millones de m³, para luego redistribuirlas por canales hacia la Península de Santa Elena, y posteriormente a dos presa más pequeñas, El Azúcar de 70 millones de m³ y el embalse de Cola Playas de 2 millones de m³. El trasvase garantiza agua de riego para 50.000 hectáreas y agua potable para toda la población que llegue a tener la Península de Santa Elena, en la figura 3, se ilustra el proyecto PHASE



Figura 3. Proyecto Plan Hidráulico Acueducto Santa Elena, (PHASE), SENAGUA

La construcción de la Central Hidroeléctrica Marcial Laniado de Wind, es otros de los logros del proyecto multipropósito en la Cuenca del Río Guayas, que aprovecha los recursos hídricos de la Represa Daule-Peripa para la generación de electricidad, esta central tiene una capacidad instalada de 213 megavatios y comenzó a funcionar en 1998

(Hidroeléctrica Nacional, febrero de 2009). La generación media anual es de aproximadamente 600 GWh, de los cuales más del 50% se generan en el período crítico del Sistema Interconectado Nacional durante los meses de noviembre y diciembre, desde que empezó a operar la Central ha permitido un considerable ahorro de combustibles derivados del petróleo.

Existen otros proyectos que se están desarrollando en la cuenca del Guayas, como el proyecto multipropósito Baba [19], que contempla desviar las aguas del río Baba para explotar completamente la capacidad de la Central Hidroeléctrica, y en estudios se encuentra el proyecto Dauvin que tiene como objetivo proveer agua para la producción agrícola permanente y segura a 143.000 hectáreas y beneficiará a 180.000 personas de las provincias de Guayas y Los Ríos, esta obra ubicada al sur de la ruta de Tránsito Daule-Vinces-Babahoyo, entre los ríos Daule, Vinces y Babahoyo, también se ha firmado el “Contrato de Estudios del Proyecto de Tránsito Río Daule-Pedro Carbo que beneficiará a 76 mil personas y 25 mil hectáreas de Guayas y Manabí [20].

1.2.2 Clima de la región

La temporada de lluvias en la Cuenca del Guayas, se inicia en los primeros cuatro meses del año en que se producen el 85% de las precipitaciones, y en los meses restantes las lluvias se dan manera esporádica. La distribución espacial y temporal de las lluvias en la Cuenca del Guayas son muy variables, y van desde valores en promedio de 2.500 mm. en la parte noroeste sitio de Santo Domingo de los Colorados, disminuyendo hacia el sur en Quevedo es de alrededor de 2.200 mm, en la zona de Daule-Peripa de unos 1.800 mm, en Guayaquil de unos 1.200 mm, en Chongón de unos 750 mm. y hacia el oeste las lluvias son escasas y están por los 50 mm, hay zonas de la Cuenca con muchas precipitaciones y otras que tienen déficit hídrico [21].

Las condiciones climáticas de la cuenca del Guayas, se ven determinadas por su orografía, la que de manera directa influye sobre la variabilidad espacial de los parámetros meteorológicos tales como temperatura y precipitación, que determinan los diferentes tipos de clima [22].

La extensión de la Cuenca del Río Guayas es bastante grande y abarca tierras

bajas como de altura, y por lo tanto el clima es variable de acuerdo a su relieve, en la medida que disminuyen las alturas el clima es caluroso y con mucha humedad con temperaturas promedios entre 27 a 30°C.

1.2.3 Economía

Ecuador es un país agrícola, y posee 26.079.600 has, en la tabla No 4, están indicados los datos usos del suelo a nivel nacional por categorías desde el 2006 al 2010, de estos aproximadamente casi 12 millones de hectáreas corresponden para la producción agrícola (INEC). Excluyendo a la exportación de petróleo y la del cultivo del camarón, la economía del Ecuador esta fundamentada en la agricultura. Ecuador es el primer exportador de banano en el mundo, es reconocido en los mercados mundiales la calidad de su cacao, exportación de flores, frutas, primer exportador de madera de balsa y exportador de muchos más productos.

| Usos del suelo | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|----------------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Cultivos permanentes | 1.213.394 | 12.196.510 | 1264.129 | 1.349.251 | 1.391.379 |
| Cultivos transitorios y berbecho | 1.043.292 | 1.008.451 | 1.001.307 | 1.028.615 | 992.370 |
| Descanso | 190.257 | 187.010 | 235.091 | 170.769 | 193.956 |
| Pastos Cultivados | 3.542.901 | 3.623.888 | 3.703.010 | 3.561.943 | 3.409.992 |
| Pastos naturales | 1.455.081 | 1.373.040 | 1.242.343 | 1.423.937 | 1.509.971 |
| Paramos | 604.009 | 615.581 | 563.289 | 498.431 | 539.473 |
| Montes y bosques | 3.621.835 | 3.551.1710 | 3579.243 | 3.548.732 | 3.504.126 |
| Otros Usos | 255.603 | 254.513 | 235.285 | 232.593 | 217.055 |

Tabla No 4. Usos del suelo en el Ecuador periodo 2006-2010 (has), Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos INEC (2010).

En la tabla No 5, constan los principales productos que se cultivan a nivel nacional con su respectivo número de hectáreas, en una serie histórica que va del 2005 al 2010, se destacan los cultivos con mayor cantidad de hectáreas que se realizan.

La cuenca del Guayas es una de las zonas más ricas para el desarrollo de producción agropecuaria del Ecuador [23] se ha convertido en uno de los principales soportes de la economía nacional y en ella se dan los principales productos de exportación y de consumo interno, entre ellos banano, caña de azúcar, arroz, soja, maíz, algodón y madera de balsa del cual el Ecuador es el principal productor a nivel mundial y otros tipos de cultivos.

Principales cultivos Nacionales-Superficie cultivada (has)

| Productos | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Banano | 232.780 | 221.107 | 211.843 | 233.427 | 229.602 | 232.939 |
| Cacao | 406.866 | 407.868 | 422.985 | 455.414 | 468.840 | 491.221 |
| Maíz duro seco | 262.623 | 277.546 | 278.681 | 250.306 | 279.261 | 284.000 |
| Arroz | 380.254 | 402.345 | 385.872 | 365.000 | 380.345 | 382.230 |
| Café | 246.383 | 217.075 | 212.280 | 191.189 | 198.511 | 193.009 |
| Caña de azúcar | 76.500 | 76.799 | 77.100 | 76.400 | 76.900 | 79.435 |
| Palma africana | 172.674 | 174.883 | 167.134 | 174.644 | 232.497 | 258.218 |

Tabla No 5. Áreas cultivadas (has) por principales cultivos en Ecuador, MAGAP/INEC/SIGAGRO (2011)

1.3 Río Daule

El río Daule nace en el nudo de Sandomo, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, muy cerca de San Miguel o Peripa [24], su longitud aproximada es de 260 km., y forma la subcuenca del río Daule, y es la mas grande de las subcuencas de la Cuenca del Guayas, abarca una extensión territorial de 11.567,15 km² que representa aproximadamente el 5% del territorio nacional, y el 36% de toda la Cuenca del Río Guayas, que se ilustra en la figura No 5, se encuentra ubicada en zona occidental superior de la Cuenca del Río Guayas, es una de las zonas de mayor concentración de producción agrícola. Dentro de su influencia se encuentran las provincias de: Guayas, Manabí, Santa Elena, Los Ríos y Santo Domingo de los Tsáchilas, dentro de su área de influencia esta una población de 4 millones de personas [25].

El Río Daule, es el principal río de la Subcuenca del Río Daule, que es una de

las siete subcuencas que dan forma a la Cuenca del Río Guayas, hacia el río Daule confluyen los ríos Peripa, Puca, Pula, Pedro Carbo y otros arroyos, su caudal promedio máximo esta aproximadamente por los 1000 m³/s y el promedio mínimo sobre los 100 m³/s. El río es de leve pendiente, del orden del 0,2% al 0,05%, por lo que la influencia de la marea llega a unos 70 km. aguas arriba de Guayaquil hasta el sitio conocido como la Capilla. En época de lluvias la corriente del río se dirige hacia el río Guayas, pero en estación seca en la cual algunos tributarios prácticamente tienen cero de aportación al río Daule, la corriente se invierte en marea alta.

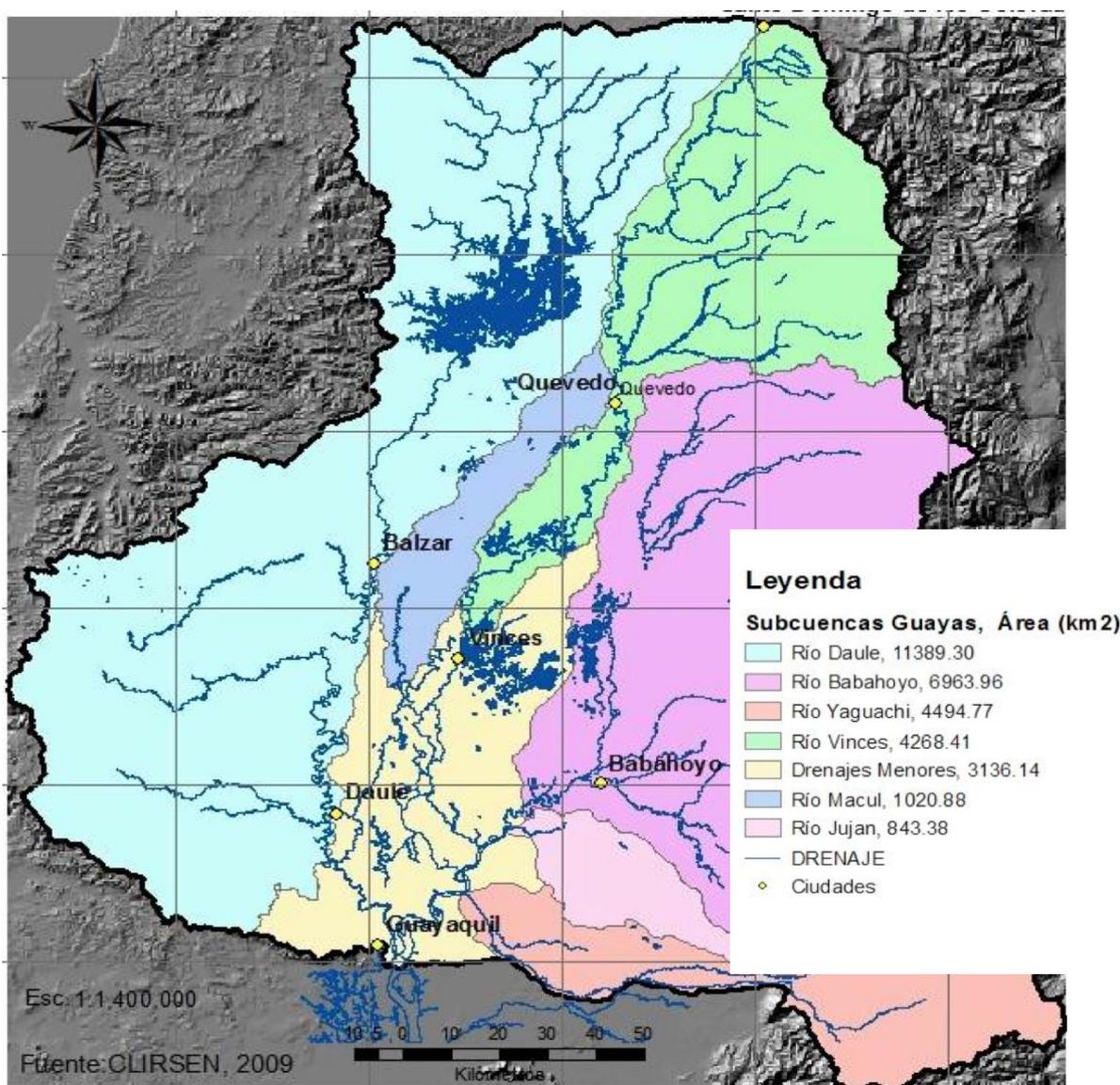


Figura 4. Mapa Hidrográfico de la Cuenca del Río Guayas, Convenio DED-SENAGUA, 2009

1.3.1 Caudales del río Daule

Si bien es cierto que la construcción de la represa regula el caudal del río Daule, no es menos cierto que los caudales del río Daule presentan variaciones estacionales, en época invernal los caudales se incrementan ya que algunos de sus aportantes como el río Pedro Carbo, Puca también tienen carácter estacional.

En el sitio La Capilla ubicada entre las coordenadas longitud $79^{\circ} 59'43''$ W y latitud $1^{\circ} 41'46''$ S, cerca de la ciudad de Santa Lucía, sitio que está dentro del tramo del estudio, el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INAMHI), tiene una estación para monitorear los caudales del río Daule, precipitaciones y temperatura en la zona.

Con los datos consultados, de los anuarios del INAMHI (Tablas y Anexos) sobre los caudales del río Daule en la estación La Capilla, se han elaborado las figuras 5 y 6, la primera relaciona los caudales antes de la construcción de la represa Daule-Peripa, y otra después de la misma, con la finalidad de observar las diferencias de los caudales en esas dos situaciones.

En la figura 5, están representados los caudales medio mensuales desde 1964 a 1988, se observa que en los meses de febrero, marzo, abril y también mayo, meses que están dentro de la época invernal se producen los más altos valores de caudales. Cabe indicar que durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo del año de 1983, se producen caudales de hasta $1.446,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (abril 1983), lo cual se debe que en dicho año se presentó el fenómeno del Niño. En la época de verano los caudales presentan valores bajos, y de muy marcada diferencia con los de invierno, se aprecian caudales de hasta $7,21 \text{ m}^3/\text{s}$ como en octubre de 1982.

En figura 6, están representados los caudales medios mensuales posterior a la construcción de la represa desde 1999 hasta el 2010, de manera en los meses de la época invernal se dan incrementos en los caudales, pero se puede observar que los meses de verano los caudales permanecen más o menos constantes, en niveles que oscilan entre 90 y $110 \text{ m}^3/\text{s}$, con lo que se evidencia la regulación de los caudales del río Daule por efecto de la represa, que permite una mejor provisión de agua en la época seca en sitios aguas abajo.

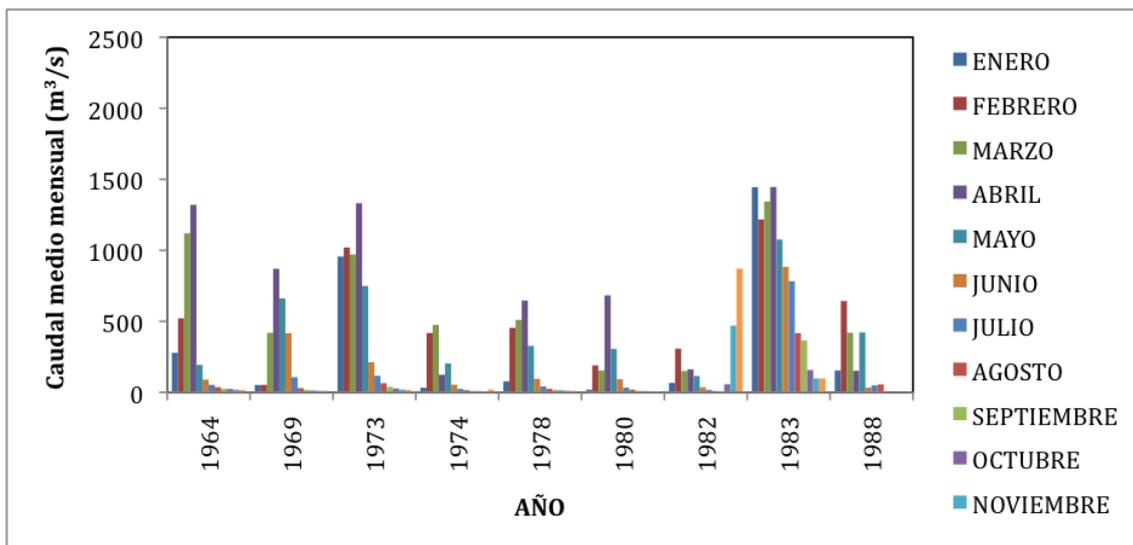


Figura 5. Caudales del río Daule, periodo 1964-1988, Anuarios del INAMHI

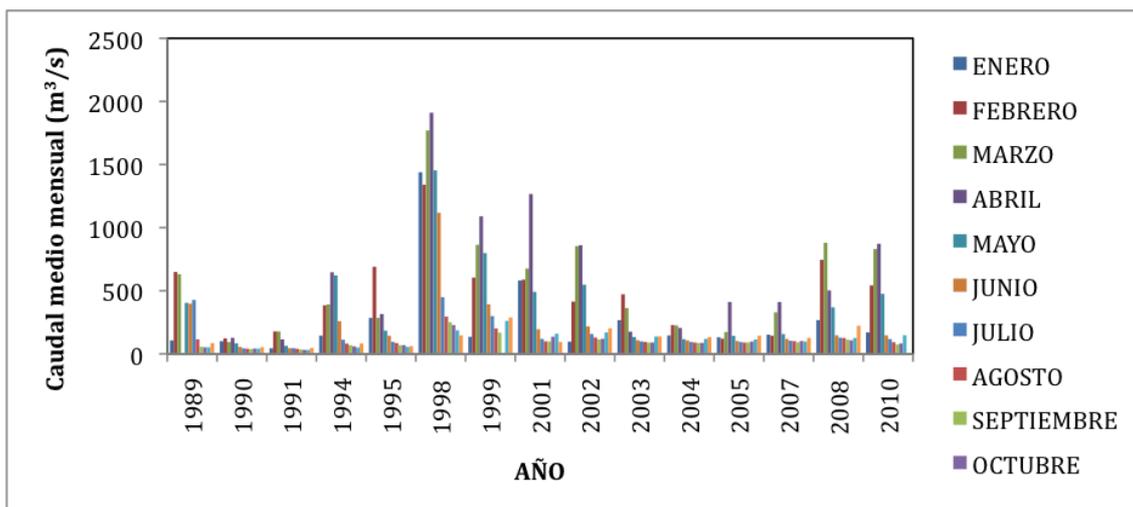


Figura 6. Caudales del río Daule, periodo 1989-2010, Anuarios del INAMHI

1.3.2 Población relacionada al río Daule

El río Daule es un recurso muy importante la región que comprende la cuenca del río Guayas, el país, y para las ciudades que se encuentran en sus márgenes: Pichincha, Balzar, Colimes, Daule, Palestina, Santa Lucía, Daule, Nobol, y para la ciudad de Guayaquil, como para otros centros urbanos más pequeños. La población total de los cantones indicados supera los 376.949 habitantes que se indica en la tabla No 6, sin considerar la ciudad de Guayaquil que tiene una población de 2.350.915

habitantes (INEC), que de manera directa dependen de la cantidad y calidad de sus aguas que representa el recurso hídrico de la Cuenca del Guayas, que en total dan una población aproximada del 30% del Ecuador.

Algunas de las poblaciones antes indicadas que se encuentran en las riberas del Daule, utilizan el recurso agua de varias formas, para consumo humano (directo sin potabilización) y uso domestico, como recreación, para uso agrícola, pecuario y transporte, impactando la calidad de éste recurso hídrico, en la legislación del Ecuador están establecidos los requisitos de calidad para cada unos de estos [26].

| Cantones | Población total | Población Urbana | Provincia a la que pertenece |
|-------------|-----------------|------------------|------------------------------|
| Balzar | 53.937 | 28.794 | Guayas |
| Colimes | 23.423 | 6.191 | Guayas |
| Daule | 120.326 | 65.145 | Guayas |
| El Empalme | 74.451 | 35.686 | Guayas |
| Nobol | 19.600 | 8.139 | Guayas |
| Palestina | 16.065 | 8.480 | Guayas |
| Pichincha | 30.224 | 3.834 | Manabí |
| Santa Lucía | 38.923 | 8.810 | Guayas |
| Total | 376.949 | 162.292 | |

Tabla No 6. Población ribereña del río Daule, INEC (2010)

El agua potable que consume la ciudad de Guayaquil, proviene del río Daule, cuya toma de captación esta ubicada en el sitio conocido como Puente Lucía, de tal manera que la calidad del agua, para el consumo tanto doméstico como industrial de Guayaquil, depende directamente de la calidad de las aguas del Daule. Por lo que importante la conservación del río Daule, para la provincia y el país, pues de este recurso depende gran parte de la agricultura de las provincias del Guayas, Manabí, Santa Elena, y en especial la zona arroceras del cantón Daule que es una de las más grande del país. Con la construcción de la represa Daule-Peripa se tiene un gran volumen de agua de aproximadamente 6.000 millones de m³, pero esto no asegura que

siempre se pueda contar con la agua represada si no se toman medidas de control sobre su calidad.

1.3.3 Indicadores de condiciones de vida de las poblaciones en las riberas del río Daule.

Los indicadores sobre las condiciones de vida que incluyen los servicios básicos, como agua potable, alcantarillado y deposición de residuos sólidos, de las ciudades que se encuentran que están en las riberas del río Daule, y que por sus actividades podrían afectar la calidad de las aguas del río Daule, se indican a continuación.

Un servicio básico importante es el de agua utilizado para uso doméstico, por lo que es importante establecer la procedencia del agua para las poblaciones urbanas que están en las riberas del río Daule, como se ve en la Tabla No 7, esta se da de varias formas, en promedio el 70,51% de esas poblaciones tiene acceso al agua potable a través de la red publica. Otras fuentes de agua no potable para uso doméstico proceden de pozos, por deposito cisterna, o albarradas, por lo que establece que no toda la población cuenta con provisión de agua segura.

| Ciudad | Red Publica | | Pozo | | Río o vertiente | | Deposito cisterna | | Otros (agua lluvia) | |
|-------------|-------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------------------|-------|---------------------|------|
| | Casos | % | Casos | % | Casos | % | Casos | % | Casos | % |
| Balzar | 4.079 | 57,67 | 2.683 | 37,93 | 14 | 0,20 | 221 | 3,12 | 76 | 1,07 |
| Colimes | 1.536 | 89,56 | 140 | 8,16 | 19 | 1,11 | 2 | 0,12 | 18 | 1,05 |
| Daule | 12.853 | 75,94 | 382 | 2,26 | 458 | 2,71 | 2782 | 16,44 | 451 | 2,66 |
| Empalme | 4.712 | 53,53 | 2.719 | 30,89 | 11 | 0,12 | 1297 | 14,74 | 63 | 0,72 |
| Nobol | 2.024 | 97,40 | 6 | 0,29 | 7 | 0,34 | 12 | 0,58 | 29 | 1,40 |
| Palestina | 2.001 | 87,04 | 272 | 11,83 | 6 | 0,26 | 5 | 0,22 | 15 | 0,65 |
| Pichincha | 630 | 10,53 | 3.263 | 54,54 | 2.023 | 33,81 | 27 | 0,45 | 40 | 0,67 |
| Santa Lucía | 2.174 | 92,43 | 61 | 2,59 | 73 | 3,10 | 15 | 0,64 | 29 | 1,23 |

Tabla No 7. Procedencia del agua de consumo en ciudades ribereñas del río Daule, INEC (2010)

Otro servicio básico importante para las poblaciones, es la forma como se gestiona las aguas resultantes del uso doméstico e industrial, en la tabla No 8, se indican

los datos, relacionados a la disposición de las aguas resultantes del uso doméstico en el área urbana, que en el mejor de los casos el 28,52 % de las viviendas están conectadas a la red de alcantarillado público, que comparado con Guayaquil donde el 60,65 %, si esta en la red alcantarillado, se ve la brecha en este servicio entre las grandes y pequeñas ciudades. Pero al estar conectado a una red pública de alcantarillado no necesariamente significa que se esté gestionando adecuadamente las aguas residuales urbanas, dado que la gran mayoría de los centros urbanos no dan ningún tipo de tratamiento a las aguas residuales.

| Ciudad | Conectado a red pública alcantarillado | | Conectado a pozo séptico | | Conectado a pozo ciego | | Descarga directa al río o quebrada | | letrina | | No tiene | |
|-------------|--|-------|--------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------------------|------|---------|------|----------|------|
| | casos | % | casos | % | casos | % | casos | % | casos | % | caso | % |
| Balzar | 2.619 | 37,03 | 2.361 | 33,38 | 1.734 | 24,52 | 43 | 0,61 | 40 | 0,57 | 276 | 3,90 |
| Colimes | 500 | 29,15 | 628 | 36,62 | 448 | 26,12 | 5 | 0,29 | 40 | 2,33 | 94 | 5,48 |
| Daule | 6.646 | 39,27 | 7.886 | 46,59 | 1.270 | 7,50 | 15 | 0,09 | 265 | 1,57 | 844 | 4,99 |
| El Empalme | 715 | 8,12 | 6.471 | 73,52 | 1.117 | 12,69 | 101 | 1,15 | 85 | 0,97 | 313 | 3,56 |
| Nobol | 687 | 33,06 | 1.020 | 49,09 | 213 | 10,25 | 4 | 0,19 | 21 | 1,01 | 133 | 6,40 |
| Palestina | 997 | 43,37 | 936 | 40,71 | 256 | 11,14 | 2 | 0,09 | 18 | 0,78 | 90 | 3,91 |
| Pichincha | 32 | 3,46 | 786 | 84,97 | 68 | 7,35 | 8 | 0,86 | 7 | 0,76 | 24 | 2,59 |
| Santa Lucía | 817 | 34,74 | 1.080 | 45,92 | 294 | 12,50 | 1 | 0,04 | 26 | 1,11 | 134 | 5,70 |

Tabla No 8. Formas de evacuación de aguas residuales urbanas de las poblaciones ribereñas del río Daule, INEC (2010)

Con respecto a la disposición de los residuos sólidos a nivel de país, en la tabla No 9, se indica que en promedio el 91,83% de los residuos sólidos generados en el área urbana, por las viviendas son recogidos mediante carro recolector, el restante porcentaje se elimina de diferentes maneras: incineración, enterrándola, arrojándola al río o de otra forma, en lo que respecta al área rural la situación es muy diferente ya que en la gran mayoría de las pequeñas poblaciones se carece del servicio de recolección de residuos sólidos y la población rural arroja los desperdicios sólidos al río, quebradas o los incinera. Cabe indicar que en Ecuador, son muy pocas las ciudades que poseen sitios

realmente adecuados para la disposición de residuos sólidos, en muchas ciudades se los dispone en áreas a cielo abierto que son focos de infección e insalubridad.

| Ciudad | Por carro recolector | | Queman | | Entierran | | La arrojan al río, acequia o canal | | De otra forma | |
|------------|----------------------|-------|--------|-------|-----------|------|------------------------------------|------|---------------|------|
| | Casos | % | Casos | % | Casos | % | casos | % | casos | % |
| Balzar | 6.102 | 86,27 | 865 | 12,23 | 12 | 0,17 | 27 | 0,38 | 11 | 0,16 |
| Colimes | 1.492 | 87,00 | 186 | 10,85 | 4 | 0,23 | 14 | 0,82 | 5 | 0,29 |
| Daule | 15.19 | 89,75 | 1.602 | 9,46 | 18 | 0,11 | 5 | 0,03 | 44 | 0,26 |
| Empalme | 8.313 | 94,44 | 413 | 4,69 | 7 | 0,08 | 4 | 0,05 | 16 | 0,18 |
| Nobol | 1.960 | 94,32 | 112 | 5,39 | 2 | 0,10 | - | - | 2 | 0,10 |
| Palestina | 2.132 | 92,74 | 144 | 6,26 | 1 | 0,04 | 5 | 0,22 | 3 | 0,13 |
| Pichincha | 878 | 94,92 | 33 | 3,57 | - | - | 1 | 0,11 | - | - |
| Sta. Lucía | 2.240 | 95,24 | 97 | 4,12 | 2 | 0,09 | 1 | 0,04 | 8 | 0,34 |

Tabla No 9. Disposición de residuos sólidos urbanos de ciudades ribereñas del río Daule, INEC (2010)

1.4 Usos del agua

El recurso agua por su utilización se lo divide en dos grupos: el uso consuntivo que es el agua que no se devuelve en forma inmediata al ciclo del agua y su uso puede ser medido cuantitativamente, y el no consuntivo el cual consiste en su uso sin extraerla de su ambiente natural, ejemplo el generar energía eléctrica transporte. En nuestro país el uso no consuntivo es el que más utiliza el recurso agua y esta representado por la generación de energía hidroeléctrica, por otra parte dada la vocación por la agricultura de nuestro país se utilizan grandes cantidades de agua para riego, ya que los cultivos como banano arroz, cacao y otros, demandan en gran cantidad este recurso.

En el Ecuador la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), ejerce la rectoría de la gestión y administración del agua, y para la entrega de concesiones del agua para lo cual dispone de 11 Agencias de Aguas, las mismas que se encargan de los procedimientos administrativos y judiciales en temas referentes al aprovechamiento del agua por parte de la comunidad.

A nivel nacional se tienen 68.244 concesiones para usos consuntivos y no consuntivos, que representan un caudal total de 2.890,29 m³/s, de los cuales 2.251,3 m³/s corresponden a usos no consuntivos [27] que representan un 77,89%, el 22,1% es de usos consuntivos. Los usos consuntivos incluyen; abrevadero, recreación, uso doméstico, agua potable, agua de mesa, piscícolas, termales, riego y otros. En la figura 7, se indican los usos consuntivos del agua a nivel nacional.

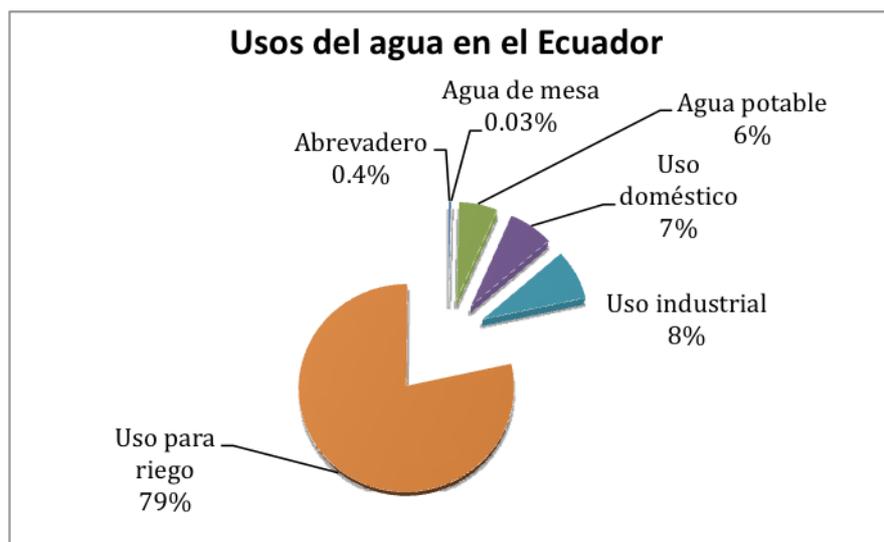


Figura. 7. Usos del agua en Ecuador.

El principal uso del agua en Ecuador es para riego, unas 3.000.000 de has. comprenden el área regable del país, de las cuales aproximadamente el 93% se encuentran en la vertiente del Pacífico y en la cuenca del Río Guayas se encuentran el 40% del área regable del total del país, y requiere del recurso agua en forma intensa [28].

1.5 Estado de la Calidad de las aguas de Ecuador y del río Daule

El Ecuador como muchos de los países en desarrollo, se encuentra realizando grandes esfuerzos por cumplir con los Objetivos de Desarrollo del Milenio, como el ampliar la cobertura de agua potable y saneamiento, ya que ello asegurará mejores condiciones de vida para la población y también del ambiente. Para enfocar la calidad del agua del país y del río Daule es necesario considerar algunos índices que tienen relación, con el destino de las aguas residuales y su tratamiento y la disposición de residuos sólidos.

Las actividades antrópicas, generan cantidad de residuos líquidos y sólidos, los cuales de manera directa o indirecta van a afectar a los suelos y a las aguas bien sean estas superficiales o subterráneas, dependiendo de la forma en que los residuos sean vertidos al ambiente se puede tener una contaminación puntual o difusa. La contaminación puntual en los ríos del Ecuador y en el caso del río Daule esta dada por los centros urbanos que se han desarrollado en sus riberas y que aportan gran cantidad de materiales contaminantes, sobre todo las aguas residuales urbanas que se vierten sin ningún tratamiento y de algunas industrias que se encuentran ubicadas en un sector de Guayaquil que están en las riberas del río Daule y las difusas corresponden fundamentalmente a aquellas que se dan por la agricultura.

Pero como se ha indicado anteriormente, una gran actividad desarrollada con las aguas del río Daule es la agricultura, y esta es causa de contaminación difusa, por el uso de una gran cantidad de agroquímicos, que se utilizan para su desarrollo.

En Ecuador durante los últimos años se ha incrementado la provisión de agua a la población, y acuerdo a datos del censo del 2010 (INEC), la cobertura de provisión de agua por medio de la red pública a nivel nacional es del 71,98%, el 11,72% se abastece de pozos, 9,72% de vertientes o ríos, el 5,05% de deposito cisterna y el resto por otros medios, lo cual no ido acompañado de la debida gestión de las aguas resultantes de sus usos.

En lo respecta a la eliminación de aguas residuales a nivel de país el 53,59%, esta conectado a la red pública, un 33,92% a pozos sépticos, el 12,49% se las descargan directa al mar, río, lago o canal.

Por otra parte la recolección de residuos sólidos a nivel nacional es del 76,97% por carro recolector, el 4,56% lo desechan en terrenos baldíos, el 15,51% los incineran y un 3,01% los elimina de otra forma.

Algunos ríos de Ecuador se encuentran contaminados, las causas de la contaminación son diversas como: actividad minera, explotación hidrocarburífica, utilización de variados productos agroquímicos en la agricultura, desechos industriales, por aguas residuales urbanas e industriales no tratadas siendo esta una de las principales fuentes, otra fuente resulta la inadecuada disposición de residuos sólidos, y de los

lixiviados de los botaderos de basura y rellenos sanitarios [29].

En lo que respecta al tratamiento de aguas servidas, en el 1999 de los 214 municipios del país 35 tenían tratamiento de agua residual. Se calcula que solo el 8% de las aguas residuales tienen algún tipo de tratamiento, convirtiéndose en una de las principales causas de contaminación de los ríos, lo cual es provocado por el acelerado y desordenado crecimiento de la población urbana y se considera que por debajo de la cota de los 2.800 metros sobre el nivel del mar, las aguas no se pueden beber de manera directa [30-31].

El 92% de aguas residuales en Ecuador son descargadas de manera directa a las fuentes, que son causas de enfermedades por infecciones estomacales, generadas por la mala calidad del agua y alimentos, estas se encuentran entre las 10 principales causas de mortalidad y morbilidad en el país. Secretaría Nacional del agua indica que apenas el 10 por ciento de los municipios del país realiza un tratamiento completo de aguas servidas. En el caso de Guayaquil, la ciudad más grande del país en el 2009, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) determinó que apenas un 20 por ciento de sus aguas residuales tenían un tratamiento completo, mientras que el 80 por ciento restante cumplía con un tratamiento primario [32].

1.6 Marco legal del agua

La constitution de el Ecuador del 2008, garantiza sin discriminación alguna el goce de el agua para sus habitantes. El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico, de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, planificación y gestión de los recursos hídricos: consumo humano, soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas.

El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos, para lo cual en el 2008, creó la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), con el objetivo de conducir y regir los procesos de gestión de manera integrada y sustentable en los ámbitos de las cuencas hidrográficas.

Dentro de la estructura de la SENAGUA, están las Agencias del Agua, que son órganos territoriales que tiene a su cargo los procedimientos administrativos y judiciales en primera instancia, en temas referentes a: Derechos de aprovechamientos de agua, servidumbres, organización de usuarios, autorizaciones de explotación de aguas subterráneas, construcción de obras de infraestructura, elaboración de informes para concesiones de explotación minera entre otras.

La Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: recurso Agua, que se encuentra en el Libro VI-Anexo 1, dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional que determina lo siguiente:

- Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado.
- Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

Los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y doméstico que únicamente requieren tratamiento convencional se encuentran en la tabla No. 55 en el Anexo 6.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Objetivo

2.1.1. Objetivos específicos

2.2. Metodología del estudio experimental del trabajo de la tesis

2.2.1. Sistemática de muestreo

2.2.2. Toma y conservación de muestras de agua

2.2.3. Equipos

2.3. Métodos de análisis en muestras de agua

2.3.1. Determinaciones analíticas

2.3.1.1. Determinaciones de parámetros físico-químicos in-situ

2.3.1.2. Determinaciones analíticas en laboratorio

2.3.1.2.1. Determinaciones de parámetros físico-químicos en laboratorio

2.3.1.2.2. Determinación de compuestos orgánicos contaminantes

2.3.1.2.3. Determinación de carbono orgánico total

2.3.1.2.4. Determinación de iones metálicos mayoritarios

2.3.1.2.5. Determinación de metales pesados

2.3.1.2.6. Determinación coliformes fecales y totales

2.3.1.2.7. Determinación de la toxicidad de las aguas del río Daule

2.3.1.3. Análisis de los sedimentos

2.3.1.3.1. Determinación de la materia orgánica por pérdida de masa

2.3.1.3.2. Determinación de los compuestos orgánicos persistentes

2.3.1.3.3. Determinación de metales pesados

2.3.1.3.4. Ensayos de toxicidad

2.1 Objetivo.

El objetivo general del presente trabajo de tesis, es realizar un estudio de la contaminación química, orgánica, inorgánica, microbiológica y toxicológica de las aguas y sedimentos del río Daule, a lo largo de aproximadamente 80 km. Las estaciones escogidas para el muestreo son sitios cercanos a centros urbanos asentados en las riberas del río Daule y que estarían aportando agentes contaminantes adicionales a los aportados por la agricultura, que es el principal uso de sus aguas. El río Daule, forma la principal subcuenca de la Cuenca del río Guayas, es un recurso hídrico vital para la Provincia del Guayas y el país, que representa el 25% de la población del Ecuador, que aparte de ser usado para en agricultura, y previo su tratamiento es fuente de provisión de agua potable para Guayaquil, y otras ciudades, para la industria y otros usos, que de no tener el conocimiento del grado de calidad de las mismas podría verse afectada por los usos que se le de.

2.1.1 Objetivos específicos:

- Determinación de parámetros físico-químicos in situ y en laboratorio.
- Determinación de compuestos orgánicos persistentes: pesticidas organoclorados (OC) y organofosforados (OF), bifenilos policlorados (PCBs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), en las aguas del río Daule.
- Determinación la presencia de metales pesados en agua.
- Determinar la contaminación microbiológica de las aguas del río Daule.
- Determinar la toxicidad de las aguas y sedimentos del río Daule.
- Determinación de compuestos orgánicos persistentes: pesticidas organoclorados (OC) y organofosforados (OF), bifenilos policlorados (PCBs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), en sedimentos del río Daule.
- Determinar la presencia metales pesados en sedimentos.

2.2 Metodología del estudio experimental del trabajo de la tesis

La realización del presente trabajo, corresponde al estudio de los parámetros físico-químicos, microbiológicos y toxicológicos de las aguas y sedimentos del río Daule, a fin de establecer su calidad, en un tramo aproximado de 80 km., para el estudio de las aguas del río escogieron siete estaciones, y en el caso de los sedimentos se los hizo en seis estaciones cuyos sitios y coordenadas se encuentran indicados en la tabla No 10 y figura 8. En el caso de los muestreos para sedimentos, no se realizaron toma de muestras en la estación Balzar1 por dificultades de acceso debido a la profundidad del río.

| Estaciones de muestreo de aguas/sedimentos | Lugar | Coordenadas | |
|--|--------------|--------------|---------------|
| 1 | Balzar 1 | S 01°21,594' | W 079°54,448' |
| 2 | Balzar 2 | S 01°21,897' | W 079°54,759' |
| 3 | Palestina | S 01°37,447' | W 079°58,847' |
| 4 | Santa Lucía | S 01°42,705' | W 079°59,231' |
| 5 | Daule | S 01°51,771' | W 079°58,852' |
| 6 | Nobol | S 01°54,971' | W 080°00,491' |
| 7 | Puente Lucía | S 01°59,007' | W 079°59,050' |

Tabla No 10. Coordenadas de las estaciones de muestreo de aguas y sedimentos

La estaciones fueron seleccionadas, por que pudieran representar sitios críticos en cuanto a la posible contaminación por aguas resultantes de uso doméstico y por otras actividades antropogénicas que se realizan en las poblaciones que se encuentran asentadas en las riberas del río, así como también por desechos sólidos. Los sitios fueron determinados mediante posicionamiento geográfico con ayuda de un GPS portátil, las estaciones de muestreo fueron escogidos no necesariamente porque representen sitios críticos por probable contaminación con pesticidas, abonos o cualquier tipo de agroquímico u otros contaminantes orgánicos, debido a que a todo lo largo del tramo escogido se utilizan las aguas de este río para uso agrícola, pero si por contaminación antrópica de las poblaciones ribereñas. Cabe indicar que las estaciones seleccionadas facilitaron el acceso para la toma de muestras, ya que en dichos sitios se pudo realizar alquileres de embarcaciones tipo canoa que en otros sitios no fue posible conseguir, también hubo de considerar que otros sitios son de difícil acceso y pudieron representar peligros para la seguridad personal durante las actividades de muestreo.

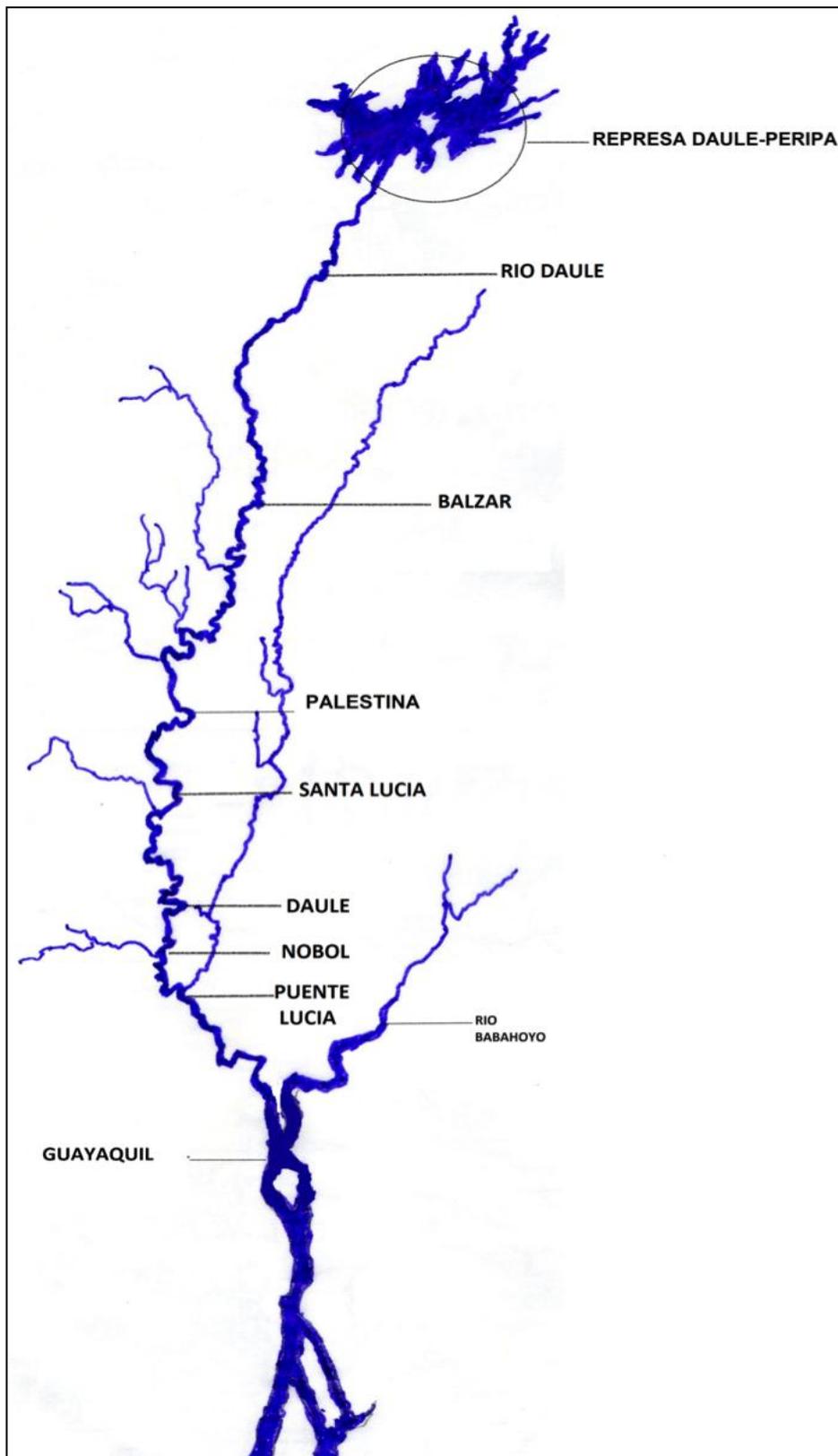


Figura 8. Ubicación de las estaciones de muestreo en el río Daule

2.2.1 Sistemática de muestreo

A fin de caracterizar las variaciones estacionales de la calidad de las aguas del río Daule, los muestreos se realizaron en época de invierno (lluvias) y de verano (época seca), para establecer la influencia de las precipitaciones atmosféricas sobre la composición de las aguas, y en términos generales fueron mensuales y realizados de junio del 2011 a junio del 2012, las muestras que se tomaron fueron simples, y se realizaron a mitad del río y contra corriente a una profundidad de un metro aproximadamente, se las etiquetó con el nombre de la estación, fecha hora y el tipo de preservante químico agregado, adicionalmente se las preservó adecuadamente en neveras portátiles a una temperatura de 4°C, con la finalidad de evitar posibles cambios químicos hasta que lleguen al laboratorio para la realización de los análisis correspondientes.

En lo que respecta a los sedimentos se realizaron siete muestreos, de diciembre del 2011 a junio del 2012, la toma de muestras se realizó con una draga de impacto, que permite tomar los sedimentos superficiales, las muestras fueron tomados a mitad del río, luego de lo cual fueron depositados en envases plásticos y seguidamente sometidos a secado ambiental, para luego tamizarlas a fin de tener la fracción más adecuada para los análisis correspondientes.

La metodología aplicada a la presente investigación abarca tres etapas: trabajo de campo, determinación de parámetros in situ y realización de análisis en el laboratorio.

2.2.2 Toma y conservación de muestras de aguas

Cuando se realiza la toma de muestras, sea este de un cuerpo de agua residual, efluente industrial, o de aguas superficiales, que tengan que ser analizadas no en el sitio, sino que estas deban ser trasladadas a un laboratorio para su posterior análisis, se deben tomar en consideración algunos requisitos, como el que la muestra sea homogénea y representativa del material que se va a someter a estudio y evitar en lo posible alteraciones en los valores de los parámetros físico-químicos, microbiológicos a determinarse. La toma de muestra es una de las acciones de mayor importancia a

realizar de la que no solo dependen los resultados analíticos, sino también su posterior interpretación, y consiste en tomar una porción de material lo suficientemente pequeña como para ser fácilmente transportada al laboratorio de análisis para su investigación. Como requisito la muestra debe ser homogénea y representativa de las características medias del total del material muestreado

Para la actividad de muestreo se pueden utilizar envases de vidrio o plástico según el análisis a realizar. Previo a la actividad de muestreo se debe realizar la limpieza de los envases a utilizar, en el presente caso a los envases por 24 horas se los puso con una solución de ácido nítrico al 30% de concentración y luego fueron lavados no menos de tres veces con agua tipo milli-Q, con finalidad de evitar posible contaminación que pudieran contener los recipientes.

El transporte de la muestra, desde el lugar de toma hasta los laboratorios es una etapa crucial, ya que durante este lapso de tiempo podría ocurrir que las características físico-químicas y microbiológicas de las muestras presenten cambios, y la manera de evitarlo es la preservación.

La preservación de las muestras se puede hacer de varias formas como: Transportando las muestras en el menor tiempo posible, mediante la adición de reactivos químicos que ayuden a su preservación, evitando la luz solar, y el uso de refrigeración que generalmente mantiene la integridad de los compuestos químicos, en el presente caso las muestras se las preservó con sustancias químicas y adicionalmente se las transportó en neveras portátiles a una temperatura de 4°C.

En general se ha seguido los requerimientos especiales para la toma y conservación de muestras indicadas en el manual de Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales [33] APHA-AWWA-WPCF, EDICIÓN 17, 1992; que se encuentran indicadas en la tabla No 11.

2.2.3 Equipos

Para el tratamiento de las muestras de aguas y los análisis correspondientes, fueron necesarios la utilización de equipos específicos, auxiliares, reactivos con alto grado de pureza y variado material de vidrio, que se indican en el Anexo 1.

Capítulo 2 Objetivos y metodología general de la investigación

| Determinación | Envase | Tamaño mínima de muestra (ml) | Conservación | Tiempo máximo de conservación |
|------------------------|-------------------|-------------------------------|--|---|
| Alcalinidad | P, V (B) | 100 | Refrigerar | 24h/14 d |
| Compuestos orgánicos | V(D) | 1.000 | Refrigerar | 7 d/ 7 d hasta extracción, 40 d tras extracción |
| Carbono orgánico total | V | 100 | Análisis inmediato o añadir HCl hasta pH < 2 | 7 d/28 d |
| Nitrato | P, V | 100 | Analizar lo antes posible o refrigerar | 24 h /24 h |
| Nitrito | P, V | 100 | Analizar lo antes posible o refrigerar | Ninguno/28 d |
| Metales, en general | P(A), V(A) | -- | Metales disueltos, filtrar inmediatamente, añadir HNO ₃ hasta pH <2 | 6 meses/ 6 meses |
| Amoniaco | P, V | 500 | Analizar lo antes posible o añadir H ₂ SO ₄ hasta pH <2 | 7 d/ 28 d |
| Salinidad | V, sello de lacre | 240 | Analizar inmediatamente o emplear sello de lacre | 6 meses/ N. C |
| Sólidos | P, V | -- | Refrigerar | 7 d/ 2-7 |
| Sulfato | P, V | -- | Refrigerar | 28 d/ 28 d |
| Turbidez | P, V | 500 | Analizar inmediatamente | 0,5 h/N, C |

Tabla No. 11 Métodos Normalizados APHA-AWWA-WPCF

Notas: P= plástico (polietileno o equivalente; V= vidrio; V(B)= vidrio borosilicato; V(D)= lavado con disolventes orgánicos, N.C= no consta en la referencia citada

2.3 Métodos de Análisis de la muestras de aguas

Los análisis a realizar se los dividió en dos partes, aquellos que se debieron determinar in situ, como temperatura, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto y aquellos que necesariamente requieren de preparación para su determinación y que se realizaron en el laboratorio de Aguas del Instituto de Ciencias Químicas de la ESPOL, laboratorio que fue se instaló con el Proyecto “*Fortalecimiento de un Centro Tecnológico sobre la Gestión y Desarrollo de la Reutilización de Aguas Residuales procedentes de Depuradoras para Aplicaciones en Explotaciones Agrícolas*”, que se llevó a cabo entre las universidades de Las Palmas de Gran Canaria-España y la Escuela Superior Politécnica del Litoral-Ecuador, con el financiamiento de la Agencia Española de Cooperación y Desarrollo (AECID) y el laboratorio de Control Analítico de Fuentes Medioambientales (CAFMA).

2.3.1 Determinaciones analíticas

2.3.1.1 Determinaciones de parámetros físico-químicos in-situ

Los parámetros como temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, fueron determinados in situ, para que los valores determinados sean un reflejo de la naturaleza real de la muestra. Para la determinación de los parámetros in situ se utilizó la sonda multiparamétrica Orión 5 Star de la firma Thermo Scientific, la cual se introdujo a un metro de profundidad aproximadamente y determina de manera simultanea los parámetros: temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad, después de las determinaciones la sonda es lavada con agua destilada. Previo a la determinación de los parámetros indicados fue necesario que el equipo este calibrado de acuerdo al manual del mismo. En la tabla No 12, se indican los parámetros determinados.

| Parámetro | Equipo |
|------------------|--------------|
| Temperatura | Orión 5 Star |
| pH | Orión 5 Star |
| Oxígeno disuelto | Orión 5 Star |
| Conductividad | Orión 5 Star |

Tabla No 12. Listado de parámetros determinados in situ.

2.3.1.2 Determinaciones analítica ejecutadas en el laboratorio

2.3.1.2.1 Determinación de parámetros físico-químicos en el laboratorio

Los parámetros físico-químicos de las muestras de agua de las diferentes estaciones fueron determinados mediante la aplicación de los Métodos Normalizados APHA-AWWA-WPCF que se encuentran en la Tabla No 13.

| Parámetro | Unidades | Método de análisis |
|---------------------|--|--|
| Turbiedad | UNT | APHA 2130-B |
| Sulfatos | mg SO ₄ ²⁻ . L ⁻¹ | APHA 4500 -E |
| Cloruros | mg.L ⁻¹ | APHA 4500-CL B |
| Sólidos disueltos | mg.L ⁻¹ | APHA 2540-C |
| Sólidos suspendidos | mg.L ⁻¹ | APHA 2540-B-D |
| Sólidos totales | mg.L ⁻¹ | APHA 2540-B |
| Nitratos | mg.NO ₃ ⁻ . L ⁻¹ | APHA 4500 NO ₃ ⁻ B |
| Fosfatos | mg.PO ₄ ³⁻ | APHA 4500-P-E |
| Alcalinidad | mg.HCO ₃ ⁻ . L ⁻¹ | APHA 2320-B |
| Amonio | mg.NH ₄ ⁺ | APHA 4500-NH ₃ -C |
| Nitritos | mg.NO ₂ ⁻ . L ⁻¹ | APHA 4500-NO ₂ ⁻ B |

Tabla No 13 Métodos normalizados aplicados en la determinación de parámetros físico-químicos

2.3.1.2.2 Determinación de compuestos orgánicos contaminantes

Entre los compuestos orgánicos contaminantes que se analizaron en las muestras de aguas del río Daule están: los pesticidas organoclorados, y organofosforados, bifenilos policlorados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, la determinación de estos compuestos requiere de una fase preparativa de las muestras para la posterior determinación de los parámetros antes indicados, para todos los compuestos orgánicos la preparativa fue la misma y una de las primeras acciones aplicadas en nuestro caso fue la realización de la extracción líquido-líquido que se encuentra descrita en el Anexo 2.

Las determinaciones de los compuestos orgánicos contaminantes se llevaron a cabo en el Laboratorio de Control Analítico Medio Ambiental (CAFMA) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, mediante espectrometría de masas, la cual es una técnica instrumental altamente sensible para la determinación de compuestos orgánicos [34], que puede ser utilizada por si sola o en combinación con otra técnicas. El espectrómetro de masas es un instrumento diseñado para separar iones en fase gaseosa que consta de tres partes básicas:

- Fuente de ionización,
- Analizador y el,
- Transductor o detector.

En nuestro trabajo se utilizó, un espectrómetro de masa Modelo Saturno 2000 de la firma Varian el mismo que puede trabajar en modo MS/MS. El desarrollo de un método de análisis debe considerar algunos parámetros de los cuales va a depender, entre los están: rampa de temperatura, iones de cuantificación, temperaturas del inyector, tiempo de adsorción, amplitud, velocidad, estos parámetros dependerán del tipo de compuesto que se vaya a analizar que se indican en el Anexo 2.

2.3.1.2.3 Determinación de carbono orgánico total

Para la determinación del carbono orgánico se utilizó el equipo analizador Zhimadzu TOC Vcsn, el mismo que fue calibrado de acuerdo al manual del equipo. Para la determinación del carbono orgánico, las muestras tomadas del río se acidificaron con HCl hasta un $\text{pH} < 2$, en el laboratorio las muestras de agua fueron filtradas utilizando un filtro de 0,45 micras, y después de lo cual cada muestra fue leída por triplicado.

2.3.1.2.4 Determinación de iones metálicos mayoritarios

La composición de la mayoría de las aguas superficiales, es producto de la interacción del agua con las rocas que se encuentran en la superficie terrestre. El origen de los constituyentes mayoritarios metálicos disueltos en el agua, está controlado por

numerosas variables: químicas geológicas, climáticas y biológicas y puede verse alterada por actividades humanas: agrícolas, ganaderas e industriales, principalmente. Entre los cationes mayoritarios determinados están: calcio, magnesio, sodio y potasio, la presencia de estos iones fue determinada mediante absorción atómica a la llama, cuyo procedimiento consta en el Anexo 3.

2.3.1.2.5 Determinación metales pesados en agua

Las concentraciones de metales pesados en aguas superficiales, generalmente esta en el orden de partes por billón, por lo cual el método aconsejable a utilizar es la atomización electrotérmica, la cual es de alta sensibilidad, para el caso del mercurio se utilizó el método de vapor frío. La metodología para la determinación de los metales pesados esta indicada en el Anexo 3.

2.3.1.2.6 Determinación de Coliformes fecales y totales

Las aguas de ríos, como es el caso del río Daule, generalmente contienen coliformes fecales y totales producto de descargas directas de aguas residuales urbanas, o del vertido de aguas depuradas, y de contaminación producida por animales.

Los métodos de análisis microbiológicos de un agua, tienen por finalidad la determinación de microorganismos, que modifiquen su calidad para un determinado uso, razón por la cual los análisis microbiológicos deben realizarse e interpretarse en función del uso posterior del agua.

La determinación de microorganismos coliformes totales por el método del número más probable (NMP), se fundamenta en la capacidad que tiene este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a 37°C durante 24 horas. Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaces de fermentar la lactosa a 44°C en vez de 37°C como lo hacen los totales. Esta técnica se utiliza para casi toda clase de bacterias en muestras líquidas, y puede observarse fácilmente el crecimiento por la turbidez o la producción de ácidos y gas. El método cuantitativo utilizado en este estudio fue de naturaleza estadística, para la determinación de coliformes fecales y totales, y se la realizó por el método del número

más probable (NMP), la densidad del grupo coliforme total se calcula por la tabla del NMP, teniendo como base los tubos positivos del medio, y es expresa como NMP fecal por 100 ml, el procedimiento para los ensayos microbiológicos esta en el Anexo 4.

2.3.1.2.7 Determinación de la toxicidad de las aguas del río Daule

El mecanismo de la bioluminiscencia bacteriana está ligado al sistema de transporte de electrones en la respiración celular y responde al estado metabólico de la célula, por lo que un decaimiento en la luminiscencia emitida es un indicativo de que la respiración bacteriana está comprometida por algún daño ocasionado por agentes externos que afectan la suspensión del ensayo como sustancias insolubles, solubles, concentraciones de NaCl mayor a $35 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, por adsorción o dispersión de luz; entre otros.

La toxicidad de las aguas del río Daule, fue determinada con el equipo Optocom 1, utilizando las bacterias *Vibrio fischeri*. El bioensayo de toxicidad que se distribuye comercialmente como Microtox®, es un bioensayo utilizado para la determinación de la toxicidad aguda en muestras medioambientales y compuestos puros, y se fundamenta, en que el microorganismo *vibrio fischeri* utilizado es sensible a un amplio número de compuestos tóxicos y contaminantes y se reduce la bioluminiscencia natural que posee esta bacteria cuando entra en contacto con sustancias contaminantes, Este cambio en la emisión de luz es directamente proporcional a la presencia de tóxicos en la muestra. La toxicidad se expresa como la concentración del agente que produce la reducción del 50% de la luminiscencia.

Actualmente este bioensayo es utilizado para la determinación de toxicidad de aguas naturales, residuales y también de muestras sólidas como suelos y sedimentos o sus extractos acuosos. El procedimiento esta descrito en el Anexo 4.

2.3.1.3 Análisis de los sedimentos.

Para el caso del presente estudio, las muestras de sedimento se extrajeron del fondo del río y en la parte central del cauce, con una draga de impacto, las muestras se

recolectaron en envases plásticos, se realizó el secado de las mismas cuyo procedimiento se indica en el Anexo 5.

2.3.1.3.1 Determinación de la materia orgánica por pérdida de masa

La materia orgánica presente en los sedimentos, es una mezcla de componentes de variada composición y orígenes bióticos, su principal componente es el carbono. Existen varios métodos de determinación de carbono, pero algunos de ellos son caros y difícil de mantener, pero existe el método de pérdida de masa por ignición, por sus siglas en inglés (LOI), que implica la combustión de las muestras a altas temperaturas, en la literatura se lo describe como un método económico, fiable y conveniente para la estimación de la materia orgánica [35] y esta basado en el calentamiento de muestras en una mufla a una temperatura de 500 a 550°C por unas tres horas, a las cuales previamente se ha eliminado la humedad. El procedimiento se indica en el Anexo 5.

2.3.1.3.2 Determinación de los compuestos orgánicos persistentes

Previo a la determinación de los pesticidas organoclorados, organofosforados, bifenilos policlorados e hidrocarburos aromáticos policíclicos, se realizó la preparación de las muestras, indicadas en el Anexo 5.

La determinación de pesticidas organoclorados, organofosforados, hidrocarburos y compuestos aromáticos policíclicos y bifenilos policlorados, se llevo a cabo en los laboratorios del CAFMA, en las mismas condiciones y en los mismos equipos, en que se realizaron las determinaciones de dichos contaminantes para las muestras de aguas.

2.3.1.3.3 Determinación de metales pesados

Para la determinación de los metales pesados Cr, Cu, Cd, Pb, Ni, Zn y Hg, las muestras de los sedimentos previamente tamizadas se las digirió en vasos de TFM herméticamente cerrados, en el equipo de digestión por microondas Star D de la firma Milestone, de acuerdo a la metodología EPA 3051, éste procedimiento permite realizar la digestión de las muestras de suelos y sedimentos en tiempos cortos y realizar unas buenas recuperaciones incluso de elementos muy volátiles. En la actualidad, existen varios métodos oficiales que emplean diferentes mezclas de ácidos y sistemas de

calentamiento por microonda como: US-EPA 3050B método, y el método de la US-EPA 3052 [36].

2.3.1.3.4 Ensayos de toxicidad

La toxicidad en los sedimentos, fue determinada siguiendo fundamentalmente el procedimiento del ensayo Microtox BSPT (ensayo básico en fase sólida) [37], que se indica en la tabla No 14.

| | |
|--|---|
| Facilidades y equipamiento | Fotómetro Microtox Analizador, lectura de 490 ± 100 nm; con temperatura controlada o incubador de $15 \pm 0,5^\circ\text{C}$. |
| Solución de reconstitución | Agua pura, no tóxica. |
| Agua de dilución/control | Diluyente adquirido desde un proveedor comercial o NaCl al 3,5%. |
| Temperatura de prueba | $15 \pm 0,5^\circ\text{C}$ |
| pH de la muestra, salinidad y turbidez/color | No ajuste o corrección. |
| Aeración | No requerida. |
| Submuestra para contenido de humedad | Tres réplicas de $5 \pm 0,2$ g seco $100 \pm 0,5^\circ\text{C}$ por 24 h |
| Dilución primaria | $7.00 \pm 0,05$ g total de sedimento homogenizado en 35 ml de agua de dilución en vaso de precipitación, mezclar por 10 min. sobre un agitador magnético. |
| Concentraciones de prueba | Normalmente la concentración de prueba máxima es $99,000 \text{ mg.L}^{-1}$ sobre el peso húmedo básico con dos diluciones doblez, para un total de 2 concentraciones de prueba; dos soluciones controles; dejar por 10 min. para equilibrar la temperatura de la prueba. |
| Especies de prueba | Línea estandarizada <i>Vibrio fischeri</i> reconstituir girando el vial de tres a cuatro veces y mezclando 10 veces con pipeta de 0,5 ml y sostener a $5,5 \pm 1^\circ\text{C}$ por 30 min. |
| Inoculo | 10 μL dentro de cada concentración de prueba, mezclar tres veces con pipeta de 1,5 ml. |
| Incubación | 500 μL dentro de las cubetas de vidrio disponibles a la temperatura de la prueba. |
| Observaciones | Niveles de luz de todas las mediciones del control y concentraciones de prueba. |
| Puntos finales | IC50 (mg.L^{-1}), calculado por software; normalizado por el contenido de humedad de l sedimento. |
| Tóxico de referencia | Desarrollado dentro de un mes para cada prueba, usando un control positivo y el mismo procedimiento y condiciones para las mediciones de la prueba de toxicidad para el sedimento |

Tabla No 14. Parámetros y condiciones del protocolo SBPT con la bacteria *Vibrio fischeri*

CAPÍTULO 3

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DEL RÍO DAULE

- 3.1. Hidroquímica
- 3.2. Parámetros físico-químicos de las aguas del río Daule
 - 3.2.1. Temperatura
 - 3.2.2. Potencial de hidrógeno
 - 3.2.3. Conductividad
 - 3.2.4. Oxígeno disuelto
 - 3.2.5. Alcalinidad
 - 3.2.6. Amonio
 - 3.2.7. Nitratos
 - 3.2.8. Nitritos
 - 3.2.9. Cloruros
 - 3.2.10. Sólidos suspendidos
 - 3.2.11. Sólidos disueltos
 - 3.2.12. Sólidos totales
 - 3.2.13. Turbidez
 - 3.2.14. Sulfatos
 - 3.2.15. Fosfatos
 - 3.2.16. Carbono orgánico total
 - 3.2.17. Calcio
 - 3.2.18. Magnesio
 - 3.2.19. Sodio
 - 3.2.20. Potasio
- 3.3. Metales pesados en agua
 - 3.3.1. Introducción
 - 3.3.2. Ciclo biogeoquímico
 - 3.3.3. Toxicidad
 - 3.3.3.1. Grado de toxicidad y biodisponibilidad
 - 3.3.4. Arsénico
 - 3.3.5. Cadmio
 - 3.3.6. Cinc
 - 3.3.7. Cobre
 - 3.3.8. Cromo
 - 3.3.9. Hierro
 - 3.3.10. Mercurio
 - 3.3.11. Níquel
 - 3.3.12. Plomo

3.1 Hidroquímica

Las aguas superficiales y entre ellas las aguas de los ríos, son sistemas dinámicos, complejos y frágiles que fluyen a lo largo de centenares de kilómetros, como es el caso del río Daule cuya longitud es de aproximadamente 260 km. La calidad de las aguas superficiales pueden variar de forma espacial y temporal en función de procesos interrelacionados como: morfológicos, hidrológicos, físico-químicos, biogeoquímicos y sedimentológicos naturales [38], así como del clima y las precipitaciones, que determinan las condiciones químicas de sus aguas y son fuente de variedad de materiales disueltos y partículas. Adicionalmente a los factores antes indicados hay que considerar la actividad antropogénica [39] que es capaz de aportar grandes cantidades de compuestos químicos contaminantes a través de actividades como, minería, deforestación, urbanización, desarrollo agrícola, uso de pesticidas, construcción de carreteras, obras hidroeléctricas, drenaje del suelo, vertidos domésticos e industriales, los cuales modifican de manera sustancial la química natural del agua.

Entre las sustancias presentes en el agua están los iones, algunos de los cuales se encuentran en forma mayoritaria y cuyas concentraciones por lo general son mayores de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ y comprenden los aniones: cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) y los cationes: sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y los minoritarios entre los cuales tenemos, los nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), carbonatos (CO_3^{2-}), potasio (K^+), hierro (Fe^{2+}), así como aquellos que se encuentran a nivel de trazas cuyas concentraciones son menores a $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$, como es caso de los metales pesados, de manera general las especies químicas disueltas pueden tener un amplio rango de concentración.

Debido a las variaciones espaciales y temporales de la química del agua, se hacen necesarios programas de evaluación y control de la calidad del agua. La evaluación de la calidad del agua es el proceso de valoración total de la naturaleza física, química y biológica del agua en relación a la calidad natural, frente los efectos antrópicos y es la base para tomar medidas preventivas y correctivas de vigilancia y protección.

De esta manera la caracterización hidroquímica establece la medida y análisis de algunos parámetros físico-químicos que reflejan los procesos químicos, físicos y biológicos que ocurren en los ecosistemas acuáticos, la cual no es una tarea sencilla [40-41], el monitoreo debe ser frecuente a escala de cuencas, que permita obtener información importante sobre la evolución temprana de la química del agua corriente y que ayude a la comprensión de los procesos significativos que ocurren en el.

La gestión de los recursos hídricos es un aspecto integral de la gestión preventiva de la calidad del agua potable, es la primera barrera contra la contaminación del agua potable de la salud pública [42] lo cual es responsabilidad de los organismos de gestión de las cuenca hidrográficas.

La calidad del agua se la define en función de un conjunto de variables físico-químicas y microbiológicas. Los parámetros indicadores de contaminación o índices de calidad permiten medir los cambios en un determinado sistema hídrico, los cambios bruscos de estos harán sospechar de contaminación.

En el caso del río Daule, no existen actividades relacionadas como la minera que aporte contaminación de elementos químicos, tampoco existen industrias al menos en el tramo estudiado que puedan aportar contaminantes, la principal actividad a lo largo del río es la agricultura, la cual para su desarrollo utiliza grandes cantidades de compuestos agroquímicos que son utilizados para control de las plagas (pesticidas) e incrementar la productividad (abonos), a esto se suma la falta parcial y en la mayoría de los casos la falta total de servicios básicos en las ciudades ribereñas a este río, como alcantarillado y el respectivo tratamiento de las aguas residuales urbanas, las cuales si constituyen una fuente muy significativa de contaminantes.

Un efecto a considerar en la calidad de sus aguas del río Daule, es la represa Daule-Peripa, que se encuentra aguas arriba y cuyo represamiento influye en la calidad del río aguas abajo, así como también la contaminación causada por nuevas urbanizaciones que se están construyendo que es necesario de monitorear de manera continua ya que las aguas residuales urbanas aportan ciertos elementos como, sulfatos, bicarbonatos, fosfatos, nitratos sodio, potasio, cloro, y otros elementos [43] que finalmente incrementan su concentración en el río lo cual estará en relación al incremento poblacional e impactará en la calidad de sus aguas.

3.2 Parámetros físico-químicos de las aguas del río Daule.

En este estudio se realizó, la determinación de indicadores, físicos-químicos, especies químicas, microbiológicos y de toxicidad, que se indican a continuación:

3.2.1 Temperatura

Los sistemas hídricos superficiales presentan diariamente fluctuaciones de la temperatura debido a factores como: profundidad del cauce, caudal, temperatura del ambiente, hora del día y también fluctuaciones anuales relacionadas a las época seca o de lluvias [44] La temperatura en las aguas es un parámetro importante por su efecto en otras propiedades tanto físicas como químicas, ya que un incremento de ella acelera las reacciones químicas, incrementa la solubilidad de algunas sustancias lo que dará lugar al incremento de sólidos disueltos, reduciendo la solubilidad de los gases, y la actividad biológica también se ve incrementada.

3.2.2 Potencial de hidrógeno

Uno de los parámetros que determinan la calidad química del agua es el pH, las aguas naturales contienen una serie de ácidos y bases débiles que controlan la actividad del ion hidrógeno el mismo que se expresa como pH. Las especies más abundante son el carbonato y bicarbonato, iones que se originan principalmente de la disolución de rocas carbonatadas, cambio atmosférico de CO₂, y de la respiración de los organismos acuáticos [45], el pH determina la concentración relativa de las especies de los sistemas ácido-base, tales como amoníaco-amonio y de carbono-bicarbonato-carbonato y dióxido carbónico [46]. El pH es un importante parámetro del cual dependen gran número de procesos que tienen lugar en las aguas naturales y es probablemente el único parámetro químico que de manera significativa puede influir en la especiación de metales, el pH permite a los organismos vivos crecer y multiplicarse cuando se mantiene constante. Valores altos o bajos de pH pueden romper el balance de los químicos del agua y movilizar los contaminantes. Bajos niveles de pH incrementan la solubilidad de metales como: hierro, cobre, zinc níquel, plomo y cadmio, mientras que el vanadio y el mercurio tienden a ser más solubles en condiciones menos ácidas.

3.2.3 Conductividad.

La conductividad eléctrica es una propiedad que nos indica la calidad del agua [47] y un importante parámetro de la línea base de los estudios de aguas de ríos, lagos y lagunas. La conductividad está relacionada con la concentración de las sales en disolución, y los iones comúnmente cuantificados como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , constituyen esencialmente la salinidad iónica total de la mayoría de las aguas dulces [48].

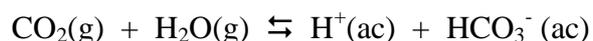
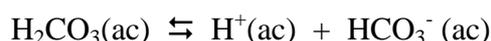
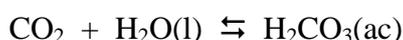
3.2.4 Oxígeno disuelto.

Es un indicador de cómo de contaminada está el agua o de lo bien que puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal, El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno del aire que se encuentra disuelto en el agua, cuyas concentraciones típicamente están en el intervalo de 5 a 15 mg.L^{-1} , su concentración también esta influenciada por el movimiento de las aguas del río, temperatura, y factores como la salinidad, altura. La concentración de oxígeno en el agua refleja la disolución atmosférica, así como los procesos de autótrofos y heterótrofos que producen y consumen oxígeno, respectivamente [49]. Bajos niveles de oxígeno disuelto se dan por efectos de vertidos con carga orgánica, como de depuradoras, materia animal y vegetal muerta, ya que las bacterias requieren oxígeno para descomponer la materia orgánica y por lo tanto disminuyen el oxígeno del agua.

El oxígeno disuelto se considera un parámetro clave para la evaluación de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos y es fundamental para la protección de la salud humana y estabilidad ecológica. La medida de oxígeno disuelto provee información sobre las reacciones biológicas y bioquímicas que ocurren en las aguas. La concentración de oxígeno disuelto en agua es un importante parámetro, muchos usos del agua, como el de riego puede convertirse en un factor limitante en algunos sistemas de agricultura intensiva y cuando es bajo puede tener consecuencias críticas debido a que causa déficit de oxígeno en la raíz, que a su vez puede dar lugar a problemas agronómicos [50]. Debido a su importancia existen modelos como el de Feng [51] que explican la importancia y son utilizados para el seguimiento de su presencia.

3.2.5 Alcalinidad.

La alcalinidad de un determinado tipo de agua es su capacidad para neutralizar ácidos y representa la suma de todas las bases que puedan ser valoradas, y generalmente esta representada por carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, aunque otras sustancias como boratos, nitratos, y silicatos que también pueden contribuir a la alcalinidad, los iones negativos de la alcalinidad generalmente están asociados a iones como calcio, magnesio, potasio y sodio. A nivel mundial el ion bicarbonato es el que mayormente contribuye a la alcalinidad, que es consistente con valores de pH de 6 a 8 lo cual es típico para el caso de aguas superficiales. Cuyo mecanismo se indica a continuación.



La alcalinidad, no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol importante en la productividad de los cuerpos de aguas naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis.

3.2.6 Amonio.

Los compuestos nitrogenados del agua provienen principalmente de la materia orgánica nitrogenada o también de la fijación biológica, y es indispensable para la flora y la fauna en el agua, en las aguas naturales su concentración es baja y su presencia en altas concentraciones es un indicativo de contaminación, en disoluciones acuosas se comporta como una base y forma el ion amonio.

La determinación del amonio en agua es utilizada para la prevención de efectos tóxicos sobre el medio ya que ante cambios de pH y temperatura, puede transformarse en su forma gaseosa (NH_3) la cual es mucho más tóxica que el ión disuelto. Según [52] las formas reducidas de nitrógeno, tales como amoníaco y nitrógeno orgánico, pueden ser oxidadas en los sistemas de agua dulce, provocando el agotamiento del oxígeno que puede dañar seriamente e incluso matar a los organismos acuáticos, las altas

concentraciones de amonio están ligadas a actividades antropogénicas como la agricultura la cual utiliza muchos compuestos nitrogenados, de acuerdo a Sta. Inackea [53] se indica que los análisis de largas series temporales de las concentraciones de nutrientes en los ríos europeos ha puesto de manifiesto las tendencias al alza en los niveles de nitrógeno, que coinciden con el aumento del uso de fertilizantes nitrogenados y la intensificación de la producción animal. Las altas concentraciones de amoníaco NH_4^+ y su base conjugada amonio pueden afectar negativamente la calidad del agua, el NH_3 es una potente toxina para muchos organismos acuáticos, concentraciones letales mayores que $0,8 \text{ mg.L}^{-1}$ para algunas especies de invertebrados, y toxicidad crónica para concentración de NH_3 de $0,145 \text{ mg.L}^{-1}$ [54].

3.2.7 Nitratos.

Los iones nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-), son iones inorgánicos de origen natural, que son parte del ciclo del nitrógeno, en el cual los desechos orgánicos que contengan nitrógeno, se descomponen en el agua o en el suelo por acción microbiana para formar amoníaco, el cual se oxida para dar nitritos y estos a su vez para formar nitratos [55], el ion nitrato es soluble en agua y es una fuente de alimento por las plantas. Los aumentos en las concentraciones de nitrógeno en las aguas dulces y costeras se derivan principalmente de fuentes antropogénicas, como la actividad agrícola, y las descargas de aguas residuales domésticas e industriales [56], en un estudio realizado, en aguas de los ríos de Inglaterra, se ha estimado que más del 70% de los nitratos provienen de tierras agrícolas, aguas residuales, desechos industrias y sanitarios [57]. En Europa la Directiva Marco del Agua (DMA), exige nuevos enfoques para la gestión y mejora en la calidad del agua superficial y subterránea en toda la Unión Europea. El problema de los nitratos en las aguas de consumo humano tiene alcance mundial, así la Organización Mundial de la Salud (OMS) fija el límite de nitrato en agua de consumo en 50 mg.L^{-1} , la EPA lo fija en 10 mg.L^{-1} de N-nitrato y para la Comunidad Europea los niveles máximos permitidos de nitrato 50 mg.L^{-1} de N, en esto radica la evaluación continua de los nitratos y nitritos en las aguas superficiales, ya que sus niveles se pueden incrementar por actividades agrícolas y ganaderas y crear un riesgo para la salud.

3.2.8 Nitritos

El ion nitrito se encuentra en un estado de oxidación intermedio en el ciclo del nitrógeno biológico entre el amoníaco y el nitrato, el nitrito puede formar nitrosamina cancerígena cuando reacciona con aminas en el estómago [58], además, el nitrito se sabe que causa metahemoglobinemia (deficiencia de oxígeno) en los lactantes [59] y su presencia en el agua es un indicativo de contaminación con materia fecal, ya que en aguas bien oxigenadas la concentración de este ion es bastante baja. Las guías de consumo de agua potable de la OMS, indican $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$ como ion nitrito y $0,9 \text{ mg.L}^{-1}$ como N-Nitrito.

En las corrientes de aguas como en sedimentos la actividad de los nitritos esta influenciada por un número de parámetros abióticos tales como oxígeno, temperatura, pH, amoníaco libre y la luz, varios estudios indican que una alta concentración de amonio, pH alto y bajo oxígeno disuelto puede ser el responsable de la acumulación transitoria de nitrito [60].

3.2.9 Cloruros

En las aguas frescas naturales, el ion cloruro (Cl^-), es uno de los principales iones inorgánicos y su presencia es bastante baja y no afectan su sabor, la presencia de cloruros es variable en el agua dulce, y es atribuida a la naturaleza de los terrenos que atraviesa, pero las concentraciones del ion cloro en las aguas puede verse afectado por actividad antrópica, como: vertidos de aguas residuales, industriales, así como por minería, como es el caso el río Lippe en Alemania que a principios del siglo pasado presentaba concentraciones de hasta 3.500 mg.L^{-1} de cloruros, pero se ha reducido por la disminución de las descargas de minería, [61]. En un estudio realizado por [62] se determinó que la concentración de sodio y cloro se incrementó en la Cuenca Mohawk hasta en 130% en un periodo comprendido de 1952 a 1998, que ha sido causado por la aplicación de sal en la carretera en la época invernal.

Tomando en cuenta el límite de percepción del sabor de los cloruros en el agua, se ha establecido un límite de 250 mg.L^{-1} en aguas de consumo, concentración que puede ser razonablemente excedida según las condiciones locales y la costumbre de los

consumidores [63], la OMS considera que por encima de esta concentración, los cloruros pueden influir en la corrosividad del agua.

3.2.10 Sólidos suspendidos

Es el material que se encuentra en fase sólida en el agua en forma de coloides o partículas sumamente finas, y que produce en el agua la turbidez y pueden durar décadas en sedimentarse ya que contienen arcillas las cuales son de carga negativa y se pueden enlazar con diversos cationes que pueden cambiar las características del agua entre ellas las bacteriológicas.

La erosión natural de formaciones geológicas inestables es la fuente más común de sólidos suspendidos en el agua. Las tasas y magnitud de la erosión dependen del clima, la geología, pendiente, tipo de suelo y cubierta vegetativa. Las actividades antropogénicas como deforestación, construcción de vías pueden causar cambios marcados en las características físicas, químicas y biológicas de los cursos de agua localizados en las cercanías de estas actividades. Otro tipo de fuentes están relacionadas con construcción, agricultura, descarga de aguas residuales industriales y actividades mineras.

Los sólidos suspendidos son considerados como un parámetro de calidad de los ríos y su concentración esta muy correlacionada con las tasas de flujo, estaciones de lluvias y aumento de caudales, para una rápida evaluación de los sólidos suspendidos y de la calidad de las aguas de un río, se están desarrollando sistemas de modelaje [64].

3.2.11 Sólidos disueltos

Son aquellos que no se sedimentan y que tampoco pueden ser retenidos por filtros estándares y a simple vista no se pueden observar, pudiendo una muestra de agua ser cristalina pero presentar alto contenido de sólidos disueltos, que se encuentran presentes en el agua en estado iónico o molecular y esta constituido por sales. El promedio de sólidos disueltos totales para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 mg.L^{-1} . La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables sales y residuos orgánicos.

3.2.12 Sólidos totales

El contenido total de materia sólida contenida en el agua constituye los sólidos totales, comprendiendo los sólidos tanto orgánicos como inorgánicos; su valor queda definido por toda la materia que permanece como residuo de evaporación a 105°C, y corresponden a la suma del residuo disuelto y suspendido. El residuo total del agua se determina a 103–105°C.

3.2.13 Turbidez

La turbiedad es una medida de la carencia de claridad o transparencia del agua y es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra) finamente dividida, y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. En los sistemas acuáticos las partículas suspendidas disminuyen la actividad fotosintética debido a la dispersión de la luz y absorben calor de la luz del sol, haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes, y reduciendo así la concentración de oxígeno en el agua.

No hay valores referenciales de turbidez de basados en efectos sobre la salud, sin embargo, la turbidez mediana debe ser menor que 0,1 NTU para que la desinfección sea eficaz, [65], ya que las partículas pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y pueden estimular la proliferación de bacterias.

Dada la importancia de este parámetro muchos estudios utilizan modelos de predicción como el [66], para los parámetros de flujo de la turbidez resultante de la velocidad, volumen y la descarga de sedimentos, y permite la reconstrucción de los parámetros de flujo de acontecimientos del pasado que dan una valiosa información paleoclimática y la evaluación de los posibles efectos sobre los sedimentos.

La turbidez puede ser considerado como un índice sintético representativo de las condiciones climáticas, las características litológicas y la ocupación del suelo de la cuenca, y las características que tenga la red fluvial [67]. Las partículas que producen la turbidez representan el transporte y fuente de los contaminantes metálicos Ag, Cd, Cu, Pb y Zn [68].

3.2.14 Sulfatos

Dado que los sulfatos son solubles en agua, a excepción de los de Pb, Ba, Sr, el ion sulfato (SO_4^{2-}) se encuentra en casi todas las aguas naturales, y sus concentraciones se dan en un rango bastante variado, el (SO_4^{2-}) proceden fundamentalmente de los procesos de disolución de los yesos, así como de la oxidación bacteriana de sulfuros [69], el drenaje de minas pueden aportar grandes cantidades de sulfato provenientes de la oxidación de la piritita y del uso del ácido sulfúrico, así como también de la oxidación de menas de sulfuro, desechos industriales y fertilizantes agrícolas.

Para el agua de consumo la OMS, no proporciona ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud, no obstante ha sugerido como nivel máximo de es de 500 mg.L^{-1} , cuando los niveles son altos estos tienen efectos laxantes (Guías para la calidad del agua potable, 2011)

3.2.15 Fosfatos

Los fosfatos y compuestos de fósforo se encuentran en las aguas naturales en pequeñas concentraciones. Conocer el comportamiento físico químico de los compuestos del fósforo en los sistemas acuáticos y de suelos, tiene una gran importancia desde el punto biológico y como agentes contaminantes del medio ambiente, las formas predominantes de fósforo en los sistemas naturales son orto fosfatos, meta y piro fosfatos, y fosfatos orgánicos, las fuentes de los fosfatos son los abonos inorgánicos, descomposición de pesticidas orgánicos que contienen fosfatos utilizados en agricultura, las aguas residuales industriales y urbanas que contienen detergentes, excreciones humanas y de animales. Los fosfatos están directamente relacionados con la eutrofización de ríos, el incremento de la concentración de fósforo en las aguas superficiales aumenta el crecimiento de organismos dependientes del fósforo, como son las algas. Estos organismos usan grandes cantidades de oxígeno y previenen que los rayos de sol entren en el agua, esto hace que el agua sea poco adecuada para la vida de otros organismos.

3.2.16 Carbono orgánico total

A nivel mundial los flujos de carbono orgánico se consideran en términos promedios en aproximadamente 0,4 Gt/año, de los cuales un 55% se disuelve y el 45% esta en forma de carbono orgánico particulado [70] y el transporte orgánico a través de los ríos a los océanos proporciona una medida integrada de los procesos naturales y las actividades antropogénicas en las cuencas de drenaje.

Las fuentes de aguas, contienen una mezcla compleja de compuestos orgánicos naturales como ácido húmico, ligninos, taninos, carbohidratos, proteínas, y otras biomoléculas que se las conoce como materia orgánica natural y de compuestos orgánicos sintéticos como detergentes, pesticidas, fertilizantes, herbicidas y que provienen del arrastre de materia orgánica de los suelos. La materia orgánica disuelta y particulada es una de las principales fuentes de energía de las cadenas alimenticias y también es un parámetro de calidad de los sistemas acuáticos.

Una de las formas más comunes de la determinación de la materia orgánica es de la determinación del carbono total (COT), el cual comprende el carbono orgánico disuelto y el carbono orgánico particulado. El COT ha emergido como una alternativa de análisis rápida y segura frente a las clásicas determinaciones de la demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno.

La presencia de compuestos orgánicos en el agua superficial y en agua subterránea es la principal preocupación para la producción de agua potable. La determinación del COT es cada vez más utilizada para investigaciones de impacto ambiental, en las últimas décadas, se ha prestado gran atención al estudio de la materia orgánica en el medio ambiente marino, aunque la materia orgánica es sólo un componente menor de agua de mar, desempeña un papel importante en los procesos biológicos, geológicos y químicos, en la investigación realizada por [71] se comparan los valores de carbono orgánico de las aguas de superficie y fondo, y se establece que, en las aguas de los Emiratos Árabes, se presentan valores mayores, que pueden ser considerados como un indicador de contaminación con petróleo en la zona.

3.2.17 Calcio

El calcio forma sales moderadamente solubles y por esa razón el ion (Ca^{2+}), esta presente en la mayoría de las aguas naturales es el catión mayoritario, ya que esta presente en las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, en rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonatos como calcita, aragonito y dolomita y en sulfatos como yeso y anhidrita, en aguas naturales suele estar en proporciones de 10 a 250 mg.L^{-1} .

Se evidencia en terrenos arcillosos de baja permeabilidad que ocurre el intercambio iónico ente calcio y otros cationes como el sodio fundamentalmente, retenidos en la superficie de minerales con los que entra en contacto el agua.

3.2.18 Magnesio

El ion magnesio (Mg^{2+}), es menos abundante que el ión calcio en aguas naturales, aunque puede proceder de la disolución de rocas carbonatadas como dolomías y calizas magnesianas, evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos, así como del agua marina. En aguas naturales el contenidos de ión magnesio no suele sobrepasar los 40 mg.L^{-1} . En terrenos calcáreos pueden rebasarse los 100 mg.L^{-1} y en terrenos evaporíticos pueden alcanzarse valores de hasta de 1000 mg.L^{-1} .

3.2.19 Sodio

El ion sodio (Na^+), se origina de la meteorización de silicatos y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y evaporítico. Es una fuente importante la constituyen los aportes de agua marina, tanto por intrusión marina, como por infiltración desde la superficie.

Las sales de sodio son muy solubles y tienden a permanecer disueltas. El ión sodio puede ser adsorbido en arcillas en procesos de intercambio catiónico con otros cationes, como el calcio. La presencia de sodio en aguas naturales son de 10 a 150 mg.L^{-1} , excepto en las zonas donde existen evaporitas.

3.2.20 Potasio

El ion potasio (K^+), procede de la meteorización de los feldespatos y de la disolución de depósitos de evaporitas como silvina, KCl o carnalita, $KCl.MgCl$ y corresponde a sales de muy elevada solubilidad y difícil de precipitar.

El ión potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en la formación de arcillas y por adsorción en la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico. Las aguas dulces no suelen contener más de 10 mg.L^{-1} .

3.3 Metales pesados en agua

3.3.1 Introducción

Los metales pesados en el medioambiente pueden tener distintas fuentes, sea natural o de origen antropogénico cuando provienen de actividades humanas contaminantes. El rápido desarrollo de la industria y la agricultura ha dado como resultado un incremento de la contaminación metales pesados en ríos y lagos, los cuales han sido identificados como un riesgo significativo para el medio ambiente de los invertebrados, peces y seres humanos [72] el aumento de la emisión de ellos pueden afectar negativamente los recursos acuáticos, sistemas ecológicos y poblaciones humanas. [73-74].

A nivel mundial cantidades significativas de metales pesados se descargan en las aguas de los ríos, procedentes de aguas residuales industriales, los metales se bioacumulan y se magnifican a lo largo del agua, los sedimentos y las cadenas alimentarias acuáticas, lo que resulta en efectos subletales o la muerte en las poblaciones locales de peces [75].

Los metales pesados como el cobre y zinc son esenciales para el metabolismo de los peces, mientras que otros, como el mercurio, el cadmio y el plomo no tienen ningún papel conocido en los sistemas biológicos [76]. Sin embargo de manera similar a los metales esenciales, los metales no esenciales son también absorbidos por los peces, y pueden causar efectos letales en ellos.

La evaluación de metales trazas en ambientes acuáticos han sido ampliamente estudiados, bajo diferentes enfoques como: químico, toxicológico y ecológico, pero cada uno de estos enfoques tiene sus limitaciones y se ha demostrado que las concentraciones de metales pesados en sedimentos y en suspensión son indicadores más sensibles que las concentraciones disueltas cuando se utilizan como indicadores de contaminación en los sistemas hídricos [77]. La contaminación por metales pesados en los ambientes acuáticos, es muy difícil de entender debido a la complejidad de los ecosistemas y la variabilidad del medio ambiente, es difícil establecer una relación cuantitativa entre los metales pesados y los efectos ecológicos en los ecosistemas acuáticos, de ahí la necesidad de desarrollar modelos ecológicos cuantitativos que ayuden a predecir el efecto de metales pesados sobre los ecosistemas acuáticos [78].

Uno de los aspectos que ha concitado gran interés es la precipitación atmosférica de los metales pesados y de sus efectos a producir en el medio ambiente [79], se ha detectado la presencia de metales pesados en nieve en algunas zonas de Canadá, que son indicativos que provienen de actividad antropogénica de los Estados Unidos y Canadá y adicionalmente de Eurasia [80].

La mayoría de los metales pesados están incluidos en un ciclo biogeoquímico en el cual los dos componentes fundamentales son el suelo y las plantas, dichos elementos llegan al suelo por vía aérea, como partículas minerales, polvos suspendidos y transportados por el aire. El desarrollo industrial, agrícola y crecimiento poblacional aportan con metales, así como los fertilizantes, plaguicidas que contienen metales, aguas residuales urbanas, industriales y deposición de residuos sólidos [81].

La peligrosidad de los metales pesados es mayor, al no ser degradados ni química ni biológicamente, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años, contaminando el suelo y acumulándose en las plantas y en los tejidos orgánicos. Adicionalmente su concentración en los seres vivos aumenta a lo largo de la cadena alimentaria. Debido a su toxicidad y a su capacidad para incorporarse a las cadenas de alimentarias, se han realizado investigaciones en muchos sitios, como en humedales ribereños, determinándose la presencia de metales pesados principalmente en el agua, en el suelo y en las plantas u otros organismos, y se ha reportado que tienen una gran capacidad para acumular metales pesados [82].

Es absolutamente esencial determinar las concentraciones de metales pesados en los sedimentos y la biota acuática, así como la concentración de metal en relación con otros parámetros que pueden afectar a la solubilización de los metales, su precipitación, acumulación y movilidad [83].

La contaminación por metales pesados y de isótopos radiactivos, también se ha investigado ya que puede causar un efecto a largo plazo sobre los ecosistemas. Las preocupaciones actuales con los metales pesados en el agua, la radiactividad y su influencia en la amplia gama de organismos acuáticos y los seres humanos junto con los posibles efectos nocivos es de especial interés [84].

3.3.2 Ciclo biogeoquímico

Son procesos naturales que reciclan elementos en diferentes formas químicas desde el medio ambiente hacia los organismos, y luego a la inversa, es decir la materia circula desde el mundo biótico hacia el ambiente abiótico. El agua, carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo y otros elementos recorren estos ciclos, conectando los componentes vivos y no vivos de la Tierra, son procesos sin fin y constituyen los ciclos biogeoquímicos.

Existen tres ciclos biogeoquímicos: el gaseoso en el cual los nutrientes circulan entre la atmósfera y los organismos vivos, el sedimentario en el que los nutrientes circulan en el suelo, rocas y estudia los ciclos biogeoquímicos de los contaminantes, y el ciclo hidrológico que corresponde a los movimientos del agua entre el océano, atmósfera, tierra y seres vivos.

Los microorganismos están íntimamente involucrados en la biogeoquímica de los metales [85], y juegan un papel importante en el destino ambiental de los metales tóxicos con una multiplicidad de mecanismos físico-químicos y biológicos que dan lugar a transformaciones entre las fases soluble e insoluble. Tales mecanismos son componentes importantes de los ciclos bioquímicos naturales para los metales y metaloides y son algunos procesos de aplicación real de biorremediación de la contaminación por metales [86].

En los ciclos biogeoquímicos el comportamiento de un metal en ambientes

acuosos, implican complejas relaciones de procesos biológicos, principalmente impulsados por bacterias, y procesos geoquímicos que ocurren tanto a escala microscópica como macroscópica. La biodisponibilidad, el destino y el transporte de los metales pesados en los sedimentos se rigen por procesos bioquímicos complejos. En particular los microbios son capaces de catalizar reacciones que desintoxican sus ambientes, y por lo tanto constituyen un componente motor muy importante en el ciclo biogeoquímico de estos metales [87].

En uno de los ciclos propuestos por [88] los metales aportados a las aguas se distribuyen en compartimentos ambientales, entre los que pueden transferirse por distintos mecanismos. Existen tres compartimentos principales (sedimentos, partículas en suspensión y fase disuelta) y dos secundarios (organismos bentónicos, invertebrados y peces). Los cuales pueden transferirse a organismos bentónicos, invertebrados y peces, y finalmente a las personas.

Dentro del marco de la química, la superficie de los sedimentos, la fase acuosa y la geoquímica acuática juegan un papel fundamental que se dan en tres etapas: en la primera, el comportamiento del metal, transporte, toxicidad, y bioacumulación se rigen por las reacciones de solución-sólido; 2.-pH, fuerza iónica, potencial redox, los tipos y concentraciones de los elementos de la solución, y las superficies sólidas, interactúan para determinar el comportamiento de metal en cualquier sistema dado; 3.-las reacciones de sorción son dinámicas y reversibles [89].

3.3.3 Toxicidad

Los metales pesados poseen una gran toxicidad, lo cual en parte se debe a su gran tendencia a bioacumularse. La toxicidad es causada generalmente por la imposibilidad del organismo afectado de mantener los niveles necesarios de evacuación de dichos contaminantes.

Los metales pesados tienen como una de sus características el formar complejos con la materia orgánica, los cuales muestran la tendencia de fijarse en los tejidos de los organismos vivos. Este fenómeno es tal vez uno de los problemas más graves que los metales pesados presentan como contaminantes del medio acuático [90].

La toxicidad es un proceso que se agrava por el paso de los metales pesados por las distintas cadenas tróficas, los niveles de incorporación conducen a un fuerte incremento de ellos a lo largo de sus sucesivos eslabones, siendo en los superiores donde se hallan los mayores concentraciones de contaminantes, magnificándose de esta manera [91]. En el caso del organismo de los humanos, una vez que los metales pesados han ingresado por cualquier vía. estos están en competición efectiva con nuestros minerales esenciales y desplazan rápidamente a estos elementos claves y beneficiosos causando malfuncionamientos y desequilibrios a varios órganos.

Las enfermedades producidas por metales pesados, reflejan con frecuencia diferencias en absorción, distribución o metabolismo. La toxicidad de los metales pesados son responsables de una amplia gama de diferentes enfermedades basadas en la exposición aguda y crónica y muchas veces pueden ser difíciles de diagnosticar [92]. Dependiendo de la cantidad y tiempo de exposición los síntomas generalmente son; náuseas, vómitos, diarrea, sudor excesivo, grave dolor de cabeza, dolor de estomago y fatiga, que de no tratarse adecuadamente pueden dañar o reducir las funciones de la mente y el sistema nervioso central, daño a la composición de la sangre, pulmones, riñones, hígado y otros órganos vitales [93]. La exposición a largo plazo puede resultar en el progreso lento de los procesos físicos, musculares y neurológicos degenerativos que imitan la enfermedad de Alzheimer, la distrofia muscular, la enfermedad de Parkinson, y la esclerosis múltiple. Las alergias no son infrecuentes por el contacto repetido a largo plazo con algunos metales y sus compuestos pueden aún causar cáncer. La salud de las personas esta expuesta, por diferentes metales pesados que están presentes en muchos artefactos entre ellos los electrónicos que contienen plomo y otros metales pesados [94].

En el caso concreto del mercurio, se forma el metil-mercurio (CH_3Hg^+), el cual al igual que otros compuestos organometálicos, es liposoluble, además de ser un compuesto mucho más tóxico que el mercurio. En consecuencia, estos compuestos presentan una elevada toxicidad, puesto que pueden atravesar fácilmente las membranas biológicas y en particular la piel, y a partir de aquí, la incorporación del metal en la cadena trófica está asegurada.

3.3.3.1 Grado de toxicidad y biodisponibilidad

Conocer la concentración de los metales pesados es una información útil, pero no proporciona información acerca de la biodisponibilidad y toxicidad [95]. La movilidad de los metales pesados, así como su biodisponibilidad y relacionada con ecotoxicidad para plantas, dependen en gran medida de sus formas, los metales pesados están presentes en fracciones es decir en fracciones solubles en agua, intercambiable, se consideran intercambiables para ser biodisponible; carbonato, Fe-Mn-óxidos asociado, fracciones de materia orgánica-enlazados pueden también ser biodisponible de acuerdo a los cambios de pH y el potencial redox [96].

La biodisponibilidad y la toxicidad de los metales pesados pueden depender considerablemente de la especiación. Para el cromo la especiación es un factor crucial en la evaluación de su toxicidad, ya que los compuestos de Cr hexavalente (Cr (VI)) son muchas veces más tóxicas que los compuestos de Cr (III), tienen un alto potencial oxidante, y puede ser cancerígeno [97].

Los metales pesados son tóxicos para la mayoría de los microorganismos a determinadas concentraciones. La toxicidad de los metales pesados sobre los organismos vivos no tan solo depende de la concentración en la que estén presentes, sino también de otros factores relacionados a la naturaleza del propio organismo como, familia, especie a la que pertenece, mecanismos de regulación de metales, edad, estrés, entre otros, así como a las características del hábitat, y tiempos de exposición al metal.

Un factor fundamental es conocer la forma química bajo la que se presenta un metal pesado, es decir la especiación, porque la toxicidad de un elemento es muy distinta dependiendo de su presentación, que va a regular no sólo su disponibilidad, es decir según se encuentre disuelto, adsorbido, ligado o precipitado, sino que también el grado de toxicidad que presente va a depender de la forma química en sí misma.

Para que un metal pesado pueda ejercer su toxicidad en un organismo, el metal debe estar biodisponible, es decir una fracción del metal que este disponible para causar toxicidad en el organismo receptor. El concepto de biodisponibilidad se encuentra íntimamente relacionado con las condiciones físico-químicas del ambiente, que

determinan la especiación y por lo tanto la concentración de metal libre y lábil. Por ello es fundamental para determinar el grado de contaminación por metales pesados de un ambiente, es conocer su biodisponibilidad. Las propiedades de los sedimentos y el agua, tales como pH y contenido de materia orgánica también afectará a la biodisponibilidad de los metales [98].

3.3.4 Arsénico

El arsénico es un elemento ubicuo presente en el medio ambiente de forma natural, en las aguas naturales las concentraciones de arsénico van desde concentraciones menores a $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ hasta de más de $5,000 \mu\text{g.L}^{-1}$, las concentraciones típicas de agua dulce están a menos de $10 \mu\text{g.L}^{-1}$, y con frecuencia inferior a $1 \mu\text{g.L}^{-1}$. Pero desde hace varios siglos, grandes cantidades de arsénico se han introducido en el medio ambiente por las actividades antropogénicas, y su presencia ha sido determinada en muchos ríos.

El arsénico por su alta biodisponibilidad y toxicidad, se ha convertido en una de las principales preocupaciones del medio ambiente y la salud humana. es un elemento muy tóxico, y debido a sus efectos tóxicos y carcinogénicos para los seres humanos, se considera como un contaminante. Los efectos adversos para la salud de los niveles agudos o crónicos del arsénico son: alteraciones cardiovasculares, respiratorias, reproductivos, dérmicas, mutagénicos y carcinogénicos.

Las fuentes de exposición de este elemento son entre otras los plaguicidas, pinturas, preservantes de madera, industria del vino y de los componentes electrónicos. Los compuestos de arsénico son absorbidos por el organismo por inhalación, ingestión, y piel. La inhalación de arsina que se utiliza en la industria de la microelectrónica y en la fabricación de semiconductores, es uno de los gases más tóxicos conocidos, puede producir muerte rápida debido a los daños que origina en las funciones renales, mientras que la ingestión de arsénico inorgánico por los seres humanos se ha relacionado con una forma de cáncer de piel, vejiga, hígado, y cáncer de pulmón. La EPA ha clasificado el arsénico inorgánico como carcinógeno humano [99]. La exposición prolongada al arsénico a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas. También se ha asociado a

problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes. La Guías para la calidad del agua potable, de la OMS, en la cuarta edición, volumen 1 de recomendaciones del 2011 ha fijado el valor provisional de referencia de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$, el valor de referencia se designa como provisional debido a la existencia de incertidumbres científicas. Las concentraciones en aguas naturales son generalmente de 1 a $2 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, aunque pueden ser mayores en zonas con presencia de fuentes naturales de arsénico, sin embargo hay casos como el determinado en arroz y suelo que, han revelado cantidades de hasta $37 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ y superiores a $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente [100].

3.3.5 Cadmio

El cadmio (Cd), es un elemento que se encuentra en poca cantidad en la corteza terrestre combinado con otros elementos como el oxígeno, cloro y azufre. La actividad volcánica es la mayor fuente natural de eliminación de cadmio a la atmósfera, también lo es la actividad antrópica que lo utiliza para diferentes fines como, catalizador en química orgánica, fabricación de electrodos en las baterías, pilas, fotografía, pigmentos en pintura, para el recubrimiento de cobre, hierro y acero por sus propiedades anticorrosivas, también en aleaciones con cobre, níquel, oro, plata, bismuto y aluminio forma compuestos de fácil fusión.

La vida biológica del cadmio es 10-35 años. Hay pruebas de que el cadmio es cancerígeno por inhalación, y el IARC (Agencia Internacional de Investigación del Cáncer) ha clasificado el cadmio y los compuestos de cadmio en el Grupo 2A (probablemente carcinógeno para los humanos, se acumula en el organismo, principalmente en el hígado y en los riñones, tiene un impacto negativo sobre la calidad del alimento y esta sujeto a medidas, tanto a nivel europeo como a nivel internacional, dirigidas a minimizar su presencia en los alimentos.

El cadmio es un elemento muy tóxico, la EPA limita su presencia hasta $5,0 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ en el agua para beber y también establece límites a la cantidad de cadmio que puede ser vertida en lagos, ríos, vertederos de basura y terrenos de cultivo, y no permite el uso de pesticidas que tengan cadmio en su composición [101]. Por su parte la Directiva 98/83/CE de aguas para consumo humano establece como estándares de concentración de $5,0 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$.

La OMS en sus Guías para la Calidad del Agua Potable, del 2011 establece el valor de referencia de $0,003 \text{ mg.L}^{-1}$, la presencia de cadmio en aguas de consumo presenta concentraciones que suelen ser menores a $1 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$.

Dado que éste elemento es nocivo, se han realizado muchas investigaciones relacionadas a su toxicidad, como es el caso del cadmio en arroz llevada a cabo por aproximadamente 17 años en Japón [102], en el que la concentración media de cadmio presente en el arroz en comunidades rurales estaba estrechamente relacionada con el desarrollo de la lesión renal, el desarrollo de la lesión renal inducida por cadmio se cree que es el factor subyacente en la mayor mortalidad.

3.3.6 Cinc

El Zn se caracteriza por ser un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, pero no es abundante, ya que representa sólo el 0,012% de la corteza terrestre. En los suelos su concentración media es de 50 mg.kg^{-1} . El Cinc se encuentra de forma natural en el aire, agua y suelo, pero sus concentraciones están aumentando, debido a las actividades humanas, como manufacturación de latón, objetos galvanizados, en construcción, utensilios de cocina y otros.

Es uno de los elementos esenciales más abundantes en el cuerpo humano, su concentración en personas adultas se encuentra entre 1 y 2,5 g, siendo el segundo oligoelemento en relación a la cantidad total en el organismo, tan sólo superado por el hierro. Las concentraciones más elevadas aparecen en el hígado, páncreas, riñones, huesos y músculos voluntarios, [103].

A pesar de que el zinc es el menos tóxico de todos los oligoelementos, y aunque su margen de seguridad (diferencia entre la dosis tóxica y la dosis recomendada) es muy amplio, es necesario evaluar su toxicidad. Ello se puede establecer mediante el estudio de los niveles de ingesta diaria [Upper Intake Level (UL)], que se define como el nivel más alto de la ingesta diaria de un nutriente que no supone un riesgo o efectos adversos sobre la salud de casi todos los individuos, este parámetro se calcula a partir de la ingesta total. Para el Zn proveniente tanto de los alimentos, como del agua y suplementos el UL es de 40 mg.día^{-1} [104].

La OMS en las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984 estableció un valor de referencia de 5 mg.L^{-1} , basado en consideraciones gustativas, luego de estudios recientes estudios realizados en personas, en las Guías de 1993 concluyeron que no era necesario calcular un valor de referencia en ese momento. No obstante, el agua de consumo con concentraciones de cinc mayores a 3 mg.L^{-1} puede resultar no aceptable para los consumidores.

La toxicidad del cinc por ingesta excesiva es poco común pero provoca trastornos intestinales y vómitos. Por vía respiratoria produce la “fiebre de los metales” presentando síntomas de fiebres altas, sudoración, tos.

3.3.7 Cobre

El cobre es un elemento esencial, requerido por todas las plantas y animales, incluyendo la vida acuática ya que forma parte de una variedad de enzimas que juegan un rol importante en procesos fisiológicos, así como en algunas proteínas estructurales, pero a altas concentraciones el cobre se vuelve una sustancia tóxica. Las fuentes antropogénicas de contaminación ambiental por cobre incluyen a la minería, fundiciones, y una variedad de productos basados en cobre utilizados en construcción, equipamientos electrónicos y en otras industrias [105-106].

Sus características: durabilidad, ductibilidad, maleabilidad y conductividad eléctrica, permite fabricar tuberías, cables e hilos conductores de electricidad, motores, calderas y alambiques, válvulas y accesorios de fontanería, así como en aleaciones y revestimientos, también se utiliza como insecticida, eliminación de algas en purificación de aguas, antibacteriano.

Cuando el cobre se libera al suelo puede adherirse fuertemente a la materia orgánica y a otros componentes como, arcilla, arena. El cobre y los compuestos de cobre se liberan al agua y pueden ser transportados en el agua de superficie ya sea en la forma de compuestos de cobre o cobre libre, o con más probabilidad, como cobre unido a partículas suspendidas en el agua. El cobre que entra al agua se deposita eventualmente en los sedimentos de los ríos, lagos y estuarios [107]. El cobre se halla en forma natural en el agua de mar en concentraciones bajas, alrededor de $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ y en

aguas de los ríos la concentración es aproximadamente $7 \mu\text{g.L}^{-1}$. En aguas marinas el cobre es bioacumulado por procesos de concentración biológica, por los organismos vivos filtradores, alcanzando una concentración de varios órdenes de magnitud. La asimilación implica la formación de complejos con sustancias orgánicas, no siendo fácilmente excretados. [108].

La presencia de cobre en aguas de consumo puede ser de origen natural o antrópico, la concentración del cobre en aguas y su biodisponibilidad dependen de numerosos factores, importantes como dureza, alcalinidad del agua, fuerza iónica, pH y potencial redox. En ambientes acuáticos naturales el cobre se presenta, principalmente, como cobre (II), de esta especie divalente sólo una pequeña fracción se presentará como libre, la mayor parte estará adsorbida en partículas suspendidas o formando complejos con diversos ligandos.

Las Guías de Calidad de Agua Potable del 2003 de la OMS indica un valor de referencial de 2mg.L^{-1} , en aguas para consumo.

El cobre es el primer material sólido admitido en el registro del EPA Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos como agente antimicrobiano. De esta forma se reconoce que el cobre tiene la capacidad de eliminar peligrosas bacterias relacionadas con infecciones microbianas potencialmente mortales, entre las que se destaca el virus de la gripe A (H1N1). Ningún otro material ha estado certificado con esta característica [109].

3.3.8 Cromo

El cromo en estado libre no existe en la naturaleza, esta en forma mineral, puede entrar en el aire, agua y suelo en forma de Cromo (III), siendo este el generalmente existente en la naturaleza y Cromo (VI) que se da por actividades humanas, como las de, peleterías, textiles pintura eléctrica y otras aplicaciones de cromo que incrementa su presencia.

Debido a que el cromo es, en general de baja solubilidad, los niveles que se encuentran en el agua por lo común son bajos, sin embargo existen ejemplos de contaminación del agua, en algunos casos muy serios, por efluentes que contienen

compuestos de cromo se han evacuado en los ríos. La valencia de la forma química en las aguas naturales se ve influenciada por la acidez del agua.

Hasta que en 1959 se descubrió la función biológica del cromo trivalente, las investigaciones se centraban en las propiedades toxicas del cobre hexavalente. La forma trivalente es la única que tiene actividad biológica y que se encuentra en los alimentos, ya que en la materia viva no se produce oxidación de Cr^{3+} a Cr^{6+} .

El Cr^{6+} es considerado carcinógeno y esta dentro del grupo I de la International Agency for Research on Cancer (IARC). Los efectos dañinos para el hombre del cromo contenido en el agua se relacionan con la forma hexavalente. En dosis altas causa cáncer en el tracto digestivo y crea riesgo de cáncer pulmonar. también puede producir úlceras cutáneas y en la membrana mucosa nasal, así como dermatitis.

Estudios realizados en peces de agua dulce expuestos a dosis agudas de cromo hexavalente mostraron que la toxicidad aguda de cromo afecta severamente a los órganos vitales y el comportamiento normal que puede ser perjudicial para las poblaciones de peces [110].

La OMS en sus Guías de Calidad para Agua Potable, ha establecido un valor de referencia provisional de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ para el cromo total. Mientras la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) Cromo (VI) en el agua potable, el nivel máximo de contaminación vigente para cromo en todas sus formas en el agua potable es de 100 partes por mil millones, esto incluye al cromo (VI).

3.3.9 Hierro

El hierro, es el cuarto el elemento más abundante en la corteza terrestre, representa el 5,1% de su peso total. En la naturaleza se lo encuentra en diferentes minerales como, magnetita Fe_3O_4 , hematita Fe_2O_3 , limonita $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, siderita FeCO_3 , pirita FeS_2 . El principal uso del hierro, es la producción de diferentes tipos de acero, de acuerdo a la asociación mundial del acero, se indica que la producción mundial de acero bruto de 2011 fue de 1.491 millones de toneladas.

Mediante la meteorización de los minerales primarios se libera hierro soluble, que puede ser utilizado por los organismos, unirse a distintos ligandos orgánicos o bien ser transformados a minerales secundarios tales como sulfuros, carbonatos y fundamentalmente a óxidos e hidróxidos de distinta composición y grados de cristalización, que serán los que controlen la solubilidad del elemento en el suelo.

El hierro es un nutriente esencial con una biodisponibilidad limitada. Cuando está presente en exceso, el hierro representa una amenaza para las células y tejidos, la toxicidad del hierro se basa principalmente en su capacidad para catalizar la generación de radicales, que atacan y dañan macromoléculas celulares y promover la muerte celular y daño tisular. La acumulación patológica de hierro en el hígado también se ha relacionado con el desarrollo de cáncer hepatocelular [111].

El hierro pese a encontrarse en cantidades muy pequeñas en nuestro organismo, participa como cofactor en numerosos procesos biológicos indispensables para la vida, como transporte de oxígeno, fosforilación oxidativa, metabolismo de neurotransmisores y en la síntesis de ácido desoxiribonucleico, las manifestaciones de la carencia de hierro derivan de aquellas propia de la anemia, se han descrito alteraciones de la capacidad de trabajo físico y de la actividad motora espontánea, alteraciones de la inmunidad celular y de la capacidad bactericida de los neutrófilos, una controvertida mayor susceptibilidad a las infecciones especialmente del tracto respiratorio, disminución de la termogénesis, alteraciones funcionales e histológicas del tubo digestivo, falla en la movilización de la vitamina A hepática [112].

En las Guías de la OMS de 1993 no se propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el hierro en el agua de consumo, concentraciones de hierro inferiores a $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ generalmente no confieren sabor apreciable al agua.

3.3.10 Mercurio

El mercurio (Hg), es uno de los contaminantes mas estudiados en las ultimas décadas, aunque sus efectos tóxicos sobre los animales y humanos son conocidos desde hace siglos, es un contaminante global que proviene de forma natural de la desgasificación de la corteza terrestre, de las emisiones volcánicas y de la evaporación

de las masas de aguas. En la actualidad, las actividades humanas duplican la presencia de mercurio en el ambiente.

En muchos lagos y ríos, hay cantidades muy pequeñas de mercurio. Las bacterias presentes en aguas superficiales pueden convertir el mercurio metálico y algunos tipos de mercurio inorgánico en formas orgánicas.

El mercurio, es causa de preocupación debido a su alta toxicidad (especialmente neurotoxicidad) y su amplia distribución es motivo de especial atención. En el medio acuático, el Hg puede ocurrir en muchas formas en base a una variedad de propiedades físicas y químicas, que determinan su biodisponibilidad, distribución compleja, y sus patrones de toxicidad [113].

Las formas químicas más comunes para el mercurio son elemental Hg (Hg^0), Hg inorgánico (Hg^{2+} y Hg_2^{2+}) y compuestos orgánicos tales como metilmercurio (MeHg), el mercurio elemental debido a su baja solubilidad, es mucho menos tóxico que sus formas oxidadas [114].

En los sedimentos acuáticos y las aguas anóxicas, las bacterias sulfato reductoras pueden convertir el mercurio inorgánico en una forma orgánica más tóxica, el metilmercurio, que se bioacumula y biomagnifica en toda la cadena alimentaria acuática, desde el plancton a los peces depredadores superiores y finalmente a los humanos [115] como se ha indicado el mayor efecto negativo de la contaminación ambiental por mercurio se produce a nivel acuático, debido a la alta toxicidad del metilmercurio que es una toxina muy potente, que se acumula en la vida acuática y con el tiempo en concentraciones y niveles más elevados.

La atmósfera, el agua y el suelo son los receptores de las liberaciones de mercurio en el ambiente, existen interacciones constantes entre estos compartimentos ambientales, la contaminación antrópica contribuye con la mayor cantidad de mercurio. Los ríos y océanos también actúan como medios de transporte del mercurio a grandes distancias. Por ejemplo se han observado altos niveles de mercurio en el Ártico, muy lejos de las fuentes importantes de su liberación [116].

Las fuentes antropogénicas son varias; la utilización del mercurio como

fungicida, herbicida y conservante de semillas en agricultura; las papeleras, la industria electroquímica, su uso en pinturas y pilas, la industria de los catalizadores, la combustión de carbones, los vertidos industriales y aguas residuales.

La OMS en las Guías para la Calidad de Agua Potable, en el volumen 1 de recomendaciones año 2006, indica un valor referencial para el mercurio inorgánico en $6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

3.3.11 Níquel

El níquel ocurre en forma natural en la corteza terrestre combinado con otros elementos. Se encuentra en todos los suelos y es liberado por volcanes. El níquel puede ser liberado al ambiente por las chimeneas de grandes hornos usados para fabricar aleaciones o por plantas de energía e incineradores de basura. se adhiere a pequeñas partículas de polvo que se depositan en el suelo o son removidas del aire en la lluvia o la nieve.

Los polvos arrastrados por el viento pueden contener especies minerales de níquel, que son a menudo en forma de sulfuros, así en un inventario exhaustivo realizado en varios años de emisiones antropogénicas de gases atmosféricos de níquel, la combustión del carbón es la principal fuente, el consumo de combustibles líquidos el segundo lugar y otros [117].

La concentración de níquel en el agua de ríos y lagos es muy baja, el promedio generalmente es menor a $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. La concentración promedio de níquel en el agua potable esta entre 2 y $4,3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

El Níquel y sus compuestos son considerados como cancerígenos potenciales para los humanos, y el níquel atmosférico es una de las principales rutas de exposición de las personas, el Níquel es uno de los metales designado como un tóxico agudo por muchas agencias gubernamentales y organizaciones internacionales, como la EPA de los EE.UU., la Unión Europea (UE), el Ministerio de Salud de Japón, y la Organización Mundial de la Salud (OMS). La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha concluido que los compuestos de níquel son carcinogénicos en seres humanos (Grupo 1), y el níquel elemental es también un posible carcinógeno humano (grupo 2B) (IARC, 1990).

3.3.12 Plomo

El plomo es un metal pesado conocido al menos 4000 años antes de Cristo. Los efectos tóxicos del plomo fueron descritos hace más de 2000 años. El Plomo es bioacumulable por lo que su concentración en plantas y animales se magnifica a lo largo de la cadena trófica.

Fuentes de exposición al plomo y sus derivados se encuentran, en el aire, en las plantas y animales de uso alimentario, en el agua de bebida, en los ríos, océanos y lagos, en el polvo, y suelo. La dieta es una fuente importante de exposición al plomo, se calcula que un adulto ingiere diariamente de 0,3 a 0,5 mg de este metal, el 80% del mismo es eliminado por el riñón si es superior a 0,6 mg.día⁻¹ el plomo se acumula y puede provocar intoxicación. Las manifestaciones clínicas de la intoxicación aguda son muy variadas, dolor cólico, anemia hemolítica, elevación de las enzimas hepáticas, encefalopatía aguda y neuropatía [118]. El Comité Mixto FAO/OMS ha establecido en 25 µg.Kg⁻¹ la Ingesta Semanal Tolerable de plomo (ISTP) por sus siglas en inglés PTWI (Provisional Tolerable Weeckly Intake).

El plomo en el medio ambiente acuático tiene dos orígenes: el natural y antropogénico, las actividades mineras, industriales, combustión de carbón y la gasolina con plomo. La atmósfera es la entrada principal de plomo antropogénico en el ecosistema acuático.

El plomo puede penetrar el organismo por tres vías: respiratoria, digestiva y cutánea, el plomo atraviesa la piel pasa a través de los folículos pilosos, glándulas sebáceas y sudoríparas va directamente al torrente circulatorio, en las personas la absorción por vía respiratoria es mínima comparada con la vía digestiva.

La IARC ha determinado que el plomo inorgánico probablemente es carcinogénico en seres humanos y que no hay suficiente información para determinar si los compuestos orgánicos de plomo pueden producir cáncer en los seres humanos [119].

El plomo es un Neurotóxico y puede causar grave daño individual especialmente cuyos cuerpos están en la etapa de desarrollo. En niños el plomo puede interferir con el desarrollo normal, causar daño irreparable en el cerebro o la misma muerte.

CAPÍTULO 4

CONTAMINANTES ORGÁNICOS

- 4.1. Introducción: Contaminantes orgánicos
- 4.2. Pesticidas
 - 4.2.1. Pesticidas organoclorados
 - 4.2.1.1. DDT y análogos
 - 4.2.1.2. Hexaclorociclohexano
 - 4.2.1.3. Ciclodienos
 - 4.2.1.4. Toxafeno
 - 4.2.2. Pesticidas organofosforados
 - 4.2.3. Hidrocarburos aromáticos policíclicos
 - 4.2.3.1. Origen de los hidrocarburos aromáticos policíclicos
 - 4.2.3.2. Toxicidad de los hidrocarburos aromáticos policíclicos
- 4.3 Bifenilos policlorados
 - 4.3.1. Toxicología bifenilos policlorados
- 4.4. Transporte de contaminantes orgánicos
- 4.5. Contaminantes orgánicos estudiados en las aguas del río Daule

4.1 Introducción: contaminantes orgánicos

Pasada la Segunda Guerra Mundial, los científicos comenzaron a detectar que ciertos contaminantes químicos presentaban persistencia en el medio ambiente durante largo tiempo, y que su presencia y acumulación puede afectar al medio ambiente y afectar la salud humana [120], estos contaminantes se conocen con el nombre de contaminantes orgánicos persistentes (COPs) o por sus siglas en inglés (OCPs), estos compuestos son de origen sintético, fueron fabricados en el siglo pasado, poseen gran estabilidad y alto grado de toxicidad, dado su carácter artificial son inmunes a la biodegradación, cuando estos compuestos están presentes en el medio ambiente, pueden permanecer sin cambios durante largos períodos de tiempo, ya que resisten la degradación fotolítica, química y biológica y pueden distribuirse ampliamente en el planeta [121].

Son parte de los contaminantes orgánicos persistentes, los compuestos químicos tóxicos, que se clasifican en pesticidas organoclorados, organofosforados, insecticidas, herbicidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, productos químicos industriales llamados bifenilos policlorados (PCBs), y otros productos no intencionales como las dioxinas y furanos que se generan de la combustión en determinados procesos industriales.

Dada la alta persistencia de años e incluso décadas de ciertos compuestos orgánicos y los peligros cada vez mayores que estos representan para la salud humana y el medioambiente, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), auspició el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, que es un tratado internacional que entró en vigor en el 2004, tiene como meta reducir, y a futuro eliminar totalmente los COPs, comenzando por la llamada docena sucia. La docena sucia de contaminantes orgánicos persistentes la constituyen 9 plaguicidas que son: aldrin, clordano, DDT, dieldrin, endrin, heptacloro, hexacloro benceno, mirex y toxafeno, un grupo de contaminantes industriales conocidos como PCBs (Bifenilos policlorados), y dos tipos de subproductos no intencionados industriales que son las dioxinas y furanos, para el 2009 y 2010 se agregaron otros 10 compuestos [122] que se indican en la tabla No 15, los compuestos tipo A. están sujetos a la eliminación de producción y uso, en el caso de productos B se limitan la producción

y su uso, con excepciones específicas para permitir su uso y los C son aquellos que se producen de manera no intencionadamente.

| Categoría | Componentes orgánicos persistentes |
|--|---|
| A | Aldrin, cloradano, dieldrin, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, endrin, clordecona, toxafeno, lindano, éteres de hexa y penta-bromodifenilo (éter de octabromodifenilo), éteres de tetra y penta-bromodifenilo (éter de pentabromodifenilo de calidad comercial), bifenilo policlorados (PCBs), alfa y beta- hexaclorociclohexano, alfa y beta-endodulfan (endosulfan de calidad técnica y sus isómeros), pentaclorobenceno, hexabromobifenilo. |
| B | DDT, ácido sulfónico de perfluorooctano y sus sales (PFOS) y el fluoruro de sulfonilo perfluorooctano (PFOSF). |
| C | Las dibenzo-p-dioxinas (PCDD), dibenzofuranos policlorados (PCDF), bifenilos policlorados (PCB). |
| Productos químicos actualmente en revisión | Hexabromociclododecano (HBCD), parafinas cloradas de cadena corta, naftalenos clorados, hexaclorobutadieno, pentaclorofenol. |

Tabla No 15. Lista de contaminantes orgánicos a eliminarse: Convenio de Estocolmo, Trends in Analytical Chemistry

Entre las características más comunes de los COPs están:

- Ser persistentes, ya que los COPs son contaminantes químicos que resisten, la degradación física, química y biológica.
- Ser bioacumulables, son lipofílicos, se adicionan a los tejidos corporales de los organismos vivientes a concentraciones más altas que los del medio ambiente circundante.
- Poder ser transportados a largas distancias en el medio ambiente y causar una contaminación peligrosa en lugares muy lejanos de aquellos donde la sustancia entró originalmente al medio ambiente.
- Tener potencial para causar efectos negativos: Los COPs son contaminantes químicos con el potencial para causar daños a la salud humana y/o a los ecosistemas, incluso en niveles de concentraciones bajos.

Cuando se utilizan los COPs, estos se depositan en la superficie de la tierra bien sea por vía seca o húmeda y son absorbidos por el suelo debido a la materia orgánica que posee que actúa como sumidero [123], también se absorben por la vegetación, y se disuelven parcialmente en las aguas superficiales, pero después pueden ser reemitidos a la atmósfera, y por efecto de la temperatura y la volatilidad del compuesto, pueden transportarse a largas distancias [124] razón por la cual los COPs y sus productos de transformación, se han encontrado en áreas remotas como el polo norte y en ambientes de altas montañas que pueden servir como condensadores de los COPs [125]. El ártico es un importante indicador de la persistencia, dado que las condiciones frías favorecen la persistencia de los COPs, en relación a ambientes templados o tropicales [126-127].

Cuando los COPs entran en el cuerpo de un organismo provoca una serie de trastornos. En animales y humanos son causantes de muchos desordenes biológicos, alteración en el sistema nervioso y otros efectos sobre la salud. Así los PCBs afectan la función de los sistemas endocrino, inmunológico y nervios entre otros, afectan la función reproductora y alteran aspectos de la sexualidad, pueden generar cáncer de mama, hígado, tracto biliar, gastrointestinal, cerebral [128].

Los niveles de concentración de los COPs, pueden ser incrementados por la biomagnificación, dada su característica de ser bioacumulables a través del proceso de transmisión de la cadena alimenticia llegando a niveles muy peligrosos para la salud humana [129].

Todos las personas estamos expuestas a los COPs por diferentes factores como crecimiento poblacional, uso de productos químicos para la agricultura, mayor cantidad de residuos sólidos y líquidos, pero se ha demostrado que los alimentos son la principal fuente de exposición humana a los COPs, y se supone que más del 90% de la exposición humana a los COPs es causada por el consumo de alimentos contaminados [130], productos de origen animal, pescados, cereales y vegetales, por lo tanto el grado de exposición de la población puede ser estimado a partir de los niveles de COPs en los alimentos y el consumo de esos alimentos [131-132].

Dado que los niños son los mas vulnerables, se han realizado estudios de COPs en leche materna, pudiendo establecerse que la concentración de COPs, esta ligada a la dieta de las mujeres, siendo mayor en aquellas que consumen carne y órganos internos

de cerdos y ovejas [133]. La EPA ha estimado que más del 90% de las exposiciones restantes humanas a las dioxinas se producen a través del consumo de alimentos, principalmente de grasa animal [134]. Las dioxinas causan un espectro de déficits de desarrollo morfológico y funcional, malformaciones fetotoxicidad, atrofia del timo y estructurales se observan a menudo. Recientemente anomalías hormonales y neurológicas se han descrito en la infancia y de la población en general [135].

4.2 Pesticidas

En la década de 1940 para uso en la agricultura fueron introducidos los agroquímicos con la finalidad de mejorar el rendimiento de los cultivos, así como proteger los cultivos de las plagas, entre estos productos están los pesticidas [136]. Los pesticidas también llamados plaguicidas, son parte de los productos agroquímicos utilizadas para el control de diferentes plagas, como son los insectos, hongos y plantas herbáceas, roedores, el control puede estar dirigido a matar, repeler o interrumpir el crecimiento de las plagas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) define a los plaguicidas como cualquier sustancia o mezclas de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, y productos agrícolas.

El uso de los pesticidas en su inicio trajo grandes beneficios en el aumento de la producción de alimentos. La preocupación por los efectos negativos y uso excesivo de los plaguicidas en el medio ambiente comenzó a ser expresado en la década de 1960. Desde entonces el debate sobre los riesgos y beneficios de los pesticidas no ha cesado y una gran cantidad de investigaciones se han realizado sobre el impacto de los plaguicidas en los seres vivos y en el medio ambiente, ya que son muy estables, pueden ser transportados largas distancias, se acumulan en los organismos vivos, y se depositan en los sedimentos en el fondo de las cuencas hidrográficas.

El uso indebido de los pesticidas, es una de las causas de muerte en los áreas rurales ya sea por auto daño o por intoxicación, la OMS estima de acuerdo a datos del 2001 que a nivel mundial 849.000 personas murieron, determinar cuantos casos de

intoxicación por pesticidas se han producido no se conoce, sin embargo el envenenamiento es la forma más común de las autolesiones mortales en zonas rurales de Asia, que representan más del 60% de todas las muertes [137].

El uso de pesticidas en la agricultura es extremadamente alto y es un síntoma de las deficiencias de la agricultura en la Unión Europea la agricultura actual está asociada a un conjunto de problemas y una de estas el crecimiento constante de los problemas de salud y contaminación ambiental [138]. Según la Oficina Estadística de las Comunidad Europea aproximadamente 320.000 toneladas se vendieron en la Unión Europea en 1999 [139].

En los últimos años, las estadísticas del uso de pesticidas en todo el mundo indican que cerca de 3 billones de kilos de pesticidas se utilizan cada año, los plaguicidas químicos se utilizan actualmente para el control de plagas en todo el sector agrícola, incluida la horticultura, ornamentales y cultivos vegetales [140], según la EPA en los Estados Unidos Existen más de 1055 ingredientes activos registrados como pesticidas, los cuales están formulados en miles de productos como pesticidas que se encuentran disponibles en el mercado.

La exposición a los pesticidas tanto laboral como ambiental provoca una serie de problemas de salud humana. Se ha observado que la exposición a los pesticidas están cada vez más relacionadas como la supresión inmune, trastornos hormonales, disminución de la inteligencia, anomalías en la reproducción, cáncer, diabetes, enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson, el Alzheimer [141]. En lo relacionado al impacto al medio ambiente según [142] dependerá en gran medida de criterios como: cantidad de ingrediente activo aplicado y su sitio de aplicación, su partición, concentración en el aire, suelo, agua de superficie, su tasa de degradación, y toxicidad para las especies presentes.

Según la EPA, la mayoría de los plaguicidas presentes en aguas superficiales no se eliminan ni se transforman los tratamientos físico-químicos como sedimentación, filtración, coagulación, sino que requieren de procesos más eficientes, como las técnicas avanzadas de oxidación para eliminarlos en la producción de agua potable [143].

Gran parte de la economía del Ecuador se sustenta en la agricultura, y para su

desarrollo de realizan importaciones de pesticidas desde diferentes partes del mundo, de acuerdo a datos del proyecto "Desarrollo del Plan Nacional de Implementación para la Gestión de Contaminantes Orgánicos Persistentes" 2004, en el periodo de 1980-1985 se importaron 74.539.831 kg. de plaguicidas, y para el periodo de 1986 a 1991 la importación fue de 31.637.895 kg., por cifras suministradas por el Banco Central del Ecuador, las importaciones de pesticidas para el periodo de enero del 2010 a noviembre del 2012 fue de 53.467.893 kg.

En 1998, el Ecuador suscribió el Convenio de Róterdam referente al "Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto del Comercio Internacional", también ha participado en las sesiones del Comité Intergubernamental de Negociación para la Adopción de un Instrumento Jurídicamente Vinculante para el control y eliminación de los denominados Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), el Ecuador fue seleccionado como uno de 12 países piloto para ejecutar el Proyecto [144].

En el Ecuador se encuentra regulada la importación de agroquímicos que son reconocidos por ser muy tóxicos [145], razón por la cual se tiene prohibido la importación y usos de los siguientes pesticidas: aldrin, dieldrin, endrin, BHC, campheclor (toxafeno), clordimeform, clordano, DDT, DBCP, lindano, amitrole, compuestos mercuriales y de plomo, tetracloruro de carbono, leptophos, heptacoloro, chlorobenzilato, metil paratión, dietil paratión, etil parathion, mirex, dinoseb. También por Resolución No 073 publicado en el Registro Oficial. 505 de 13/01/2009, por ser nocivos para la salud y ambiente se prohíben: captafol, fluoroacetamida, hexaclorobenceno (mezcla de isómeros), paratión, pentaclorofenol y sales y ésteres de pentaclorofenol.

El uso de pesticidas en Ecuador, es bastante intenso y es utilizado en varios tipos de cultivo como: flores, arroz, maíz, palma africana, banano, soja, patatas, palmito y productos no tradicionales, las exposiciones ocupacionales en el Ecuador a los pesticidas organofosforados y carbamatos han sido registradas [146], y la tasa de intoxicaciones que en el 2010 fue del 14,4%, subió a 17,4% en el 2011, y el 49% de las intoxicaciones están relacionadas con los pesticidas [147].

4.2.1 Pesticidas organoclorados

Los pesticidas organoclorados son compuestos que contienen carbono, hidrogeno y cloro y son de estructura generalmente cíclica, de gran peso molecular, son liposolubles, de gran persistencia en el organismo humano, en la cadena alimentaria y el medio ambiente, poco solubles en agua, soluble en disolventes orgánicos, y de baja presión de vapor.

El origen de los pesticidas organoclorados se remonta a la fabricación del DDT (diclorodifeniltricloroetano) que fue sintetizado en 1874 por Zeidler. En 1939 el Dr. Paúl Muller [148] descubrió su uso para el control de la malaria, fiebre amarilla y muchas otras enfermedades transmitidas por insecto, y desde entonces, por muchas décadas ha sido utilizada contra otros vectores.

Una clasificación amplia según la estructura molecular de los pesticidas es: aromáticos clorados: DDT, dicofol, metoxicloro, clorobencilato; cicloalcanos clorados: hexaclorociclohexano; ciclodiénicos clorados: aldrin, dieldrin, endrin, heptacloro, endosulfan, clordano, mirex, y terpeno clorados: toxafeno.

La persistencia de estos pesticidas es elevada, ya que su tiempo promedio de degradación es de algunos años, la absorción de estos compuestos en las personas se lleva a cabo a través de los sistemas digestivo, respiratorio y piel. Debido a la gran liposolubilidad y metabolismo lento, estos compuestos se acumulan en la cadena alimentaria y en el tejido adiposo de los seres vivos, dadas estas características el uso de los plaguicidas organoclorados han sido progresivamente restringido o incluso prohibido [149].

Por su elevada toxicidad se los ha relacionado con problemas genéticos en los humanos, tales como: tumores, enfermedades hepáticas, anomalías esqueléticas, enfermedades del sistema nervioso [150], entre otras. Entre los compuestos químicos responsables de estos efectos se encuentran los pesticidas organoclorados como: el dieldrín, endrín, aldrín, lindano, heptacloro y DDT. La peligrosidad de estos pesticidas en general radica además de su alta toxicidad; en su persistencia en suelos, agua, sedimentos, tejidos animales y vegetales.

Los organoclorados, son ampliamente utilizados en actividades agrícolas con el objetivo de controlar las plagas en los cultivos. En el saneamiento en muchos países del mundo, también son utilizados por ser relativamente baratos y eficaces en el control de vectores, así en la India estos compuestos orgánicos persistentes como los isómeros del HCH, DDT y sus metabolitos son los contaminantes químicos predominantes, se encuentran a lo largo de la costa de ese país [151].

Numerosos estudios indican la presencia de diferentes tipos de pesticidas en diferentes matrices, siendo el agua una de las más afectadas y se ha reportado la presencia de DDT, HCH en varios estudios realizados [152-156]. Estas sustancias químicas potencialmente pueden contaminar las aguas subterráneas por lixiviación y escorrentía debido a sus características físico-químicas que facilitan su movilidad en las capas del suelo [157].

En el Ecuador la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional [158], en ella se establece los criterios de calidad de los diferentes tipos de agua, cuyos límites máximos permisibles constan en la Tabla No 16.

| Usos de aguas | Parámetros | Límite máximo permisible mg.L ⁻¹ |
|---|---|---|
| Aguas de consumo humano y de uso doméstico que requieran tratamiento convencional. | Concentración de organoclorados totales | 0,01 |
| Aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de desinfección. | Concentración de organoclorados totales | 0,01 |
| Criterios de calidad admisibles para la preservación de flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario. | Concentración de organoclorados totales | 0,01 |
| Criterios de calidad de aguas de uso agrícolas o de riego. | Concentración de organoclorados totales | 0,2 |
| Criterios de calidad de aguas de uso pecuario. | Concentración de organoclorados totales | 0,2 |
| Criterios de calidad para aguas destinadas a fines recreativos. | Concentración de organoclorados | 0,2 para cada compuesto detectado |

Tabla No 16: Límite máximo permisible de pesticidas organoclorados, TULSMA, Libro VI, Anexo 1

Para el caso de aguas subterráneas, la legislación nacional establece los criterios referenciales de organoclorados, se refieren a DDE, DDD y DDT, la suma total corresponde a $0,005 \mu\text{g.L}^{-1}$.

4.2.1.1 DDT y análogos

El DDT (Dicloro-difenil-tricloroetano) se introdujo como insecticida durante la Segunda Guerra Mundial para combatir la malaria, los mosquitos y la propagación del tifus y otras enfermedades transmitidas por insectos, y para el control de insectos en los cultivos y producción ganadera [159], sin embargo la toxicidad y persistencia del DDT ha hecho que su producción y uso este prohibida en la mayoría de los países debido a su impacto negativo sobre la fauna silvestre y sus efectos nocivos sobre la salud humana a través de la cadena trófica [160]. Sin embargo, el DDT se sigue utilizando en algunos países en desarrollo con fines esencialmente de salud pública [161]. La Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. ha clasificado el DDT y sus productos de metabolito (1,1-dicloro-2,2-bis (4-clorofenil) etano [DDD]; 1,1-dicloro-2,2-bis (4-clorofenil) etileno [DDE]) como contaminantes prioritarios.

A pesar de que el DDT se ha dejado de usar en muchos países, las dosis bajas de este plaguicida y sus metabolitos DDE y DDD pueden encontrarse en el medio ambiente de todo el planeta. El DDT aun sigue siendo ampliamente utilizado en varias partes del mundo, para controlar la malaria, tifus y vectores de dengue, aunque su uso fue prohibido en muchos países, sobre la base de los datos de toxicidad de especies de vida silvestre [162].

Se conoce que aproximadamente la mitad de la población mundial corre el riesgo de padecer el paludismo. La mayoría de los casos y de las muertes se registran en África subsahariana, Asia, Latinoamérica, y en menor medida en Oriente Medio y algunas zonas de Europa, en el 2010 el paludismo estaba presente en 106 países y territorios. Este insecticida ha sido comúnmente aplicado en los países en desarrollo de Asia y África, debido a su bajo costo y versatilidad contra varios tipos de plagas [163].

En el 2006 la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró su apoyo para el uso de interior de DDT [164] para el control la malaria, citando que los beneficios de

los pesticidas son mayores que los riesgos ambientales y de salud. Esto es consistente con el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, que prohíbe el DDT para todos los usos excepto para el control de la malaria.

El DDT es uno de los 12 pesticidas recomendados por la OMS para desarrollar programas de pulverización residual en interiores. Corresponde a los países el decidir si desea o no utilizar DDT. La EPA trabaja con otros organismos y países para informarles sobre cómo se desarrollan y supervisan los programas de DDT, con el objetivo de que el DDT se utilice sólo en el contexto de los programas de control integrado de vectores.

4.2.1.2 Hexaclorociclohexano

El hexaclorociclohexano (HCH) es un insecticida organoclorado químicamente muy estable, en los vertebrados se acumula principalmente en tejido graso, siendo su efecto fundamental neurotóxico. Hay ocho isómeros, entre ellos cinco muy conocidas e importantes: alpha, beta, gamma, delta y épsilon, que actualmente son considerados carcinógenos humanos [165], el isómero más representativo es el gamma conocido comercialmente como lindano. El gamma-HCH o lindano es ligeramente soluble en agua en 10 partes por millón y soluble en casi todos los compuestos orgánicos, es estable a la luz, calor, oxígeno del aire y a los ácidos concentrados, pero en medio básico se descompone fácilmente a ácido clorhídrico [166], en el gamma hexaclorobenceno el lindano esta en un 99%, en el HCH técnico contiene otros isómeros alfa-HCH (55-80%), beta-HCH (5-14%), Gamma-HCH (3-18%), delta-HCH (6-10%) y epsilon-HCH (3-5%) [167]. El lindano y el alfa-hexaclorociclohexano constituyen el 75 % aproximadamente de los compuestos organoclorados medidos en las nieves del Ártico canadiense.

El lindano es el ingrediente activo de algunos productos, utilizados para el tratamiento de semillas y suelos, aplicaciones foliares, tratamiento de árboles, madera y para luchar contra los ectoparásitos tanto en animales como en seres humanos.

Se estima que desde el año 1950 hasta el 2000 el uso mundial del lindano en los campos de la agricultura, ganadería, forestación y la salud humana, entre otros, alcanza aproximadamente 600.000 toneladas [168].

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer ha clasificado al HCH (todos los isómeros) como posiblemente carcinogénicos en seres humanos, por su parte la USEPA ha clasificado al HCH de grado técnico y al α -HCH como probablemente carcinogénicos en seres humanos, al β -HCH como posiblemente carcinogénico en seres humanos, y al δ -HCH y ε -HCH como no clasificables en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.(ATSDR 2005).

La característica del lindano de bioacumularse en los tejidos grasos ha sido motivo de muchos estudios en personas, en estudios realizados por [169] en suero de adultos en zonas de Bizkaia, aparentemente no expuestos a fuentes conocidas de plaguicidas, se determinaron varios pesticidas organoclorados, entre ellos, alfa y beta-HCH, gamma-HCH, DDT, p,p'DDT, p,p'DDE, las cantidades determinadas indicaron un incremento de concentraciones en relación a la edad de las personas, los resultados indican que la población general adulta de Bizkaia ha estado y está expuesta a plaguicidas organoclorados, de manera similar estudios realizados en suero y tejido adiposo de mujeres del sureste español, determinó la presencia de organoclorados en 100% de las muestras analizadas, y en lo relacionado al lindano, la detección fue en mas del 50% de las muestras [170].

4.2.1.3 Ciclodienos

Los ciclodienos más comunes son: aldrín, dieldrín, endrín, endosulfan, heptacloro y clordano, mirex. La mayoría de los ciclodienos son insecticidas persistentes y estables en el suelo y relativamente foto estables, los ciclodienos tienen una correlación de temperatura positiva, su toxicidad aumenta al incrementar la temperatura del ambiente.

Debido a su persistencia en el medio ambiente, resistencia desarrollada por algunos insectos, y en algunos casos la biomagnificación en las cadenas de vida silvestre, la mayoría de los usos agrícolas de los ciclodienos fueron cancelados ya hace muchos años en la mayor parte de los países.

Estos compuestos actúan como neurotoxinas, estimulan el sistema nervioso central y por ende muchos signos y síntomas de su envenenamiento se parecen al DDT.

pero a diferencia de este tienden a producir convulsiones antes de aparecer otros signos menos serios de enfermedad. Las personas envenenadas por insecticidas de este tipo presentan cefaleas, náuseas, vómitos, mareos, pero algunas tienen convulsiones sin síntomas previos. Estos plaguicidas tienen el mayor potencial carcinógeno de todos los insecticidas.

Sus modos de acción no son comprendidos claramente. Sin embargo se sabe que este grupo actúa sobre el mecanismo inhibitor del receptor llamado GABA (ácido g-aminobutírico). Este receptor opera incrementando la permeabilidad de los iones cloro de las neuronas e impiden que los iones cloro entren en las neuronas, y por lo tanto antagonizan con los efectos "calmantes" del GABA.

El clordano, dieldrin, aldrin, endrin, endosulfan 1,2 endosulfán y mirex fueron cuantificados en el plancton del subsuelo del Báltico en un estudio realizado con el fin de examinar las concentraciones, la composición, distribución espacial y las posibles fuentes de contaminación fueron determinados en concentraciones de hasta 32 ng/g en lípidos [171]. Los pesticidas del grupo de los Ciclodienos como aldrin, dieldrin, endrina y heptacloro) fueron han sido detectados en sedimentos del río Ebro, también su presencia ha sido determinada en las costas de España, Egipto, Marruecos, Turquía y Grecia [172].

4.2.1.4 Toxafeno

Toxafeno es una mezcla compleja de componentes que se utilizan en todo el mundo, principalmente como plaguicida agrícola, también se lo conoce como canfecloro, policlorocanfeno, clorocanfeno, canfeno clorado con efectos insecticidas, se utilizó intensamente durante la segunda mitad del siglo XX, en la década de los noventa su uso fue prohibido en Estados Unidos debido a su naturaleza volátil, persistente y lipofílico de algunos compuestos del toxafeno, y tienen tendencia a bioacumularse.

El toxafeno se volatiliza fácilmente del suelo, y liberado en las aguas superficiales se absorbe vigorosamente en el sedimento. La hidrólisis, la fotólisis y la biodegradación es bastante lenta debido a su alta persistencia.

4.2.2 Pesticidas Organofosforados

Los organofosforados (OF) son sustancias orgánicas derivadas del ácido fosfórico y constituyen un amplio grupo de sustancias altamente tóxicas, que inicialmente se desarrollaron a partir de la Segunda Guerra Mundial con fines exclusivamente militares, como gases neurotóxicos entre los que se encuentran el sarín, tabun y soman, las propiedades insecticidas fueron descubiertas hasta 1937 por el Dr. Schrader, a partir de la década de los cincuenta del siglo XX, se comienzan a utilizar como insecticidas [173] en agricultura y aparecen el paratión y el malatión que rápidamente se consolidaron para uso agrícola como insecticidas y su uso se incremento debido a la prohibición de los organoclorados, sus usos son muy diversos: doméstico, veterinario, medicina y como aditivo en algunas industrias: petróleo, disolventes, colorantes, barnices, etc.

Los pesticidas organofosforados, se descomponen con mayor facilidad que los organoclorados, y son inestables en el ambiente, son menos persistentes que a los organoclorados [174] pero más tóxicos, pocos soluble en agua, muy solubles en solventes orgánicos, muchos de ellos son sistémicos, es decir son absorbidos por las plantas e introducidos en el sistema vascular de los vegetales, actuando tanto en los insectos como también sobre las personas que ingieren el alimento, aunque éste sea previamente lavado [175], otra característica es que son biodegradables y no se acumulan en el organismo, pero presentan problemas especiales debido a que pueden combinarse con otros organofosforados produciendo diversos efectos como sinergia, potenciación e inhibición de la detoxificación.

Los organofosforados resultan ser muy eficientes y económicos en el control de plagas, sin embargo, pese a que son menos persistentes en el ambiente, no dejan de representar un riesgo para la salud humana y para el deterioro de los ecosistemas, en un estudio realizado por [176], se determinaron concentraciones de clorfenvinphos, malatión y diazinón en brócoli, en concentraciones que pueden representar riesgos para la salud de los consumidores, ingresan al organismo por vía dérmica, respiratoria, digestiva, mucosas, y conjuntiva tras inhalar vapores polvos o aerosoles. Cuando el ingrediente activo se disuelve en solvente orgánico, se facilita la absorción del producto a través de la piel, la vida media de estos pesticidas es relativamente corta de horas a

días. El primer efecto bioquímico asociado con la toxicidad de los organofosforados es la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa (AChE) que es imprescindible para el control normal en la transmisión de los impulsos nerviosos que van desde las fibras nerviosas hasta las células musculares y glandulares y también hacia otras células nerviosas en los ganglios autónomos y en el cerebro [177].

Como se ha indicado es bastante amplio el uso de organofosforados y aun no se conoce de manera profunda los efectos de la exposición de la población a este tipo de pesticidas, en un estudio realizado a mujeres embarazadas expuestas a este tipo de productos, en su análisis de orina se determinaron residuos de metabolitos: dimetilfosfato, dimetilthiofosfato, dietilfosfato, y dietiltiofosfato, que sugieren que la presencia de estos pesticidas estarían [178] afectando negativamente la duración de la gestación y que los niveles de metabolitos de organofosforados, en mujeres embarazadas en China eran más altos que los reportados en Estados Unidos y Países bajos. También [179], en su estudio indica que la exposición a este tipo de pesticidas durante el embarazo, puede contribuir a la alteración endocrina materna y a la función hepática alterada, los resultados sugieren una disrupción endocrina durante el embarazo asociado a la exposición ambiental a los organofosforados.

La legislación del Ecuador establece los siguientes límites de organofosforados para los siguientes tipos de aguas, indicados en la tabla No. 17.

| Usos de aguas | Parámetros | Limite máximo permisible mg.L ⁻¹ |
|---|--|---|
| Aguas de consumo humano y de uso doméstico que requieran tratamiento convencional. | Concentración de organofosforados totales | 0,1 |
| Aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de desinfección. | Concentración de organofosforados totales y carbamatos | 0,1 |
| Criterios de calidad admisibles para la preservación de flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario. | Concentración de organofosforados totales | 0,01 |
| Criterios de calidad de aguas de uso pecuario. | Concentración de organofosforados totales | 0,1 |
| Criterios de calidad para aguas destinadas a fines recreativos. | Concentración de organofosforados y carbamatos | 0,1 para cada compuesto detectado |

Tabla No. 17. Límites máximos permisible de pesticidas organofosforados

4.2.3 Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), son un grupo de más de 100 sustancias químicas, se caracterizan por estar formados por átomos de carbono e hidrógeno, agrupados en anillos fusionados, los anillos pueden estar en forma recta, angulados o racimados, los cuales contienen cinco o seis átomos de carbono. Se forman durante la combustión incompleta del carbón, petróleo, gasolina, aceites, maderas, basuras y otras sustancias orgánicas, y en procesos industriales. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) son compuestos orgánicos que figuran como contaminantes prioritarios por los organismos internacionales de protección del medio ambiente, debido a sus efectos carcinogénicos, mutagénicos y tóxicos, derivados tanto de fuentes naturales y antropogénicas, los HAPs son ubicuos en el medio ambiente, y han sido bien documentados [180].

Los HAPs se encuentran generalmente como una mezcla compleja, tales como el hollín, asfalto, brea, alquitrán, petróleo crudo, creosota y en otros productos. Algunos de los HAPs son manufacturados, y como sustancias químicas en estado puro, son generalmente sólidos incoloros, o amarillo-verde pálido y tienen un olor leve y agradable, y unos pocos se usan en medicamentos, en la elaboración de pinturas, tinturas y plásticos [181].

Los HAPs se consideran compuestos orgánicos persistentes, por lo que pueden permanecer en el medioambiente durante largos periodos de tiempo sin alterar sus características tóxicas, sus propiedades semivolátiles les otorgan gran movilidad. Los HAPs pueden degradarse en un periodo de días a semanas al reaccionar con luz solar o con otras sustancias químicas, en el aire, en el agua y suelo la degradación generalmente es causada por microorganismos.

Las características físico-químicas de los HAPs son muy diversas; algunos de ellos son semivolátiles, otros tienen un elevado punto de ebullición. En general son lipofílicos, es decir que tienden a disolverse en las grasas, y al disolverse en ellas, su carácter lipofílico se incrementa con la complejidad de los compuestos y la masa molecular, es decir, cuanto más átomos y más anillos forman la molécula del HAP mayor es su afinidad por las grasas.

Los HAPs se encuentran en todo el medio ambiente, en aire, agua y suelos. En los suelos la contaminación por HAPs es tema de creciente preocupación en los últimos años [182], estos compuestos pasan al aire por emisiones volcánicas, incendios forestales, combustión de carbón, escape de automóviles y camiones, incineración de desechos industriales, en el aire pueden estar adheridos al material particulado en forma de polvo y se depositan en el fondo de los ríos y lagos. Las partículas de HAPs pueden evaporarse al aire desde el suelo o desde aguas superficiales, en el suelo puede ocurrir que se adhieran fuertemente a partículas. Los HAPs pueden entrar a las aguas de superficie a través de las descargas de plantas industriales y de tratamiento de aguas residuales [183]. Las descargas de aguas residuales domésticas, es un tema de gran preocupación debido a su potencial riesgo relacionado con la reutilización del agua y también para el medio ambiente y salud de los seres vivos. Cuando las aguas residuales se descargan en el suelo los HAPs se unen a otras partículas y pueden contaminar los acuíferos [184].

Aunque los efectos de salud causados por cada uno de los HAPs individuales no son exactamente los mismos. La Agencia Federal para la Protección del Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos ha seleccionado 16 HAPs como contaminantes cuyo estudio debe considerarse prioritario, algunos HAPs pueden inducir una serie de efectos adversos como inmunotoxicidad, genotoxicidad, carcinogenicidad y toxicidad para la reproducción. Bajo esta consideración la Agencia de Protección del medio ambiente de los Estados Unidos (USEPA) ha colocado 16 de estos HAP en la lista de contaminantes prioritarios [185]: Acenafteno, acenaftileno, antraceno, pireno, Fluoreno, benzo[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[e]pireno, benzo[b]Fluoranteno, Criseno, Fenantreno, Fluoranteno, benzo[g,h,i]perileno, benzo[j]fluoranteno, indeno[1,2,3-c,d]pireno, benzo[k]fluoranteno, dibenzo[a,h]antraceno, .

4.2.3.1 Origen de los hidrocarburos aromáticos policíclicos

Existen una gran variedad de fuentes de estos hidrocarburos como son las fuentes naturales que esta dada por las erupciones volcánicas, incendios forestales, las antropogénicas de mayor contribución son los procesos industriales, incineración, plantas de generación eléctrica, emisiones causadas por los vehículos de gasolina y diesel, combustión de combustibles fósiles, refinación de petróleo, fabricación de

productos químicos, derrames de petróleo, producción de hierro y aluminio [186]. Las vías de comunicación terrestres también son una importante fuente de generación y contaminación de los HAPs, debido a las emisiones generados por combustión, pavimento de asfalto, desgaste de neumáticos, escapes de aceites, y gases de la combustión.

A nivel doméstico los HAPs, se originan por calefacción, alimentos ahumados, y también se producen por los hábitos de preparar los alimentos mediante cocción a altas temperaturas, utilizando gas, leña, carbón de madera u otros de carácter orgánico. Aunque el mecanismo exacto de la formación de HAP de alimentos a la parrilla o ahumados no se conoce con precisión, se considera que al menos existen tres mecanismos posibles. El primer mecanismo es la pirólisis de la materia orgánica, tales como grasa, proteínas y carbohidratos a temperaturas superiores a 200°C, y la formación de HAPs se ve favorecida a un intervalo de temperatura de 500 a 900°C. Se ha demostrado que las mayores concentraciones de HAPs se derivan de la pirólisis de la grasa. El segundo mecanismo es el rendimiento del contacto directo de los lípidos de goteo a intenso calor directamente sobre la llama. Esta condición puede generar HAPs volátiles que a su vez se adhieren a la superficie del alimento en la medida que aumenta humo. El tercer mecanismo es la combustión incompleta de carbón que puede generar HAPs que se pone sobre la superficie del alimento [187]. La fuente más dominante de los HAPs en el aerosol atmosférico se ha encontrado que son las emisiones de vehículos [188].

Debido a la emisión de gases nocivos y partículas, la contaminación del aire es un problema ambiental grave en muchas áreas urbanas, sus fuentes en las ciudades son exclusivamente antropogénicas como escape de los automóviles que se reconoce como uno de los principales contribuyentes [189]. Un componente masivo de la contaminación del aire es el material particulado respirable (PM) de diámetro aerodinámico 2,5 micras (PM 2,5), así como el de 10 micras (PM10). El tamaño de las partículas, la concentración y la composición química del PM están directamente vinculada a su potencial para causar problemas de salud [190]. Se sabe en general que cuando la HAPs están presentes en las partículas finas, con un diámetro menor que 2,5 μm , pueden penetrar profundamente en el sistema respiratorio, donde no hay una capa mucosa protectora.

4.2.3.2 Toxicidad de los hidrocarburos aromáticos policíclicos

El potencial cancerígeno de diferentes matrices ambientales relevantes, tales como los efluentes de combustión de carbón, gases de los vehículos, aceite lubricante de motor usado y de humo de tabaco, ha sido ampliamente estudiado en animales de experimentación, y se ha sugerido que las mezclas de los HAPs son responsables de efectos adversos como inmunotoxicidad, genotoxicidad, carcinogenicidad y toxicidad para la reproducción, la evidencia sugiere que las personas que viven en áreas urbanas tienen un mayor riesgo de cáncer de pulmón [191].

Efectos de salud en humanos, tales como el cáncer, podría ser la consecuencia de la exposición crónica a pequeñas partículas respirables [192]. En los últimos años, una serie de estudios sobre HAPs se han llevado a cabo en varias ciudades de todo el mundo. Estos estudios han identificado y cuantificado varios compuestos de HAPs en muestras recolectadas de aire [193], dado que el polvo en las carreteras es similar al aerosol atmosférico, en el polvo están presentes los HAPs derivados del asfalto, escape de automóviles, aceites lubricantes, gasolinas, diesel, y por los vientos son llevados a diferentes sitios, y en épocas de lluvias, son llevados por escorrentías al sistema acuático, y podrán de varias formas afectar al recurso agua [194] y este dependerá de la interacción aire-agua, por su parte [195] señala que las emisiones vehiculares son una de las principales fuentes antropogénicas de HAPs. Por lo tanto el polvo que se deposita cada lado de una carretera tiene una alta exposición potencial a los HAPs, el polvo del camino se ha convertido en una fuente importante de contaminantes de hidrocarburos aromáticos policíclicos en agua y en aire, a causa de los efectos de la escorrentía de agua y dispersión del viento, son capaces de contaminar grandes áreas [196]. Los Hidrocarburos aromáticos policíclicos HAPs son cada vez más frecuente en los ecosistemas marinos como consecuencia de la creciente actividad industrial [197].

En las últimas dos décadas se ha despertado un gran interés en la evaluación de los riesgos para la salud de las poblaciones expuestas a carcinógenos químicos ocupacionales. Un grupo importante de los carcinógenos químicos son los hidrocarburos aromáticos policíclicos, hay una fuerte evidencia epidemiológica que los que tienen un mayor riesgo de cáncer de pulmón, tracto urinario, cerebro y la piel ya que sus lugares de trabajo están contaminados con HAPs [198].

En la legislación ecuatoriana solo está establecido, la concentración máxima de benzo(a)pireno, para el caso de las aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran tratamiento convencional, así como de aquellas para consumo humano y uso doméstico que requieran desinfección es de $0,01 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Cabe indicar que el doctorando no ha encontrado información bibliográfica acerca de estudios que abarquen la determinación de HAPs en el río Daule en la bibliografía consultada.

4.3 Bifenilos policlorados

Los compuestos bifenilos policlorados (PCBs), comprenden una gran cantidad de compuestos orgánicos sintéticos que incluyen de 209 congéneres que difieren en los números y posiciones de los átomos de cloro unidos a dos anillos acoplados de fenilos, dado su condición de contaminantes, se encuentran ampliamente distribuidos en el medio ambiente, se bioacumulan en los sistemas biológicos y muestran gran resistencia a la degradación y representan un potencial riesgo para la salud humana, y entre sus propiedades tóxicas incluyen alta potencia carcinogénica, inmunotoxicidad y una gama de efectos endocrinos relacionados con la reproducción, por lo cual, la producción y el uso de PCBs han sido prohibidos a nivel mundial desde 2004 (Convenio de Estocolmo 2009).

Debido a las propiedades tecnológicas que tienen los bifenilos policlorados, como: estabilidad química, alto punto de ebullición, no ser inflamables, alta viscosidad, alta estabilidad térmica y de aislamiento eléctrico, encuentran muchas aplicaciones industriales, en transferencia de electricidad, calor y equipos hidráulicos, procesos de producción de plastificantes, pinturas, plásticos y productos de caucho y muchas otras aplicaciones industriales.

En el medio ambiente los bifenilos policlorados, se los puede encontrar en aire, agua y suelo; llegan a la atmósfera por evaporación, favorecidos por las altas temperaturas, se condensan en partículas de aerosol, y se dispersan ampliamente. El ingreso de los bifenilos policlorados a los cuerpos de agua se produce a través de diferentes fuentes entre ellas por deslavado de la atmósfera ocasionado por las lluvias.

En el agua, los PCBs son incorporados en el cuerpo de pequeños organismos y de peces, también son incorporados por animales que se alimentan de estos organismos acuáticos. Los niveles más altos de PCBs se encuentran en animales situados en las posiciones más altas de la cadena alimentaria.

4.3.1 Toxicología de los bifenilos policlorados

Los seres humanos están expuestos principalmente a los PCBs por comer alimentos contaminados con estas sustancias químicas, pero en estudios realizados se ha demostrado que si las personas disminuyen el consumo de productos alimenticios que se caracterizan por bioacumular contaminantes orgánicos, es posible disminuir su concentración en el cuerpo, así en [199], durante el período 2000-2002 se midieron los niveles de una serie de contaminantes químicos (incluyendo PCDD / PCDF y PCB) en varios grupos de productos alimenticios en Cataluña (España), en el cual se estableció que la disminución de contaminantes se produjo por la reducción de ingesta de alimentos como mariscos, pescado, carnes y grasas, son muchos los estudios realizados, que indican como vía de exposición a los alimentos [200].

No solo los PCBs como tales son tóxicos sino que resultan tóxicos sus metabolitos hidroxilados, lo cual ha sido determinado en muestras de fauna y en el suero de humanos, así en estudio realizado por [201] sintetizaron 10 congéneres hidroxilados de los PCBs, para determinar las posibles propiedades tóxicas y bioquímicas de los hidroxilados de PCBs.

A los PCBs se le han atribuido muchos desastres como [202], relacionada a la mortalidad de la trucha en los Grandes Lagos, que se indica fue debido a la presencia de PCBs en los huevos de truchas salvajes, establecida por la fuerte correlación determinada entre la mortalidad total de huevos y el total de las concentraciones de PCBs, de la misma manera han afectado a las tortugas verdes en Hawai [203]. En 1968, en Japón se produjo la llamada intoxicación Yusho, que afectó al menos a 1.860 personas por 35 años, que fue causada por la ingestión de aceite de salvado de arroz, que estaba contaminada con Kanechlor-400 que es una marca comercial de los PCBs, y además estaba contaminado con dibenzofuranos policlorados [204].

4.4 Transporte de contaminantes orgánicos

Los recientes acontecimientos económicos, sociales, crecimiento demográfico a nivel mundial ha creado una gran presión sobre los ecosistemas, la emisión de volátiles nocivos de la combustión incompleta, la descarga de aguas residuales industriales, agrícolas y municipales ha contaminado los sedimentos y aguas superficiales.

Las propiedades físico-químicas de la molécula y su mecanismo de transporte, así como las características medio ambientales y la geografía del lugar en el que se encuentran son fundamentales para comprender como se transportan. El transporte ambiental involucra los movimientos de gases, líquidos y partículas sólidas dentro de un medio determinado y a través de las interfaces entre el aire, el agua, sedimento, suelo, plantas y animales, también es importante considerar alguno parámetros físico-químicos como: volatilidad, solubilidad, vida media de del compuesto. La característica de transportarse a grandes distancias se ha establecido por estudios, y se han encontrado rastros de COPs en lugares remotos, como en regiones polares sitios donde prácticamente no existe uso de COPs. La combinación de la persistencia de los COPs con su volatilidad parcial permite que tengan gran movilidad ambiental.

Programas de monitoreo atmosférico son realizadas por Estados Unidos, Canadá y Rusia, para estudiar el transporte y la presencia de contaminantes orgánicos persistentes en la atmósfera de regiones remotas, ya que es fundamental comprender mejor el movimiento global de estos productos químicos en el medio ambiente del Ártico [205- 206]. Los climas cálidos favorecen la evaporación de los contaminantes orgánicos persistentes a la atmósfera que luego los transporta a sitios muy lejanos a su origen como en el ártico [207], de la misma manera se los encuentra en las montañas [208] que pueden servir como condensador para los contaminantes orgánicos persistentes, se ha utilizado la vegetación en las zonas remotas como un medio para caracterizar las concentraciones atmosféricas de contaminantes del aire.

Estudios demuestran que a pesar de las estrictas restricciones sobre la producción y el uso de algunos contaminantes orgánicos persistentes y plaguicidas en América del Norte y Europa, las concentraciones de los contaminantes se mantienen altos en la fauna y en poblaciones indígenas del Ártico, la principal vía de

contaminantes orgánicos persistentes es ellos es el aire, las corrientes marinas y también la migración de animales, los contaminantes como los (PCBs) y organoclorados que entran en las redes alimentarias del Ártico [209].

Modelos de destino y el transporte se pueden utilizar para identificar y clasificar los productos químicos que tienen el potencial para someterse al transporte a larga distancia y acumularse en entornos remotos como son los polos árticos y antárticos, también es motivo de interés cómo el cambio climático puede afectar el transporte a larga distancia y el comportamiento de la acumulación de contaminantes orgánicos persistentes [210].

4.5 Contaminantes orgánicos estudiados en las aguas del río Daule

Los contaminantes orgánicos analizados en el río Daule comprenden: pesticidas organoclorados, organofosforados, hidrocarburos aromáticos policíclicos y los bifenilos policlorados, se indican en las tablas No 18,19, 20 y 21.

| Pesticidas Organoclorados | Num. CAS |
|---------------------------|------------|
| Aldrin | 309-00-2 |
| Benfuracarb (Carbamato) | 82560-54-1 |
| Cadusafos | 95465-99-9 |
| Carbofuran (Carbamato) | 15-63-66-2 |
| Dieldrin | 60-57-1 |
| Endosulfan-Alpha | 959-98-8 |
| Endosulfan-Beta | 33213-65-9 |
| Endosulfan-sulfate | 1031-07-8 |
| Endrin | 72-20-8 |
| Ethoprophos | 13194-48-4 |
| Fenamiphos | 2222-92-6 |
| HCH-Alpha | 319-84-6 |
| HCH-Beta | 319-85-7 |

Tabla 18, Pesticidas organoclorados analizados en aguas del río Daule

| Pesticidas organofosforados analizados | Núm. CAS |
|--|------------|
| Azinphos Ethyl | 2642-71-9 |
| Azinphos Methyl | 86-50-0 |
| Bromophos Ethyl | 4824-78-6 |
| Bromophos Methyl | 2104-96-3 |
| Carbophenothion | 786-19-6 |
| Chlorfenviphos A | 470-90-6 |
| Chlorfenviphos B | 18708-86-6 |
| Chlorpyrifos Ethyl | 2921-88-2 |
| Chlorpyrifos Methyl | 5598-13-0 |
| Diazinon | 333-41-5 |
| Dichlofention | 97-17-6 |
| Diclorvos | 62-73-7 |
| Ethion | 563-12-2 |
| Etrimfos | 38260-54-7 |
| Fenclorphos | 299-84-3 |
| Fonofos | 944-22-9 |
| Malathion | 121-75-5 |
| Methacrifos | 62610-77-9 |
| Methidation | 950-37-8 |
| Propetamfos | 31218-83-4 |
| Pyrimifos Ethyl | 29232-93-7 |
| Pyrimifos Methyl | 29232-93-7 |
| Sulfotep | 3689-24-5 |

Tabla No 19. Pesticidas organofosforados analizados en aguas del río Daule

| HAPs | Número de CAS | Prioritario EPA | Prioritarios: Scientific Committee for Food (SCF) |
|-------------------------|---------------|-----------------|---|
| Acenafteno | 83-32-9 | x | - |
| Acetaftileno | 208-96-8 | x | - |
| Antraceno | 120-12-7 | x | - |
| Benzo(a)Antraceno | 56-55-3 | | x |
| Benzo(b)Fluoranteno | 205-99-2 | x | x |
| Benzo(k)Fluoranteno | 207-08-9 | x | x |
| Benzo(g,h,i)Pirileno | 191-24-2 | x | x |
| Benzo(a)Pireno | 50-32-8 | x | x |
| Criseno | 218-01-9 | x | x |
| Dibenzo(a,h)Antraceno | 53-70-3 | x | x |
| Fluortanteno | 206-44-0 | x | - |
| Fluoreno | 86-73-7 | x | - |
| Indeno(1,2,3-c,d)Pireno | 193-39-5 | x | x |
| Naftaleno | 91-20-3 | x | - |
| Fenantreno | 85-01-8 | x | - |
| Pireno | 129-00-0 | x | - |

Tabla No 20. Hidrocarburos aromáticos analizados en aguas del río Daule.

| Bifenilos Policlorados | Número de CAS |
|------------------------|---------------|
| PCB 28 | 7012-37-5 |
| PCB 31 | 16606-02-3 |
| PCB 52 | 35693-99-3 |
| PCB 77 | 32598-13-3 |
| PCB 101 | 37680-73-2 |
| PCB 105 | 32598-14-4 |
| PCB 118 | 31508-00-6 |
| PCB 126 | 57465-28-8 |
| PCB 128 | 38380-07-3 |
| PCB 138 | 35065-28-2 |
| PCB 153 | 35065-27-1 |
| PCB 156 | 38380-08-4 |
| PCB 169 | 32774-16-6 |
| PCB 170 | 35065-30-6 |
| PCB 180 | 35065-29-3 |

Tabla No 21. Bifenilos policlorados en aguas del río Daule

CAPÍTULO 5

PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS

- 5.1. Aspectos microbiológicos del agua
 - 5.1.1. Indicadores de calidad sanitaria del agua
 - 5.1.2. Factores microbiológicos del río Daule

5.1 Aspectos microbiológicos del agua

El acceso al agua potable es un derecho imprescindible, ya que satisface necesidades básicas referidas a la salud y a las condiciones de vida de las poblaciones humanas, el agua y la salud son dos aspectos indispensables y dependientes. En la actualidad los problemas del agua se centran tanto en la calidad, como en la cantidad para abastecer a las poblaciones de una forma adecuada [211]. El agua es un recurso vital para el hombre y para todos los organismos vivos, pero al mismo tiempo es el vehículo de transmisión de microorganismos entéricos, organizaciones internacionales y legislaciones nacionales de los países en todo el mundo, establecen regulaciones con relación a la calidad del agua para sus distintos usos, y uno de los usos del agua es para consumo humano. Entre los Objetivos de Desarrollo del Milenio esta, que la población mundial tenga acceso a mejores fuentes de agua, así el 6 de marzo del 2012, en un comunicado conjunto de la OMS/UNICEF, se indica que el mundo ha cumplido con la meta uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, de reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso al agua potable mucho antes de la fecha límite de 2015, según el informe entre 1990 y 2010 más de 2.000 millones de personas obtuvieron acceso a fuentes mejoradas de agua potable [212]. No obstante, la meta de saneamiento sigue estando muy retrasada, y aún para el 2015 aproximadamente 672 millones de personas seguirán sin tener acceso a fuentes mejoradas de aguas de consumo.

Se requiere un control regular de los agentes patógenos transmitidos por el agua para proteger la salud pública. Sin embargo la falta de pruebas de diagnóstico preciso es un obstáculo importante en la prevención y control de infecciones y brotes transmitidos por los agentes patógenos en el agua. Las fuentes no puntuales de contaminación son de gran preocupación con respecto a la difusión de patógenos y sus indicadores en los sistemas de agua, por lo general son difusos e intermitentes.

El agua potable debe estar bacteriológicamente exenta de microorganismos patógenos de origen entérico y parásitos intestinales (protozoos y helmintos), la contaminación de tipo bacteriológico es debida fundamentalmente a los desechos humanos y animales [213], los agentes patógenos-bacterias y virus se encuentran en las heces, orina y sangre de animales y personas, y originan muchas enfermedades y epidemias como: fiebres tifoideas, cólera, polio, hepatitis, shigelosis, amebiasis y

alteraciones intestinales.

La trasmisión de patógenos en agua potable es un problema que no solo afecta a países con bajos estándares de desarrollo, sino también a los países industrializados [214]. El mayor riesgo para la salud pública son los microbios presentes en el agua y se asocia con el consumo de agua potable que está contaminada con excrementos humanos y de animales [215], aunque otras fuentes y vías de exposición también pueden ser importantes, como son las tuberías de cobre y plásticos que se utilizan en la distribución del agua en los hogares [216-217].

Los excrementos humanos pueden contener muchos tipos de patógenos [218], y pueden transmitir enfermedades por consumo de agua contaminada por descargas de aguas fecales (ruta feco-oral), La salmonella es una de las principales causas de enfermedad intestinal en todo el mundo, así como la fiebre tifoidea y paratifoidea y el recurso agua es conocido por ser un vehículo común como también lo son los alimentos contaminados para la transmisión de los serotipos de salmonella tifoidea, salmonella no tifoidea [219].

Los agentes patógenos conocidos hoy en día que pueden ser transmitidos por el agua se indican en la Tabla No 22.

| Bacterias | Virus | protozoos |
|-------------------------|----------------------|----------------------|
| Cólera | Poliomielitis | Amebiasis |
| Fiebre tifoidea | Hepatitis a Y E | Giardia intestinalis |
| Fiebre paratifoidea | Entero virus | Cryptosporidium |
| Salmonelosis | Rotavirus | Toxoplasma gondil |
| Shigalliosis | Adenovirus | |
| Yersiniosis | Virus de hepatitis A | |
| Campilobacter enteritis | Virus de hepatitis E | |
| E-coli | | |
| Leptospirosis | | |

Tabla No 22. Patógenos en agua cruda y enfermedades que pueden ser transmitidos por el agua.

Cuando estos patógenos se introducen en el medio ambiente algunos pueden seguir siendo infecciosos durante largos periodos de tiempo, la supervivencia que se indica en la tabla No 23, y pueden ser capaces de replicarse en el medio ambiente. Sin

embargo, para un riesgo real de la enfermedad este debe llegar a un huésped humano.

| Organismo | Agua fresca | Agua salada | Suelos | Cultivos |
|----------------------|-------------|-------------|--------|----------|
| Virus | 11-304 | 11-871 | 6-180 | 0.4-25 |
| Salmonella | < 10 | < 10 | 15-100 | 5-50 |
| Cólera | 30 | + 285 | < 20 | < 5 |
| Coliformes fecales | < 10 | < 5 | < 100 | < 50 |
| Quistes protozoarios | 176 | 1 año | + 75 | N d |

Tabla No 23. Tiempo de supervivencia de patógenos (tiempo en días)

Ciertos agentes patógenos pueden aun crecer en los sistemas de distribución de agua potable y ser causas de enfermedades, estos patógenos se indican en la Tabla No 24.

Los patógenos que pueden proliferar en el sistema de distribución de agua

| |
|--------------------------------|
| Pseudomonas aeruginosa |
| Legionella |
| Shigella |
| Flavobacterias |
| Yersinia enterocolitica |
| Microbacterias no tuberculosas |
| Campylobacter Jejuni, C. coli |
| E. coli enterohemorrágica |

Tabla No 24 de patógenos que crecen en sistemas de distribución de agua potable Organización Mundial de las Salud, capítulo 7 (2011)

La prevención de las enfermedades originadas es la razón fundamental del control de la contaminación, y se inicia con el hecho epidemiológico demostrado por el Dr. Snow en 1854, sobre que el agua del pozo de un distrito de Londres era el factor causante de la transmisión de un "veneno morbido" llamado Cólera, esto marcó el inicio de la evaluación de la calidad higienicosanitaria de las aguas [220]. La transmisión de

las enfermedades están determinadas por varios patógenos relacionados por factores que incluyen: capacidad de un organismo para sobrevivir y multiplicarse en el medio ambiente, períodos latentes (muchos patógenos son inmediatamente infecciosos, otros pueden requerir un período de tiempo antes de que se conviertan infecciosos), capacidad de un organismo para infectar al huésped, la transmisión de la enfermedad también se ve afectada por las características del huésped y el comportamiento, incluyendo: Inmunidad (natural o como resultado de una infección previa o vacunación), estado nutricional, estado de salud, edad, sexo, higiene personal e higiene de los alimentos [221].

Uno de los microorganismos presentes en las aguas son las bacterias coliformes, lo cual es un nombre genérico para una variedad de bacterias que incluye a los coliformes fecales y a la *Escherichia coli* (*E. Coli*), estas se encuentran en los excrementos de los seres humano, animales y aves. Los géneros que componen este grupo son *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Citrobacter* y *Edwardsiella*. Todas pueden existir como saprofitas independientemente, o como microorganismos intestinales, excepto el género *Escherichia* cuyo origen es sólo fecal. Los coliformes fecales son microorganismos con una estructura parecida a la de la bacteria *E. Coli*, que esta normalmente en el intestino del hombre y de los animales, y aunque la mayoría de las cepas de *E. coli* son inofensivas y viven en los intestinos de los humanos y animales saludables, otras pueden causar daños a la salud e incluso la muerte, como el serotipo *E. coli* O157:H7, que es una variedad extraña de bacteria que produce grandes cantidades de una o más toxinas que causan daños severos en el revestimiento del intestino. La *E. coli* O157:H7 fue reconocida por primera vez como causa de enfermedad durante un brote en 1982, adjudicado a hamburguesas contaminadas, pero también han sido transmitidas por agua como es el caso ocurrido en 1999, en el Condado de Washington, Nueva York y en aguas contaminadas en el Condado de Clark, Washington [222].

En las aguas superficiales, las fuentes de contaminación por agentes patógenos pueden ser puntuales, como los desbordamientos de los sistemas municipales de alcantarillado, eliminación directa de aguas servidas domésticas a los ríos y no puntuales, como el agua de escorrentía contaminada de zonas agrícolas y de zonas con sistemas de saneamiento que transcurren por fosas sépticas y letrinas. Otras fuentes son la fauna silvestre y el acceso directo del ganado a aguas superficiales [223], la mezcla

de aguas residuales y agua de escorrentía, cargado con la contaminación del suelo urbano, en las aguas receptoras, tiene múltiples impactos en los medios acuáticos como son: falta de oxígeno debido a la biodegradación de la alta carga de materia orgánica provocada por las aguas residuales sin tratar, aumento de la turbidez, incremento de la concentración de algunos contaminantes microorganismos, de las concentraciones de metales y aumento de la concentración de agentes patógenos y fecales indicadoras de microorganismos [224].

Así, el conocimiento detallado del origen y la magnitud de la contaminación fecal microbiana es esencial para las actividades de manejo de cuencas hidrográficas con el fin de mantener la calidad de ellas para el uso de agua potable de acuerdo con los objetivos de calidad [225].

Pero el agua no tan solo se usa como de consumo directo, sino que también es utilizada en grandes cantidades en otras actividades, como riego y aumentar la producción de alimentos, y para cual se utiliza agua subterránea y superficial y en regiones donde es escaso el recurso hídrico se utiliza agua residual regenerada, al respecto existen informes de un aumento de las enfermedades transmitidas por los alimentos asociados a la obtención productos frescos con agua residual [226].

La calidad del agua, ya sea que se utilice para fines potable, industrial, de riego o de recreación, es importante para la salud en los países del mundo en desarrollo y desarrollados. La calidad del agua puede tener un impacto importante en la salud, reconociendo esto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha desarrollado una serie de normativas "directrices" que presentan una evaluación fundamentada de los riesgos para la salud asociados con la exposición a riesgos para la salud a través del agua [227]. Según la UNICEF a nivel mundial, cada año se dan unos 4.000 millones de casos de diarrea y 1,8 millones de personas mueren a causa de esta enfermedad, y en el 90 por ciento de los casos son niños menores de 5 años [228], por esta razón en países con alto índice de desarrollo existen estrictas regulaciones, así en Los Países bajos, las regulaciones relacionadas al agua potable son estrictas, uno de ellos para que el agua potable sea microbiológicamente segura, se fija en menos de una infección por cada 10.000 personas por año [229], en América Latina debido a las deficiencias se los sistemas de provisión de agua, varias son las enfermedades que se transmiten, uno de

ellos es el síndrome diarreico agudo que es una causa importante de morbilidad y mortalidad en niños, estimándose una incidencia en América Latina de 2,7 episodios diarreicos por año durante los dos primeros años de vida [230], en los países desarrollados varía de 0,75 a 1 episodio de diarrea por persona por año. En caso del Ecuador la deshidratación por diarrea es una de las principales causas directas de muerte en niños menores de 5 años, de acuerdo de datos del INEC la primera causa de atención en los establecimientos hospitalarios durante el año 2006 fueron la diarrea y la gastroenteritis de presunto origen infeccioso, con una tasa de 25,6 por cada 10.000 habitantes (Perfil de los sistemas de salud-Ecuador; Monitoreo y análisis de los procesos de Cambio y Reforma, Organización Panamericana de la Salud).

5.1.1 Indicadores de calidad sanitaria del agua

Probablemente las bacterias se utilizan como indicadores de calidad sanitaria del aguas desde el año de 1880, cuando Von Fritsch describió la *Klebsiella pneumoniae* y *K. rhinoscleromatis* como microorganismos característicos que se encuentran en las heces humanas [231].

El determinar el tipo de microorganismos presentes en el agua y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer su calidad, así como la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas, evitando así el riesgo de contaminación de las personas y el ambiente. Pero existe una gran dificultad para determinar la presencia de todos los microorganismos patógenos implicados en los procesos de contaminación ambiental, por lo tanto es importante que coincida con el indicador apropiado el grupo de patógeno de interés, señalando que no hay indicador universal, como a menudo se supone con coliformes termo-tolerantes o *E. coli* (fecal) [232], lo cual requiere de tiempo, recursos materiales y económicos, Por esta razón, los análisis bacteriológicos apuntan a la búsqueda de microorganismos indicadores de contaminación fecal y se centralizan en la cuantificación de coliformes. Este grupo está integrado por enterobacterias, siendo *Escherichia coli* el indicador más utilizado universalmente para la contaminación fecal.

Los microorganismos indicadores de contaminación deben cumplir los siguientes requisitos: fáciles de aislar y crecer en el laboratorio; ser relativamente

inocuos para el hombre y animales; y su presencia en agua relacionada, cuali y cuantitativamente con la de otros microorganismos patógenos de aislamiento más difícil, para este fin tres tipos de bacterias califican a tal fin:

- Coliformes fecales: indican contaminación fecal.
- Aerobias mesófilas: determinan efectividad del tratamiento de aguas.
- Pseudomonas: señalan deterioro en la calidad del agua o una recontaminación.

Se considera que *Escherichia coli*, es el índice de contaminación fecal más adecuado. En la mayoría de las circunstancias las poblaciones de coliformes termotolerantes se componen predominantemente de *E. coli*; por lo tanto, este grupo se considera un índice de contaminación fecal aceptable. No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales que comprende la totalidad del grupo y los coliformes fecales aquellos de origen intestinal. Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal.

En algunos estudios el uso de los coliformes ha sido cuestionado como un organismo indicador, debido a que a pesar ser bajas concentraciones de otros organismos, como cualquier tipo de virus y quistes de protozoarios la gran mayoría de los protozoarios en condiciones ambientales son resistentes a los tratamientos físico-químicos del agua para consumo humano y son más resistentes a la desinfección que las bacterias coliformes, estos pueden causar graves daños a la salud de las personas [233]. De la misma manera se indica que el uso de coliformes totales como indicadores de contaminación fecal en las aguas superficiales en la normativa internacional se ha abandonado en los últimos años debido al descubrimiento de que ciertas especies pertenecientes a este grupo no son de origen fecal.

Existen algunos métodos de coliformes, entre los más usuales están: el método del número más probable (NMP) descrito por McCrady en 1915 y actualmente sigue siendo ampliamente utilizado y el método de filtro de membrana.

La determinación de microorganismos coliformes totales por el método del Número Más Probable (NMP), se fundamenta en la capacidad de este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a 37°C durante 24 horas. Los Coliformes Fecales son un subgrupo de los Coliformes totales, capaces de fermentar la lactosa a 44 °C en vez de 37 °C como lo hacen los totales.

En este estudio la determinación de coliformes fecales y totales, se la realizó por el método del número más probable (NMP) la densidad de los coliformes es calculada por la tabla del NMP, esta técnica es utilizada casi para todas las clases de bacterias en muestras líquidas, y pueden observarse fácilmente el crecimiento por la turbidez o la producción de ácidos y gas, el procedimiento del análisis está descrito en el Anexo 4.

5.1.2 Factores microbiológicos del río Daule

Los ríos del Ecuador presentan una gran contaminación de sus aguas y se considera que más del 70% de las cuencas hidrográficas por debajo de la cota de 2800 metros sobre el nivel del mar están contaminadas con microorganismos patógenos, originados por la descarga de aguas residuales, industriales que no reciben ningún tratamiento de depuración [234].

Las aguas del río Daule, se utiliza para muchos propósitos, entre los cuales están el uso de sus aguas para agricultura, ganadería, pesca, fuente de agua potable de algunas poblaciones ubicadas en sus riberas y sobre todo fuente de agua potable para la más grande ciudad del Ecuador, también sus aguas son utilizadas para recreación y en ciertas poblaciones con fuente de agua de consumo directo. En sus riberas se encuentran algunas poblaciones indicadas en el apartado 1 y otras poblaciones menores, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) del 2010, la población total de esas ciudades suma la cantidad de 272.259 habitantes, muchas de estas poblaciones no tienen red de alcantarillado, y existen descargas de aguas residuales o vertidos de aguas depuradas, y lo que existen por lo general son letrinas y pozos ciegos, cuyas aguas

contaminadas por escorrentía van hacia el río, así como también excrementos de animales, todos los cuales constituyen factores determinantes de contaminación microbiológica, adicionalmente se puede observar que en muchas poblaciones, un factor adicional es el desecho de residuos sólidos. Es claro que en tales circunstancias los microorganismos van a abundar lamentablemente en las aguas del río Daule.

De acuerdo al censo de población y vivienda del año 2010, realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), la provisión de agua nivel nacional a través de la red pública es del 71,98 %; 11,53 % de pozo, 9,72 % de vertiente, y el 5,05% de carro repartidor, en lo que respecta a la provincia del Guayas el 73.5% tiene acceso al agua de la red pública, y depósito cisterna, estos datos no se cumplen cuando se trata de ciudades pequeñas comparadas con Guayaquil una ciudad grande con mayores recursos. En lo que respecta al servicio de alcantarillado público a nivel nacional se tiene un 53,6 % y a nivel de la provincia del Guayas el servicio es de 46,7 %, y existe una brecha muy importante en cuanto al porcentaje de provisión de este servicio, entre Guayaquil y las ciudades más pequeñas y que como se ha indicado algunas de ellas están ubicadas en las riberas del río Daule, lo cual va a originar grandes cantidades de descargas de aguas residuales al río Daule, con un impacto en la calidad sus aguas por microorganismos.

En Ecuador solo el 8% de las aguas residuales urbanas tienen algún tipo de tratamiento, debido al acelerado y desordenado crecimiento urbano, y a la falta de una política de conservación de los cuerpos de aguas, como se ha indicado se encuentran contaminados. En las ciudades grandes del país, como es el caso de Guayaquil solo el 12% de las aguas residuales recibe tratamiento, en la ciudad de Cuenca el 80%, otros municipios no tienen ningún sistema de tratamiento.

De las ciudades ubicadas en las márgenes del río Daule, que cuentan con servicios de tratamientos de aguas servidas al momento son: Daule que tiene un sistema de tratamiento y disposición final de las aguas residuales urbanas por medio de un sistema de lagunas de oxidación, que luego son retornadas al río Daule. La ciudad de Balzar va a construir un sistema de alcantarillado sanitario con su respectiva planta de tratamiento de aguas residuales, el sistema de alcantarillado sanitario actual de esta ciudad está mezclado con el sistema de aguas lluvias, y descarga las aguas directamente

al río Daule, lo que está creando un problema grande de contaminación de las aguas. La falta de tratamiento de las aguas residuales al momento constituye el factor de mayor peso de contaminación.

El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente, en el libro VI Anexo-1, establece límites permisibles y criterios de microorganismos en los siguientes tipos de aguas, que se indican en la tabla No 25.

| Tipos de aguas | Coliformes fecales NMP/100 ml Máximo permisible | Coliformes totales NMP/100 ml Máximo permisible |
|---|---|---|
| Aguas de consumo humano y uso domestico que requieran únicamente tratamiento convencional. | 600 | 3.000 |
| Aguas de consumo humano y uso domestico que requieran únicamente desinfección. | - | 50* |
| Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos. | 200 | 1.000 |
| Criterios de calidad de aguas para la preservación de flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas. | 200 | - |
| Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola. | - | 1.000 |

Tabla No 25, Límites permisibles y criterios de microorganismos en los siguientes tipos de aguas

* Cuando se observe que más del 40% de las bacterias coliformes representadas por el índice NMP, pertenecen al grupo coliformes fecal, se aplicará tratamiento convencional al agua a emplearse para el consumo humano y doméstico.

CAPÍTULO 6

SEDIMENTOS

- 6.1. Generalidades sobre los sedimentos
 - 6.1.1. Transporte de los sedimentos
 - 6.1.2. Contaminación de los sedimentos
 - 6.1.3. Gestión de los sedimentos
 - 6.1.3.1. Dragado de sedimentos
- 6.2. Legislación y regulaciones
 - 6.2.1. Guías de calidad de los sedimentos

6.1 Generalidades sobre los sedimentos

Las partículas sueltas de arena, arcilla, limo y otras sustancias procedentes de las rocas o suelos, que son acarreadas por las aguas de los escurrimientos y por el viento se denominan sedimentos. Dos agentes, el aire y el agua, atacan la superficie de la tierra, y son los promotores de una variedad de procesos tanto químicos como físicos, los cuales a través del tiempo destruyen y transforman las rocas [235].

Los procesos de desintegración mecánica de la roca dan fragmentos más pequeños sin cambios en su composición, y se producen por: cambios periódicos de temperatura, congelación. La descomposición química son procesos llevados a cabo por medio del agua o agentes gaseosos de la atmósfera como el oxígeno y el dióxido de carbono. Las rocas se disgregan más fácilmente gracias a este tipo de disgregación, ya que los granos de minerales pierden adherencia y se disuelven o se desprenden mejor ante la acción de los agentes físicos. La disgregación química puede llevarse a cabo mediante varios procesos tales como: disolución, hidratación, oxidación, hidrólisis, carbonatación y acción biológica. también es importante citar los efectos químicos de la vegetación ya que los ácidos orgánicos, que se desarrollan donde hay vegetación descompuesta tienden a incrementar el poder de la disolución de las aguas naturales, los productos más representativos a formarse son: arcillas.

6.1.1 Transporte de los sedimentos

Los materiales disgregados producto de la meteorización son transportados por los agentes geológicos como: agua, hielo, viento, y la gravedad, hasta los lugares de acumulación, como son los: ríos, lagos, lagunas, mar, y en las partes bajas de las cuencas. En las corrientes de agua, existen partículas que se desplazan por el fondo de la corriente y otras que lo hacen en suspensión o disolución. El transporte de fondo a bajas velocidades hace rodar o deslizar las partículas.

El transporte realizado por las corrientes de aire es similar al de las corrientes de agua, pero con menor eficiencia, por la diferencia de viscosidad y de densidad. El viento golpea grandes extensiones de superficie, transportando polvo y arena desagregada y suelta, modelando el paisaje como la formación de dunas y esculpiendo las rocas, las

partículas más gruesas son arrastradas por el viento y están en el tamaño de 500 a 2000 micrones.

La determinación de la carga de sedimentos o la velocidad de transporte es muy importante para de proyectos de recursos hídricos, tales como el diseño de las presas y embalses, transporte de sedimentos y la contaminación en los ríos y lagos, diseño de canales y mantenimiento [236-237].

En lo que respecta al transporte de sedimentos por un río, este está fuertemente relacionado con la hidrología y la geomorfología de la cuenca, y las variaciones espaciales y temporales. La variación espacial viene marcada, sobre todo por la naturaleza y el tamaño del sedimento, ya que los tamaños gruesos (grava y arena) tendrán menor movilidad que los finos (limos y arcillas) que son transportados como carga suspendida. Las variaciones temporales estarán marcadas principalmente por la climatología y el régimen de los ríos. Los ríos de características torrenciales arrastran cantidades grandes de sedimentos por lo que se establecen variaciones en la composición de sus aguas [238], las partículas se transportan, según el modo de transporte y según el origen del material. Según el modo de transporte, el material puede ser transportado en suspensión, manteniéndose entre la masa del flujo debido a fenómenos de turbulencia, o por el fondo, rodando, arrastrándose, o saltando [239], en un río siempre se dan los dos tipos de transporte conjuntamente y las proporciones entre uno y otro dependen de las condiciones orográficas, geológicas, climatológicas o forestales de la cuenca. El transporte de sedimento de origen en el cauce se reparte entre el transporte en suspensión (material mas fino) y de fondo (material mas grueso), en cambio el material que procede de la Cuenca hidrográfica, y que recibe el nombre de material de Lavado de Cuenca, es un material muy fino que solo puede ser transportado en suspensión.

6.1.2 Contaminación de los Sedimentos

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, considera a los sedimentos como los contaminantes más comunes en ríos, arroyos, lagos y embalses. Los sedimentos son reconocidos como excelentes sumideros de contaminantes de muchos compuestos, como HAPs, PCBs, pesticidas, metales pesados, y compuestos de

nitrógeno y fósforo, estos contaminantes son fácilmente absorbidos por la columna de agua y en las superficies de las partículas finas de sedimentos [240-243].

Los sedimentos pueden actuar como depósitos para contaminantes hidrófobos, y por lo tanto son la matriz adecuada para su estudio y monitorización en los sistemas hídricos [244], los sedimentos pueden contener y liberar contaminantes, causando efectos a la biota aun mucho después de la entrada de los contaminantes, los cuales pueden ser liberados lentamente y bioacumularse en organismos que habitan en los sedimentos y sus alrededores [245-246].

En la última década a nivel mundial se han desarrollado numerosos estudios tendientes a evaluar concentraciones de contaminantes en sedimentos de corrientes superficiales, dado que cualquier entrada de metales a la columna de agua queda registrada en los sedimentos [247]. La contaminación de sedimentos ha sido relacionada con la aparición de efectos en la fauna de invertebrados que viven en los sedimentos y con el desarrollo de tumoraciones y otras anomalías en peces benthicos [248]. También se ha detectado gran capacidad de acumulación de contaminantes en tejidos de peces, cangrejos y bivalvos, lo cual se puede extender a las aves y mamíferos marinos relacionados a través de la cadena trófica. Algunos tipos de sedimentos tóxicos matan a los organismos bentónicos, lo que reduce la disponibilidad de alimentos para animales más grandes como los peces, estableciendo un desequilibrio entre las especies [249].

Los orígenes de la contaminación de los sedimentos pueden ser divididos en fuentes puntuales y no puntuales de contaminación. Las fuentes puntuales [250] incluyen las plantas municipales de tratamiento de aguas residuales, desbordamientos combinados de sanitario y drenaje pluvial, y los vertidos de residuos procedentes de la industria, el Inventario de Emisiones Tóxicas (TRI) de EE.UU. indicó que en el 2002 que más de 105.210 toneladas de residuos industriales tratados se vierten directamente a los ríos, lagos y las regiones costeras marinas [251]. Las fuentes no puntuales de contaminación son aquellas que se reparten en áreas más extensas, como por ejemplo los contaminantes al agua o a los sedimentos con fertilizantes provenientes de una tierra agrícola fertilizada, las fuentes no puntuales son más difíciles de identificar y controlar. Muchos contaminantes químicos, agrotóxicos, radiactivos e insumos agrícolas como

nitrógeno y fosfatos, se incorporan a los sedimentos en forma tanto orgánica como inorgánica, estableciendo una asociación de problemas ambientales [252-253].

Existen cinco tipos de contaminantes que generalmente se encuentran en los sedimentos: los nutrientes, que incluye a compuestos del nitrógeno como el amoníaco que pueden ser tóxicos a los organismos bentónicos, los altos niveles de fósforo que pueden promover el crecimiento de algas, lo cual puede llevar a una disminución de oxígeno por la muerte y descomposición de las algas, los hidrocarburos y sus derivados como grasas y aceites: los contaminantes persistentes y bioacumulables como son los hidrocarburos halogenados o compuestos orgánicos persistentes, los pesticidas y bifenilos policlorados; los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y los metales pesados, tales como hierro, manganeso, cinc plomo, cadmio, cromo, cobre y mercurio, así como los metaloides arsénico y selenio son contaminantes que se encuentran en los sedimentos.

Existe una creciente conciencia de la gran importancia ambiental de las cargas de sedimentos en suspensión transportados por los ríos y arroyos, del sedimento fino asociado con el transporte de nutrientes y contaminantes, así como también determinar la fuente de los sedimentos [254], son conocidos los efectos de la erosión del suelo tradicionalmente asociados a la agricultura que son de largo plazo sobre la productividad del suelo y la agricultura sostenible. La erosión del suelo también conduce a un daño ambiental a través de la sedimentación, la contaminación y el aumento de las inundaciones [255].

La contaminación química de los sedimentos, está vinculada al tamaño de las partículas de los sedimentos y al volumen del carbono orgánico asociado en partículas de los sedimentos, que miden menos 63 micras (limo + arcilla). El fósforo y los metales suelen tener fuerte atracción a los lugares de intercambio de iones, que están asociados con las partículas de arcilla. Muchos contaminantes orgánicos persistentes, son bioacumulables, tóxicos, especialmente los compuestos clorados incluidos muchos plaguicidas que están fuertemente asociados con los sedimentos y en especial con el carbono orgánico transportado como parte de la carga de sedimentos de los ríos [256].

La contaminación ocasionada por los sedimentos no solo es en el orden químico sino también de carácter físico, entre efectos, esta el alto nivel de turbidez, que limita la

penetración de luz en la columna de agua e impide el crecimiento de vegetación natural en el agua, por otra parte la turbidez encarece los procesos de potabilización. Los altos niveles de sedimentación en los ríos dan lugar a la perturbación física de las características hidráulicas del cauce, y puede tener graves efectos en la navegación, por la reducción de la profundidad, y favorecer las inundaciones, por la reducción de la capacidad del flujo de agua en la cuenca de drenaje.

El desarrollo de la agricultura intensiva, la concentración poblacional a gran escala en las zonas urbanas y la creciente industrialización, las actividades de construcción, explotación forestal, la minería, las alteraciones hidrológicas, las maniobras de dragado y la erosión costera han contribuido a la contaminación global de los ecosistemas marinos. El desarrollo exponencial de las actividades humanas en el siglo pasado ha causado un impacto negativo en todos los compartimentos ambientales, en especial en los ambientes acuáticos [257].

En cuanto a contaminación por metales pesados, la gravedad radica en que son tóxicos, biodisponibles y no biodegradables en el medio ambiente y su absorción por organismos bentónicos depende en gran medida de su movilidad, concentración total y formas químicas.

Una serie de índices se han desarrollado en la última década para evaluar la contaminación en metales pesados en los sedimentos y de su riesgo ecológico. El uso de índices ambientales pueden jugar un papel importante en el proceso de la comprensión de datos técnicos complejos a formas más comprensibles. Los índices ambientales pueden ayudar a los gestores ambientales en la prevención de la contaminación, identificar y clasificar los sitios degradados ambientalmente, evaluar del cumplimiento de las normas ambientales; y establecer los cambios temporales de las condiciones ambientales [258]. Dentro de los contaminantes tóxicos prioritarios enumerados por la Organización Mundial de la Salud se encuentran los metales pesados, su interés se centra en el arsénico, cadmio, plomo y mercurio, cromo, níquel como causa de posibles efectos carcinogénicos en los seres humanos, y en los contaminantes orgánicos persistentes.

6.1.3 Gestión de Sedimentos

Los problemas de sedimentación en las cuencas fluviales de muchos países están tomando gran importancia, los problemas incluyen la acelerada erosión del suelo, la sedimentación de lagos, ríos y embalses, y morfología de los ríos, los cuales se han agudizado por el cambio climático, en este contexto la gestión de sedimentos es un componente importante en la gestión integrada de las cuencas fluviales [259]. La eficacia de la planificación del uso de la tierra y la implementación de acciones de manejo integrado de cuencas hidrográficas focalizadas a la conservación del recurso agua, se vuelve muy importante, y se fortalece cuando la planificación y realización se estructuran desde las cuencas de escalas menores hacia las mayores.

Existe actualmente una gran variedad de herramientas disponibles para los científicos y administradores que se pueden utilizar para la gestión de los sedimentos. Estas herramientas se pueden dividir en varios grupos: de medición y monitoreo para la recopilación de información sobre los procesos de contaminación de sedimentos, modelos matemáticos, sistemas de soporte de decisiones, evaluación del riesgo, análisis de costo-beneficio. La información obtenida de cada uno de estos tipos de herramientas son diferentes y complementarias, y cada tipo puede ser considerado parte de un proceso secuencial de toma de decisiones [260].

La selección de las estrategias de gestión de sedimentos, es un requisito clave para los países en desarrollo por los limitados recursos disponibles. Esta focalización, es sin embargo obstaculizada por la falta de información confiable sobre las fuentes de origen de sedimentos. Una estrategia útil, para mitigar la contaminación de fuentes no puntuales resultantes de las actividades agrícolas son las mejores prácticas de manejo, que tienen por objeto mejorar la calidad del agua mediante la reducción de sedimentos y aportes de nutrientes, sin disminuir la cantidad de agua.

La toma de decisiones para la gestión de sedimentos es una tarea difícil y compleja, que se cuestiona por elevados costos de algunas opciones de remediación, por lo que al establecer un proyecto de gestión es importante saber por donde empezar. Los sedimentos son matrices complejas, a menudo contaminados con una gran cantidad de productos químicos, lo que requiere la evaluación integrada de características de calidad

del sedimento. Por otra parte además de la calidad del sedimento, otros aspectos como: económicos o sociales pueden tener una influencia en la priorización de las áreas a ser gestionados y se debe plantear la selección de opciones para la gestión integrada de los sedimentos, la evaluación y el desarrollo de estrategias de costos de remediación eficaces y sostenibles, es una tarea muy compleja que se basa en una variedad de técnicas y tratamientos, que incorporan múltiples criterios técnicos, sociales, económicos y ambientales que deben ser considerados para la toma de decisiones [261].

La toma de decisiones para la gestión de los sedimentos requiere la consideración de los impactos temporales y espaciales, de varias alternativas de remediación, así como la consiguiente repercusión económica, social y política. El análisis multicriterio, para la toma de decisiones se está convirtiendo en un importante instrumento de gestión ambiental, que puede ser utilizado para apoyar la selección de alternativas de remediación adecuadas y priorización de las unidades de gestión en el espacio y en el tiempo [262].

6.1.3.1 Dragado de sedimentos

En muchas partes del mundo, se realiza la remoción de sedimentos en cursos de agua, bahías, lagos, accesos o canales y puertos, con la finalidad de aumentar la profundidad de un canal navegable o de un río, para incrementar o mantener la capacidad de transporte, evitar inundaciones, en el caso de canales permitir la navegación de naves de mayor calado, esta acción de limpieza, transporte y disposición en otros lugares deberá hacerse respetando las limitaciones ambientales, dado que las operaciones de dragado y descarga de sedimentos tienen el potencial de alterar las condiciones, físicas como la turbiedad, y también químicas, en las zonas de descargas del material dragado así como en áreas aledañas.

Hasta hace pocos años, la práctica más común de eliminación de sedimentos provenientes del dragado de áreas portuarias y otros era el mar, como es el caso de los vertidos incontrolados de materiales de dragado en el mar mediterráneo [263], lo cual ha provocado una grave degradación de los ecosistemas naturales de la región, por la liberación de contaminantes como metales pesados e hidrocarburos, que han causado un impacto en los organismos bentónicos que son muy importantes en la cadena

alimentaria marina, hay dos factores principales [264], que contribuyen a la acumulación de contaminantes en los sedimentos portuarios: los puertos y vías fluviales pueden ser un foco importante de contaminación y las actividades urbanas como aguas residuales urbanas e industriales.

La eliminación de los materiales de dragado están generalmente controlados por un sistema de licencias en ciertos países, que requiere una de evaluación científica del material dragado y en el sitio de disposición prevista debe existir una evaluación de las características físico-químicas y toxicidad de ese material en relación con la protección del medio ambiente marino y la salud humana, este debe ser seguido con una consideración paralela de los servicios y las actividades humanas económicas y comerciales que podrían verse afectadas. La modificación de la morfología original y la construcción de infraestructuras originan zonas de baja energía hidrodinámica, donde los sedimentos y contaminantes asociados se acumulan [265]. En particular las actividades marítimas y dragado provocan la ruptura del equilibrio natural entre los sedimentos y el agua, lo que lleva a la removilización de los productos químicos que se encuentran en los sedimentos.

Durante y después del dragado y la descarga del material dragado, los sedimentos del fondo son mecánicamente removidos y suspendidos en la columna de agua, los sedimentos de mayor peso, como gravas y arenas rápidamente se sedimentan, pero los sedimentos finos como arcillas y limos permanecen en suspensión, los sedimentos finos son transportados por las corrientes y el oleaje cubriendo grandes áreas, algunos estudios han reportado hasta 5 kilómetros cuadrados de la nube de sedimentos, generando turbidez que reduce la penetración de la luz necesaria para los procesos de fotosíntesis [266].

Para estimar los impactos generados por la turbidez sobre la calidad del agua y sobre algunas especies del ambiente es necesario medir los cambios de densidades en la columna de agua, el pH y la temperatura del agua. Entre los posibles impactos negativos generados durante y después del dragado y descarga del material dragado sobre los peces y otros organismos vivos tenemos: migración de peces, cambios en la demanda de oxígeno, recolonización de las áreas afectadas por especies oportunistas que se adaptan a las nuevas condiciones, interferencia con los procesos respiratorios de los peces,

interferencia con los procesos migratorios de los peces, destrucción de hábitat acuático, ingestión y acumulación de contaminantes como pesticidas y metales pesados por parte de la biota. También se producen cambios químicos que son difíciles de estimar, monitorear y controlar debido a la naturaleza de los procesos y parámetros involucrados. Algunos de los parámetros que reflejan los cambios químicos sobre la calidad del agua, producto del dragado y la descarga son: la demanda de oxígeno, el aumento de nutrientes, presencia de trazas de metales pesados y pesticidas en la columna de agua, contaminantes orgánicos persistentes en general y la modificación de los niveles de salinidad.

Dado que la deposición de material dragado afecta seriamente a los organismos biológicos, se han realizado numerosos estudios para evaluar su impacto y probable recuperación con el tiempo, en un estudio realizado se indica que la recuperación y recolonización de las comunidades bentónicas en aguas frías puede tomar años y las comunidades bentónicas no siempre son las mismas que originalmente habitaban las zonas [267].

A nivel mundial son millones de toneladas de sedimentos que se dragan en ríos, canales, puertos y cada vez son mayores las exigencias de los Convenios Internacionales de protección de ambientes acuáticos, lo cual ha implicado buscar soluciones a los sedimentos resultantes del dragado, sobre todo para aquellos que no representan peligro de contaminación, y hoy se les da uso productivo que constituye una buena opción de gestión de sedimentos, entre estos usos está: el uso de sedimentos en carreteras mezclado con otros subproductos de industrias como la del acero [268-269]. Cantidades importantes de sedimentos dragados también podrían estar valorizados para la construcción de diques y bancos de ríos, canales y lagos, para fines agrícolas, mejoras medioambientales, hormigones. Las Directrices para la gestión de material dragado de los Convenios Internacionales de Protección del Medio Marino establecen en la evaluación de las opciones de gestión de material dragado, la obligatoriedad de valorar la posible aplicación de un uso productivo al material de dragado, aunque no existen Normas que regulen el uso de los productos de los dragados, existen recomendaciones que se deben considerar previamente a su uso.

6.2 Legislación y regulaciones.

La preocupación que existe a nivel mundial sobre el ecosistema marítimo, ha dado como resultado algunos convenios internacionales, con la finalidad de prevenir la contaminación del mar. Uno de los primeros convenios para la protección del medio marino de las actividades humanas, es el Convenio de Londres de 1972, que está vigente desde 1975 al cual se han adherido muchos estados [270], la adhesión de Ecuador al convenio está aun pendiente. La finalidad es promover el control efectivo de todas las fuentes de contaminación del medio marino y la adopción de todas las medidas posibles para impedir la contaminación del mar, por el vertido de desechos y otras materias. Con el motivo de modernizar el convenio de Londres, se aprobó el Protocolo relativo al Convenio de Londres en 1996, en vigor desde el 2006, en virtud del cual se prohíben todos los vertidos, a excepción de los desechos que puedan ser aceptables, recogidos en la denominada “lista de vertidos permitidos”, la cual incluye los siguientes:

- Materiales de dragado;
- Fangos cloacales;
- Desechos de pescado;
- Buques y plataformas;
- Materiales geológicos inorgánicos inertes (por ejemplo, desechos de minas);
- Materiales orgánicos de origen natural;
- Objetos voluminosos constituidos principalmente por hierro, acero y hormigón.
- Flujos de dióxido de carbono resultantes de los procesos de captura de dióxido de carbono para su secuestro.

Otro convenio internacional, para la prevención de la contaminación de embarcaciones es, el convenio MARPOL 73/78 se aprobó en 1973 y entró en vigor el 2 de octubre de 1983. Su objetivo es preservar el ambiente marino mediante la completa eliminación de la polución por hidrocarburos y otras sustancias dañinas, así como la minimización de las posibles descargas accidentales, fue desarrollado por la Organización Marítima Internacional (OMI), organismo especializado de la ONU. Actualmente 119 países lo han ratificado y Ecuador es parte del convenio mediante, Reg. Oficial No. 229; 08 de Diciembre de 1976.

El convenio OSPAR, integrado por quince gobiernos y por la Comisión Europea, para la protección del medio marino del Atlántico Nororiental se firmó en 1992 y entró en vigor el 25 de marzo de 1998, tiene por objeto prevenir y eliminar la contaminación así como proteger el entorno marino del Nordeste Atlántico de las sustancias que provengan de fuentes terrestres o de actividades desarrolladas en alta mar, la lista OSPAR de sustancias preocupantes incluye sustancias peligrosas persistentes, bioacumulativas y tóxicas. (Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes CNRCOP)

En el caso de España, en 1994 se adoptaron las Recomendaciones para la Gestión del Material Dragado en los Puertos Españoles (RGMD) del CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) [271], esta orientada a controlar el vertido al mar de materiales de dragado, se establecen tres categorías, de acuerdo a los efectos químicos y/o bioquímica sobre la biota que pudieran producir. En la categoría I, están los materiales del dragado de fondos portuarios que no afecten a la flora y fauna marinas, La categoría II, que presentan moderadas concentraciones de contaminantes y que se verterán en el mar de manera controlada, la categoría III, que tienen elevadas concentraciones de contaminantes, que requieren de técnicas de gestión de aislamiento de las aguas.

6.2.1 Guías de calidad de los sedimentos

En las dos últimas décadas se han desarrollado, algunas Guías de Calidad de Sedimentos por sus siglas en inglés (SQG), como herramientas en la gestión de los sedimentos contaminados. Existen varias guías numéricas para la evaluación de los sedimentos, pero distintas guías utilizan distintos términos para referirse a la presencia de contaminantes en los sedimentos. Dado la resistencia a ciertas definiciones de términos como criterios, normas, por parte de los responsables de dragado en ciertos países y de la industria, por ejemplo la USEPA ya no utiliza los términos “normas” o “criterios” para referirse a los umbrales de sedimentos. Por el contrario, ahora se refieren a los criterios de calidad de sedimentos como “directrices”, que no llevan el mismo mandato reglamentario. Otros han preferido el uso de términos como valores, indicadores, o niveles.

Tradicionalmente la contaminación de los sedimentos, ha sido determinada mediante evaluación de las concentraciones químicas generales o de compuestos individuales, pero los datos químicos no proporcionan una base eficaz para la determinación de los efectos adversos sobre los seres vivos [272], y muy a menudo se los compara con valores de concentración de referencia, al momento son consideradas como una caracterización inicial de la contaminación, dado que existen opiniones que indican que los valores de contaminantes determinados de por sí no constituyen criterios estrictos a ser considerados en la gestión de sedimentos, que puedan servir para el control y evaluación de la contaminación [273].

Para establecer la significación biológica de contaminantes en sedimentos consolidados se requiere información sobre la persistencia, toxicidad y bioacumulación [274], mientras que la biodiversidad y la funcionalidad de una comunidad biológica se puede determinar mediante la medición de la estructura de infauna y abundancia. Estas medidas son lentas, costosas y requieren un alto nivel de experiencia, por lo tanto las directrices de calidad de sedimento (SQGs), son ahora las más utilizados en los estuarios y ambientes marinos y están establecidas en muchas partes del mundo, incluidos los EE.UU., Canadá, Australia, los Países Bajos y Hong Kong [275].

Desde 1980 las SQGs comenzaron a incorporar los efectos biológicos en sus planteamientos, estos métodos se pueden clasificar como empíricos y teóricos; Los métodos que se clasifican como empíricos, están basados en la frecuencia de enfoques para establecer la relación entre la contaminación de los sedimentos y la respuesta tóxica, y los enfoques teóricos intentan explicar las diferencias en la biodisponibilidad a través de la partición de equilibrio (EqP) es decir, el uso del carbono orgánico o acidez volátil de sulfuros del sedimento y metales. La cuestión de la biodisponibilidad, sin embargo no está bien encaminada por los SQG empíricos, dado que se basan en concentraciones de sedimentos totales. El enfoque EqP intenta abordar este problema de manera específica, este enfoque sugiere que las concentraciones en el agua intersticial representan la principal vía de exposición para los organismos acuáticos, y que las concentraciones químicas se pueden determinar a partir de un cálculo EqP, para compuestos no iónicos entre el carbono del sedimento y agua intersticial [276].

Las guías de calidad de sedimentos (SQGs) son un componente fundamental de todos los marcos de evaluación de calidad de los sedimentos, sin embargo hay una serie de limitaciones de las SQGs que deben ser considerados, como el hecho de que la biodisponibilidad del sedimento se alteran fácilmente, por el muestreo y manipulación y no pueden reflejar las condiciones in situ. Las SQGs tienen diferentes tasas de resultados falsos positivos y falsos negativos en sus predicciones sobre si los sedimentos son tóxicos o no [277]. Un falso positivo se produce cuando el sedimento excede las SQG que indica que es tóxico, cuando de hecho no lo es. Un falso negativo es el opuesto; el sedimento esta por debajo de las SQGs, lo que sugiere que no es tóxico, pero es tóxico para los invertebrados benthicos.

El uso de los SQGs sigue debatiéndose por la comunidad científica, que cuestiona el como y cuando, o si debieran ser utilizados para evaluar los resultados de los test biológicos. Aunque no se ha adoptado una decisión final, algunos expertos creen que los SQGs deben reflejar un rango numérico de valores o esquemas de clasificación basados en diferentes grados de contaminación, y reflejar la incertidumbre inherente al proceso de evaluación del sedimento [278].

Varios enfoques empíricos han sido publicados, los cuales están basados en los efectos de las concentraciones totales, en los macroinvertebrados bentónicos. En lugar de estar basado teóricamente. Estos enfoques, por lo general establecen dos umbrales, uno por debajo del cual raramente ocurren efectos por ejemplo el nivel más bajo de efecto (LED siglas en inglés), el nivel de umbral de efecto (TEL). Así como los rangos efectos bajos (ERL), el umbral mínimo de efecto (MET), y la concentración de efecto umbral (TEC), y el otro es sobre los probables efectos que ocurren; como: Nivel de efecto grave (SEL), nivel de probables efectos (PEL), efecto de rango medio (ERM), umbral de efecto tóxico (TET) y el efecto de la concentración probable (PEC) [279].

En la tabla No 26 se resumen algunas directrices sobre la presencia de metales pesados en los sedimentos.

| Criterios de calidad de sedimentos | Concentración mg.Kg ⁻¹ | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | As | Cd | Cr | Cu | Pb | Hg | Ni | Zn |
| SQG | | | | | | | | |
| TEL ¹ | 5,9 | 0,6 | 37,3 | 35,7 | 35 | 0,17 | 18 | 123 |
| ERL | 33 | 5 | 80 | 70 | 35 | 0,15 | 30 | 120 |
| LEL ² | 6 | 0,6 | 26 | 16 | 31 | 0,2 | 16 | 120 |
| MET ³ | 7 | 0,9 | 55 | 28 | 42 | 0,2 | 35 | 150 |
| EC-TEL ⁴ | 7,24 | 0,68 | 52,3 | 18,7 | 30,2 | 0,13 | 15,9 | 124 |
| NOAA ERL ⁵ | 8,2 | 1,2 | 81 | 34 | 46,7 | 0,15 | 20,9 | 150 |
| ANZECC ERL ⁵ | 20 | 1,2 | 81 | 34 | 47 | 0,15 | 21 | 200 |
| ANZECC ISQG-Low ⁵ | 20 | 1,5 | 80 | 65 | 50 | 0,15 | 21 | 200 |

Tabla No 26. Guía de calidad de sedimentos, efecto umbral para metales ($\mu\text{g. kg}^{-1}$) (G. A. Burton, 2002)

- 1 Igual que las Directrices de sedimentos de agua dulce de Canadá.
- 2 Igual que los niveles de las Directrices del Medio Ambiente de Ontario.
- 3 Igual que el efecto mediano de los valores de calidad aconsejables.
- 4 Igual que el Departamento de Protección Ambiental de la Florida.
- 5 Directrices para la calidad del agua dulce y marina de Australia y Nueva Zelanda.

CAPÍTULO 7

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- 7.1. Introducción
- 7.2. Resultados de parámetros físico-químicos in situ
 - 7.2.1. Temperatura
 - 7.2.2. Potencial de hidrógeno
 - 7.2.3. Conductividad
 - 7.2.4. Oxígeno disuelto
- 7.3. Parámetros físico-químicos determinados en laboratorio
 - 7.3.1. Alcalinidad
 - 7.3.2. Cloruros
 - 7.3.3. Carbono orgánico total
 - 7.3.4. Amonio
 - 7.3.5. Nitritos y nitratos
 - 7.3.6. Fosfatos
 - 7.3.7. Demanda bioquímica de oxígeno
 - 7.3.8. Turbidez
 - 7.3.9. Sólidos suspendidos, disueltos y totales
 - 7.3.10. Sulfatos
 - 7.3.11. Iones metálicos mayoritarios
- 7.4. Contaminantes orgánicos en aguas del río Daule
- 7.5 Metales pesados en aguas del río Daule
 - 7.5.1. Arsénico
 - 7.5.2. Cadmio
 - 7.5.3. Cromo
 - 7.5.4. Cobre
 - 7.5.5. Níquel
 - 7.5.6. Plomo
 - 7.5.7. Mercurio
 - 7.5.8. Índice de contenido metálico
- 7.6. Resultados microbiológicos
- 7.7. Toxicidad de las aguas del río Daule
- 7.8. Sedimentos
 - 7.8.1. Materia orgánica
 - 7.8.2. Compuestos orgánicos persistentes
 - 7.8.3. Metales pesados
 - 7.8.4. Bioensayos de toxicidad
 - 7.8.5. Análisis de correlación

7.1 Introducción

Los resultados obtenidos se han dividido en dos grandes grupos: el primer grupo para las muestras de aguas, y el otro grupo que corresponde a los resultados de los sedimentos. Los resultados se exponen mediante el uso de figuras que ayudan a visualizar de una mejor manera los mismos, y poder observar como estos podrán variar de manera temporal y espacial, los datos obtenidos de los análisis se incluyen en el apartado Tablas y Anexos.

A su vez los resultados de las muestras de aguas se los dividió en parámetros físico-químicos in situ y de laboratorio para poder realizar su caracterización hidroquímica, se hace un apartado especial para los resultados de contaminantes orgánicos persistentes, así para la evaluación de los parámetros microbiológicos, y adicionalmente para la determinación de la toxicidad de las muestras de aguas. Para el caso de los sedimentos del río Daule, se evaluaron los resultados obtenidos para materia orgánica, contaminantes orgánicos persistentes, metales pesados y bioensayos de toxicidad.

Los valores de los parámetros obtenidos de los respectivos análisis, se los trató estadísticamente, mediante la aplicación del programa científico R versión 1.5.

7.2 Resultados de parámetros físico-químicos in situ

7.2.1 Temperatura

La temperatura de las aguas superficiales se dan en función de algunos condicionantes como época del año, ubicación del sitio de muestreo, caudal, horas del día. Los datos de temperatura registrados en las aguas del río Daule, están en relación a las variaciones de temperatura del medioambiente, y son valores que están dentro de lo esperados, como son las condiciones del clima de la región.

En la figura 9, se indican los datos de temperatura, para el muestreo del 6 de junio del 2011 para las estaciones estudiadas, en ella se aprecia el incremento de la temperatura del agua desde la estación Balzar1 hasta la estación Puente Lucía, lo cual

es consistente con la temperatura del ambiente, que aumenta con el transcurso de las horas del día.

La legislación ecuatoriana hace referencia a una variación ± 3 °C como condición natural de temperatura.

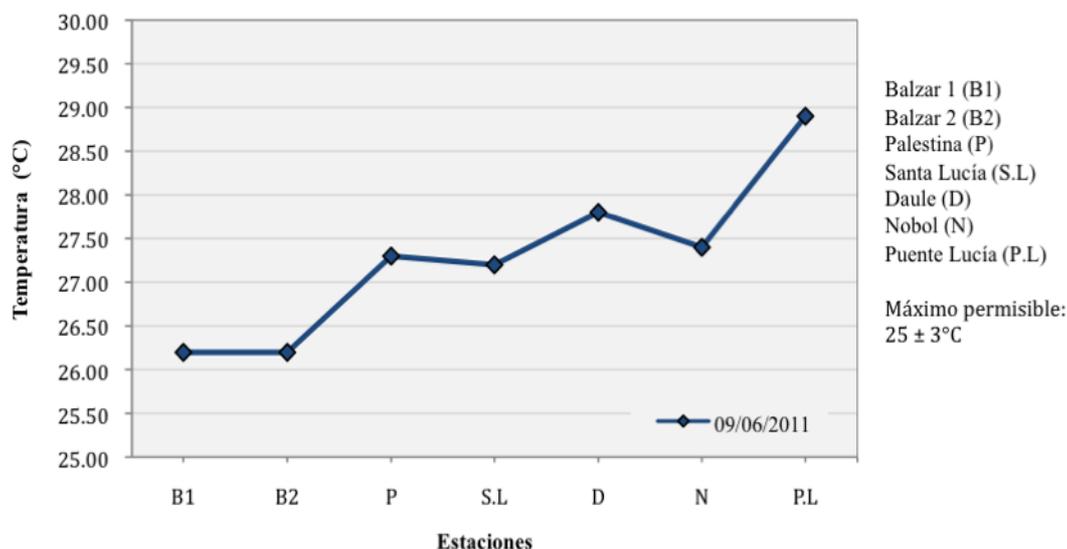


Figura 9. Temperatura, muestreo de aguas 09/06/11

En la figura No 10, se recogen todos los datos de temperatura en las diferentes estaciones y fechas de los muestreos. De las figuras se establece una variación estacional y de aumento de la temperatura con respecto a las horas del día. Salvo en dos muestreos en que se nota una ligera disminución de 0,5 °C en el sitio Puente Lucía, en los meses de diciembre del 2012 y mayo del 2012. De forma general sea en invierno o en verano, la variación de temperatura presenta un igual comportamiento, esto es porque la zona se encuentra en el litoral y por estar ubicado el Ecuador en zona calurosa, la temperatura no tiene mucha variación.

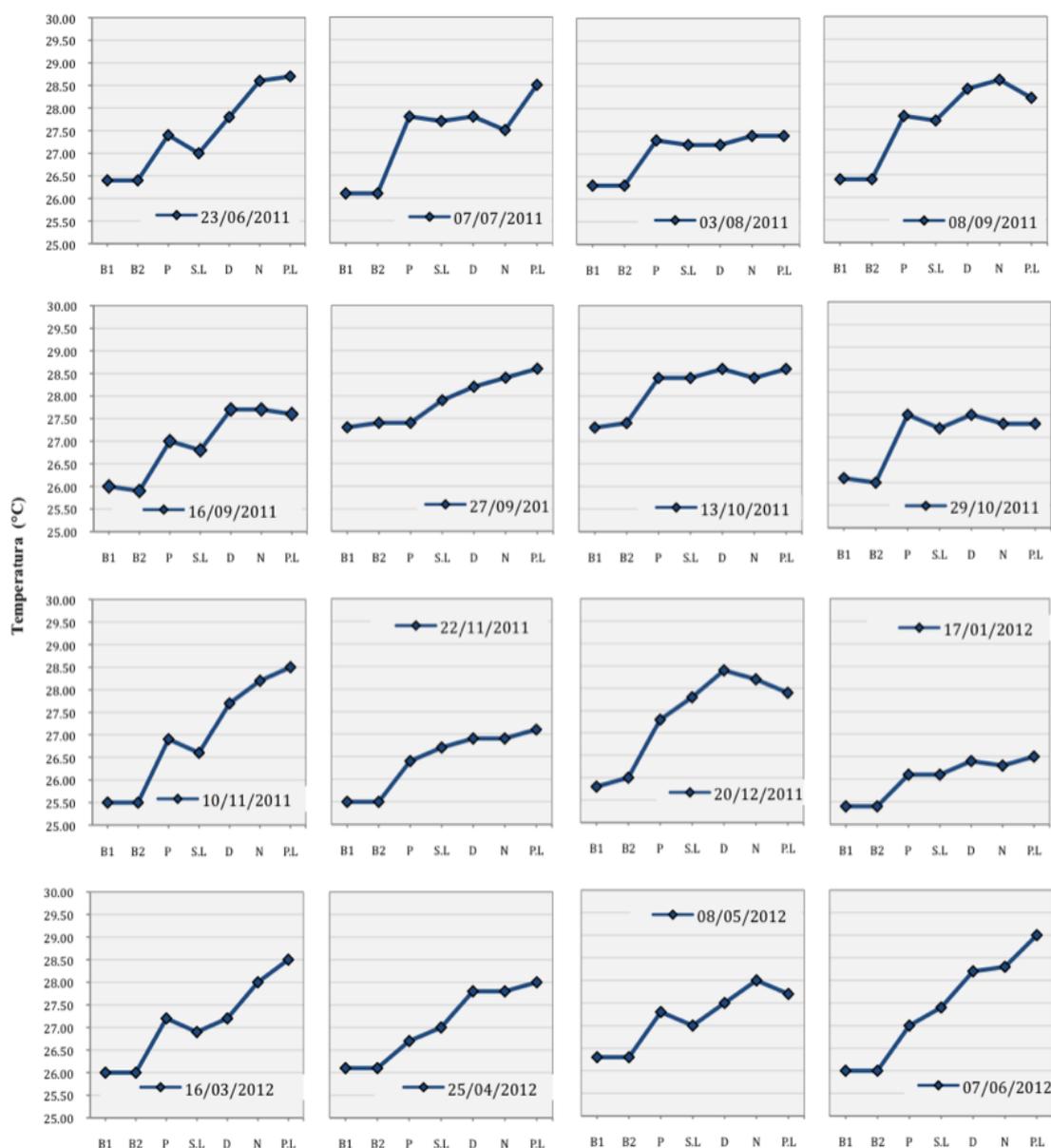


Fig. 10. Temperatura, muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

7.2.2 Potencial de hidrógeno pH

Los valores de pH obtenidos, para el primer muestreo se presentan en la figura 11, en la que se aprecia que las mediciones de pH indican la tendencia de un leve incremento a lo largo del tramo del estudio pero encontrándose dentro del rango comprendido entre un mínimo de 6 y un máximo de 8.

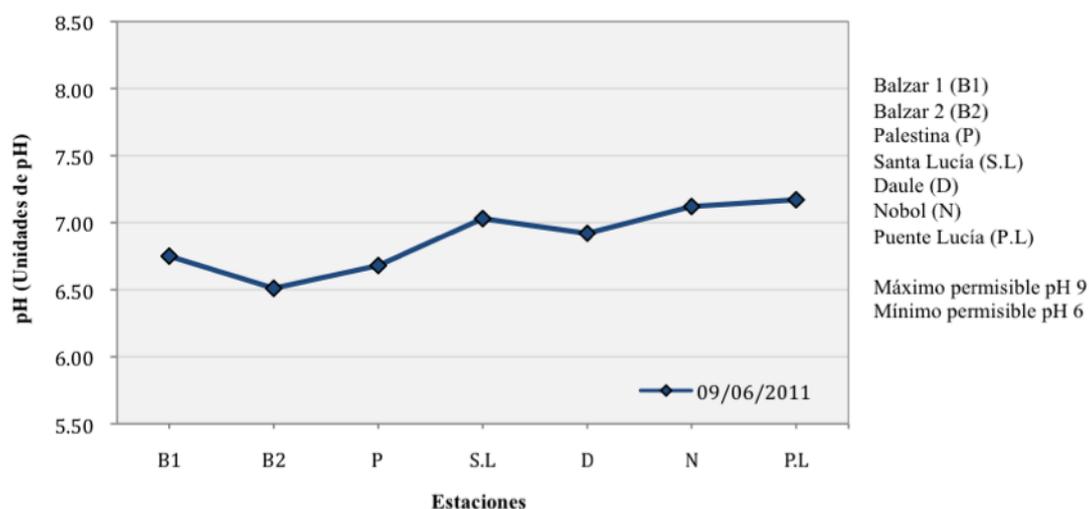


Figura 11. pH muestreo del 09/06/2011

En la figura 12, están presentados los resultados de los demás muestreos realizados, los resultados obtenidos, establecen una tendencia espacial muy pequeña de incremento del valor del pH en el sentido aguas abajo, también se aprecian muestreos en los cuales no existe una clara tendencia de variabilidad tanto en fechas, que corresponden a la época seca como de invierno. El comportamiento temporal es similar al espacial, lo cual podría estar asociado a factores de descarga de aguas residuales y gran variabilidad del régimen de lluvias. Pero de manera general las variaciones de los valores de pH no son grandes y se mantienen dentro del rango de 6 a 9 unidades.

De las 133 mediciones realizadas que se muestran en la figura 12, se registran 8 valores ligeramente menores a 6 que están entre valores de 5,89 a 5,98, de los cuales 3 se producen en la estación Nobol, 2 en Puente Lucía, y en Daule, Balzar 1, y Santa Lucía respectivamente que representan 6% de todas las mediciones, lo cual estaría relacionado con el vertido directo de aguas residuales domésticas que no reciben tratamiento, y que darían al agua del río alto contenido orgánico. El promedio del valor del pH esta en 6,7 unidades el mismo que esta dentro de lo referencial para aguas superficiales.

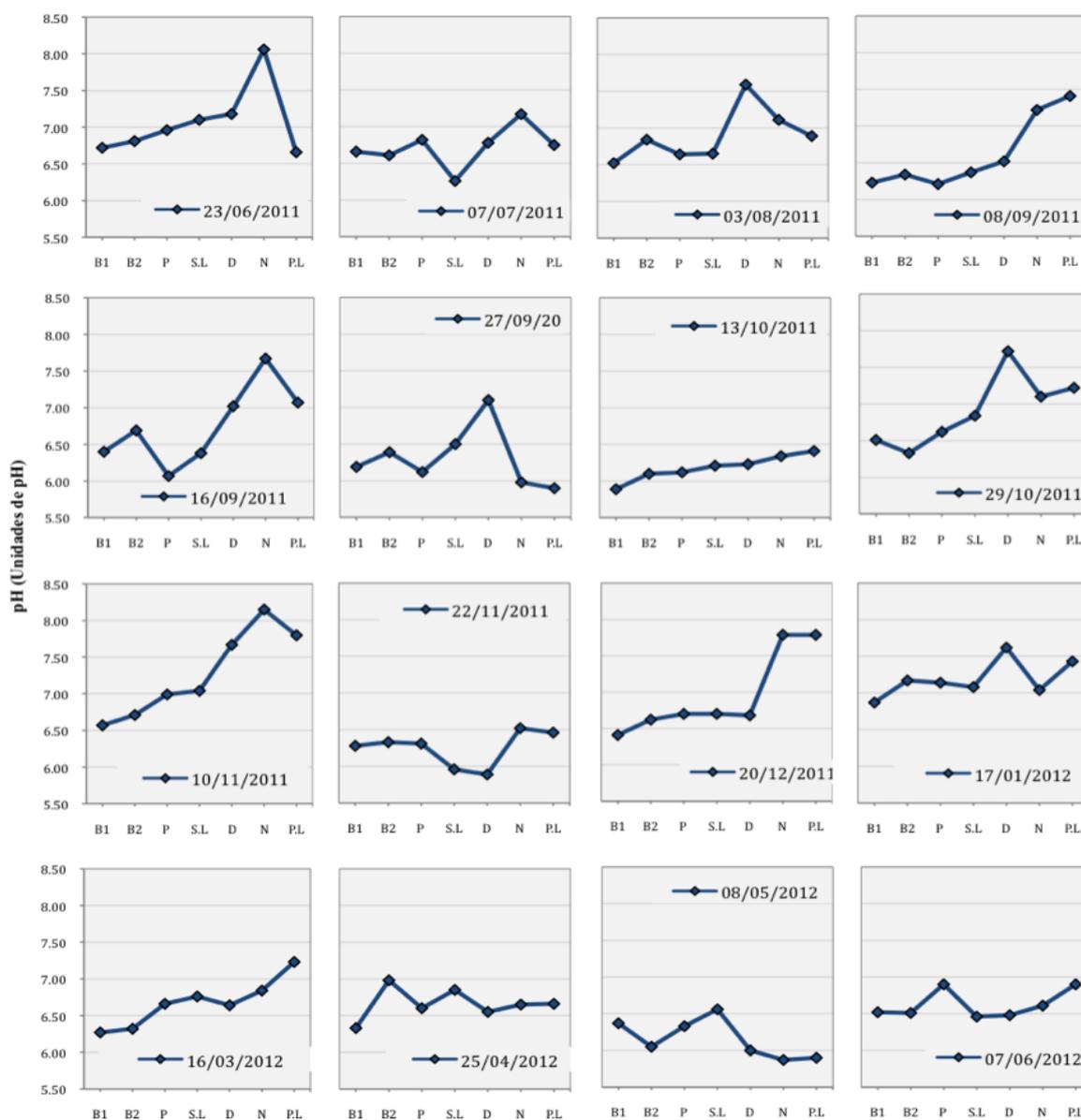


Figura 12. pH muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

7.2.3 Conductividad

La conductividad eléctrica es la medida en que las aguas se encuentran mineralizadas e indica la carga iónica que contienen, y es resultado del tipo de terreno que atraviesa, y del aporte que las actividades antrópicas que se deben a la descarga de aguas residuales urbanas e industriales.

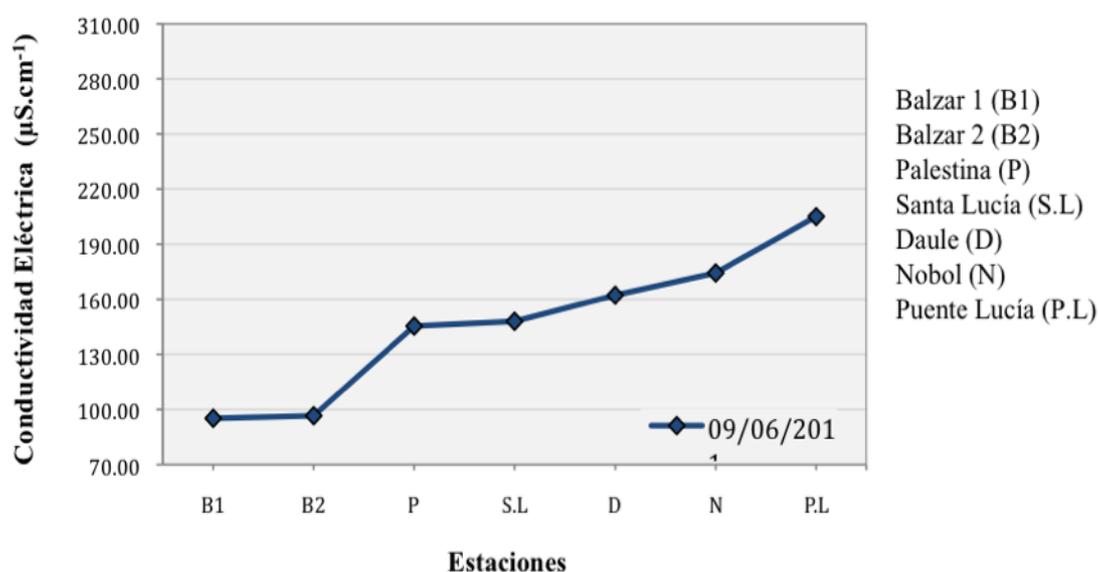


Figura 13. Valores de conductividad, muestreo del 09/06/2011

Los resultados de la conductividad eléctrica determinados en el río Daule, que se presentan en la figura 13, corresponden al primer muestreo realizado el 9 de junio del 2011, los valores de éste parámetro están comprendidos desde 95.80 hasta 205,00 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ que es una conductividad propia de las aguas dulces, se aprecia el incremento de la conductividad aguas abajo, que indica que existe variación espacial, la misma que de forma similar se da en el resto de las estaciones.

Los niveles de conductividad determinados en todos los muestreos comprenden valores desde 58,00 hasta 293,80 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y se encuentran indicados en la figura 14. Los resultados en promedio de la conductividad eléctrica esta en 119,78 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, que indica un valor de mineralización de sus aguas de muy débil a débil. También se evidencia que en los meses de verano un ligero incrementa de la conductividad, lo cual esta asociado al caudal que en la época seca disminuye. En términos generales los valores más altos de conductividad se dan en la estación Puente Lucía, que es la estación que esta más aguas debajo de todas las estaciones del estudio y que recibe las descargas de las aguas residuales urbanas de todas las poblaciones situadas aguas arriba y que también estaría asociado al efecto de la marea que produce un ligero incremento y que se nota de una forma bastante clara para los muestreos del 13 de octubre del 2011 y del 12 de mayo de 2012.

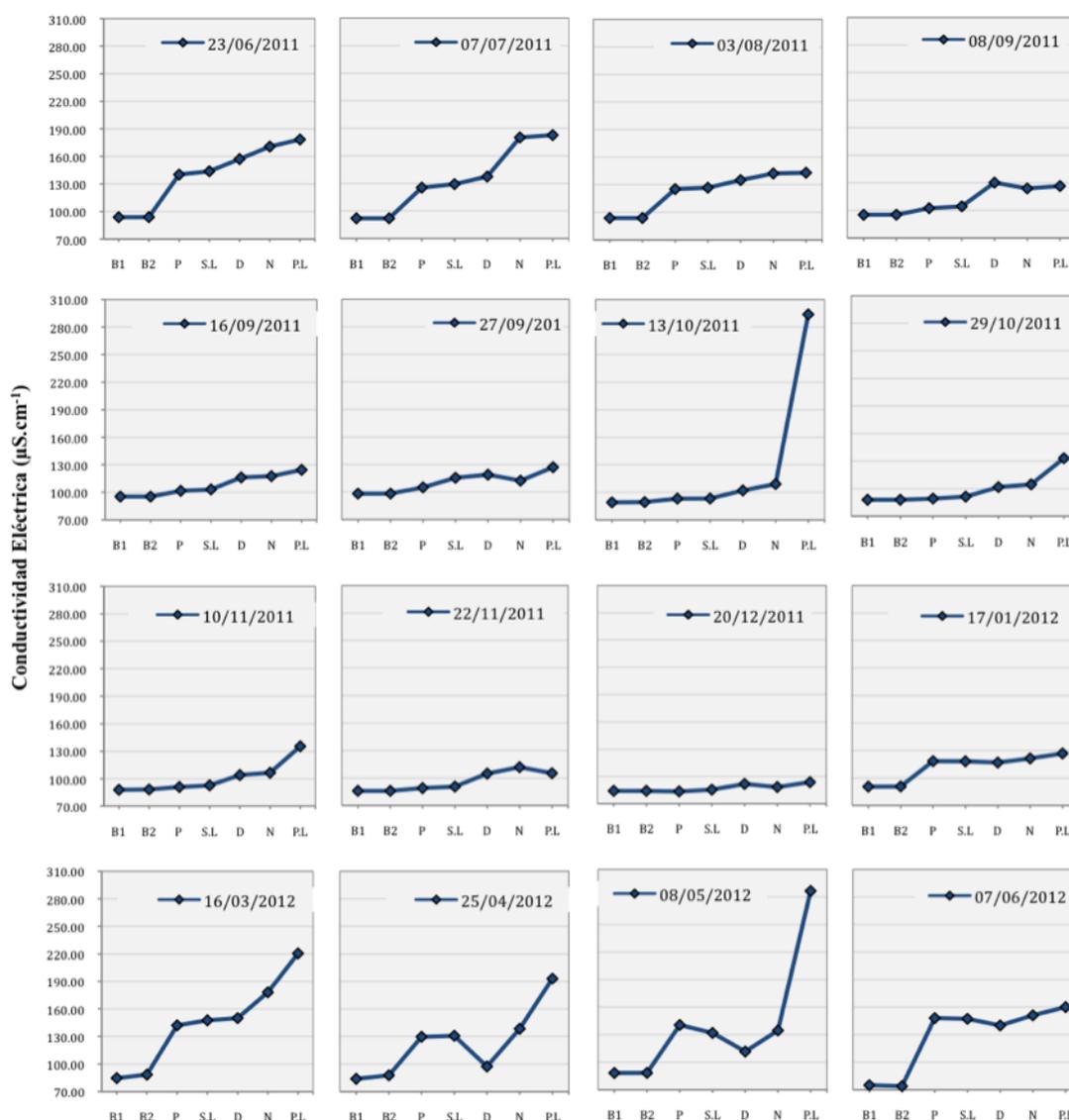


Figura 14. Conductividad, muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

7.2.4 Oxígeno disuelto

Las aguas superficiales que no presenten contaminación por lo general contiene concentraciones de oxígeno disuelto que van desde un mínimo de 6 hasta valores de 14 $\text{mg.O}_2.\text{L}^{-1}$.

Los resultados obtenidos para este parámetro en el muestreo del 9 de junio del 2011, se indican en la figura 15, van desde 3,35 y 3,46 $\text{mg.O}_2.\text{L}^{-1}$ en los sitios Balzar1 y Balzar2, y en las estaciones Palestina; Santa Lucía y Daule hasta 5,40 $\text{mg.O}_2.\text{L}^{-1}$ valores

que se encuentran cercanos a los niveles de referencia, también se puede observar que el valor del oxígeno disuelto se incrementa conforme el río se desplaza en dirección aguas abajo y al respecto se observan importantes variaciones de este parámetro.

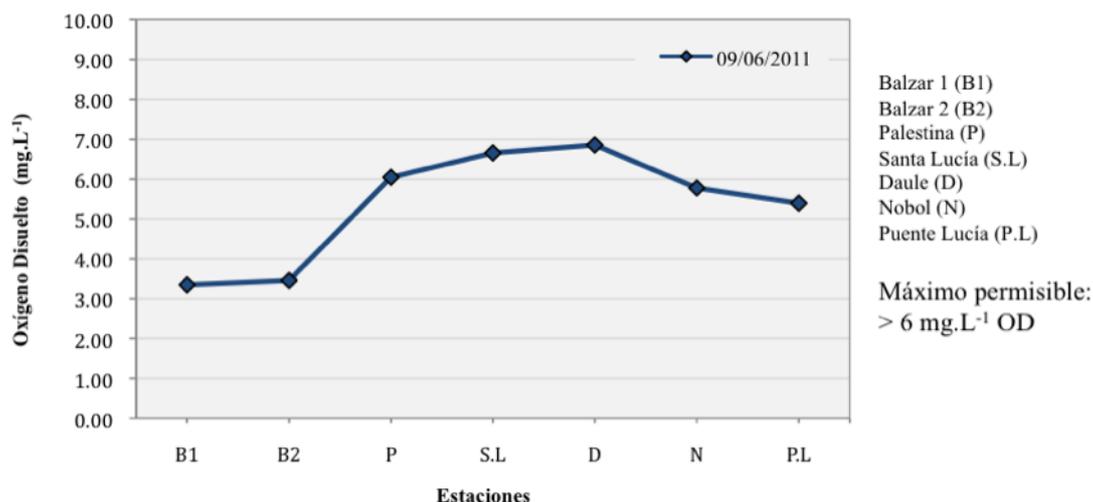


Figura No 15. Valores de oxígeno disuelto, muestreo del 09/06/2011

En los demás muestreos que se indican en la figura 16 esta tendencia se mantiene, el valor del oxígeno disuelto se incrementa en dirección hacia la vertiente del Pacífico, lo cual obedece que en su recorrido aguas abajo, la turbulencia produce un mayor contacto con el oxígeno atmosférico produciéndose un oxigenamiento del agua, dándose de esta manera una variación temporal, el valor promedio de todas las determinaciones realizadas de oxígeno disuelto es de 5,47 mg.O₂.L⁻¹, que aun esta por debajo de los niveles mínimos referenciales (6,0 mg.O₂.L⁻¹). También se evidencia que en las estaciones Nobol y de Puente Lucía se da un descenso de la concentración del oxígeno disuelto en los meses de agosto, septiembre y noviembre del 2011, en enero, abril y de mayo del 2012, lo cual se debería a que estos sitios recoge las aguas que vienen desde las distintas ciudades asentadas en las riberas del río y de los afluentes como el río Pula que desemboca en el río Daule muy cerca del sitio Puente Lucía y que acarrear contaminantes de tipo de orgánico.

De la misma manera se puede apreciar que en las dos primeras estaciones (Balzar1 y Balzar2), se presentan los valores más bajos de oxígeno disuelto las mismas

que se encuentran dentro del rango comprendido de 1,85 a 3,46 mg.O₂.L⁻¹, y en ninguno de los muestreos realizados en estos sitios alcanza el mínimo de 6 mg.O₂.L⁻¹, que se debe a la gran descarga de aguas residuales urbanas que se vierten desde la ciudad de Balzar al río Daule y por otra parte, que desde el fondo de la represa se desplazan masas de agua anoxicas para accionar las turbinas de la central hidroeléctrica que se encuentra ubicada en la represa Daule-Peripa, en los meses de noviembre y diciembre los niveles de oxígeno se ven aun más reducidos por la apertura de las compuertas de la represa se realiza en los meses indicados en espera de la nueva etapa de lluvias que se inicia generalmente en el mes de diciembre, desplazándose grandes cantidades de agua sin oxígeno.

De los resultados obtenidos solo el 41,36% de las determinaciones tienen un valor $\geq 6,0$ mg.O₂.L⁻¹ y un 17,29% esta entre 5 y menor 6, el 41% de las mediciones tiene una concentración de oxígeno disuelto en valores muy bajos comprendidos de 1,85 a 4,95 mg.O₂.L⁻¹, lo cual constituye un fuerte y grave indicativo de la deficiencia de oxígeno disuelto que afecta la salud del río, para las especies que habitan en el río.

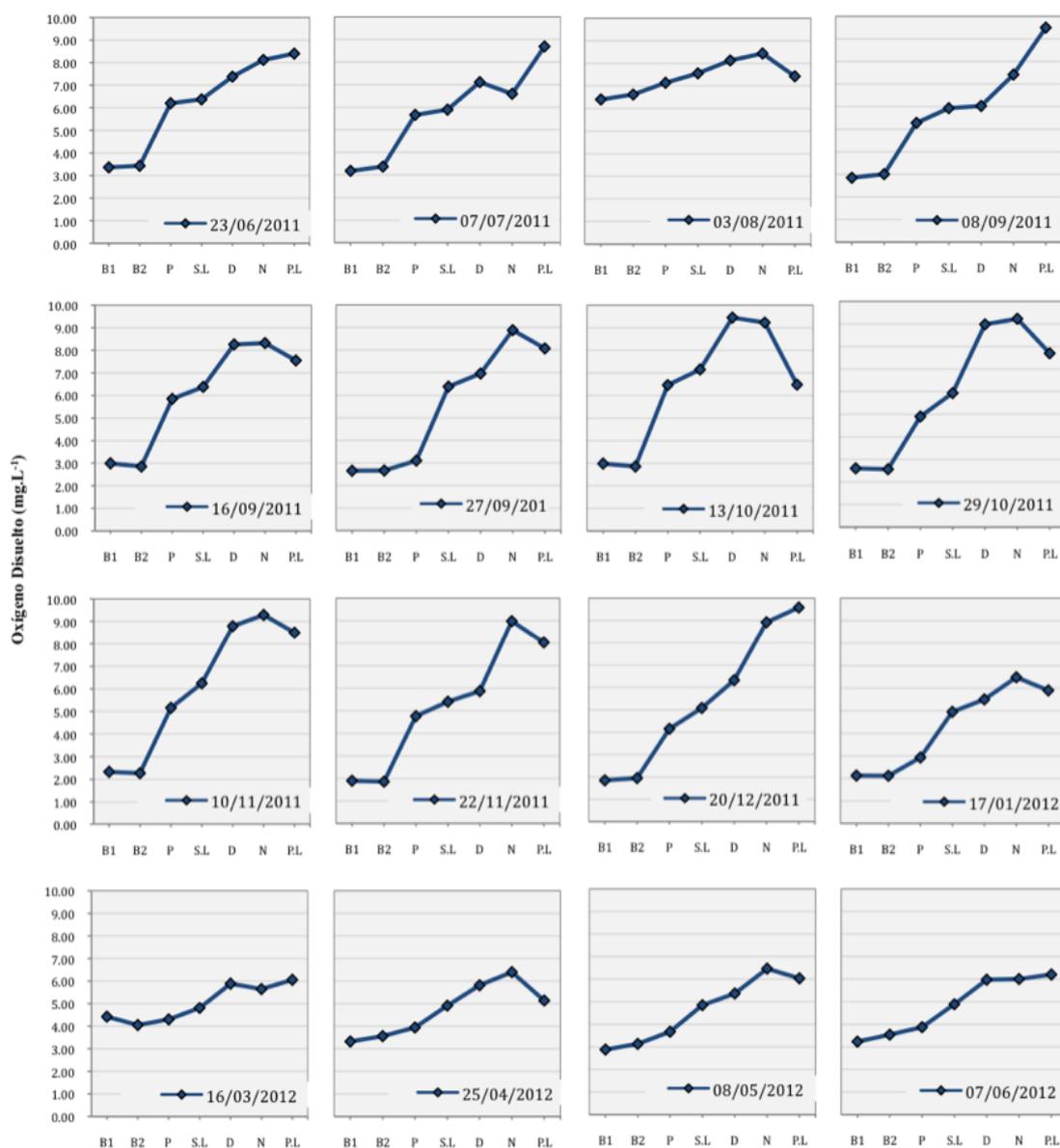


Figura 16. Oxígeno disuelto, muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

7.3 Parámetros físico-químicos determinados en laboratorio

7.3.1 Alcalinidad

De los análisis se determinó que la alcalinidad de las aguas del río Daule, es fundamentalmente bicarbonatada, el máximo valor es 68,45 mEq HCO₃⁻.L⁻¹, que la sitúa en límites razonables de alcalinidad. En la figura 17, se presentan los resultados del muestreo de aguas en las siete estaciones correspondiente al 9 de junio del 2011, los

valores de alcalinidad obtenidos van desde 39 hasta 66,50 $\text{mEq.HCO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$, observándose la tendencia a aumentar los valores en el sentido de la corriente del río aguas abajo.

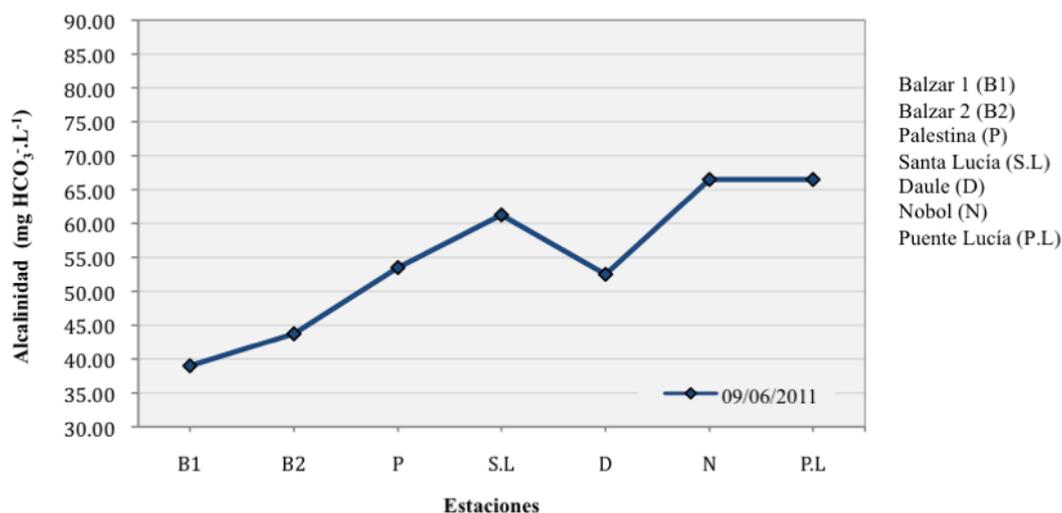


Figura 17. Concentraciones de alcalinidad, muestreo del 09/06/2011

La tendencia de incremento de la alcalinidad hacia la confluencia con el río Babahoyo para formar el río Guayas también se ve reflejada en los demás muestreos realizados que se exponen en la figura 18, considerando todos los muestreos realizados se establece el valor más bajo de 20,50 y el más alto de 68,45 $\text{mEq HCO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$, que sitúa a estas aguas entre calidad de baja en alcalinidad, el valor promedio de alcalinidad fue de 52,85 $\text{mEq HCO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$.

En las figuras 17 y 18, se puede apreciar que durante los meses de verano, se nota un claro incremento aguas abajo y que en los muestreos de los meses del invierno del 2012, se evidencia irregularidad en el incremento en los valores de alcalinidad, y que estarían relacionados con las lluvias que se dan en esta época del año, de manera general se establece variabilidad de incremento de la alcalinidad de manera tanto espacial como temporal. Solo en los meses de marzo, mayo y junio se produce un ligero decremento de la alcalinidad desde la estación Nobol a Puente Lucía.



Figura 18. Alcalinidad, muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

En los sitios Balzar1 y Balzar2, se dan los valores promedios de 40,41 y 41,44 mEq HCO₃⁻.L⁻¹, que son los más bajos de alcalinidad, comparados con los promedios 62,70 mEq HCO₃⁻.L⁻¹ que se producen en la estación Puente Lucía que es la que se encuentra más aguas abajo de todas ellas, que indica una variación en promedio de un poco más de 20 mEq HCO₃⁻.L⁻¹, que en este caso pone de manifiesto la aportación de iones que las ciudades que están en las orillas del río Daule, así como de sus afluentes.

7.3.2 Cloruros.

La presencia de cloruros en las aguas del río Daule, realmente es bastante baja, lo que indica una muy baja salinidad ya que generalmente los niveles referenciales están

por los 250 mg.L^{-1} , los resultados que se muestran figura 19 corresponden al primer muestreo del 9 de junio del 2011, en el que el máximo valor de concentración de este ion es 3.91 mg.L^{-1} .

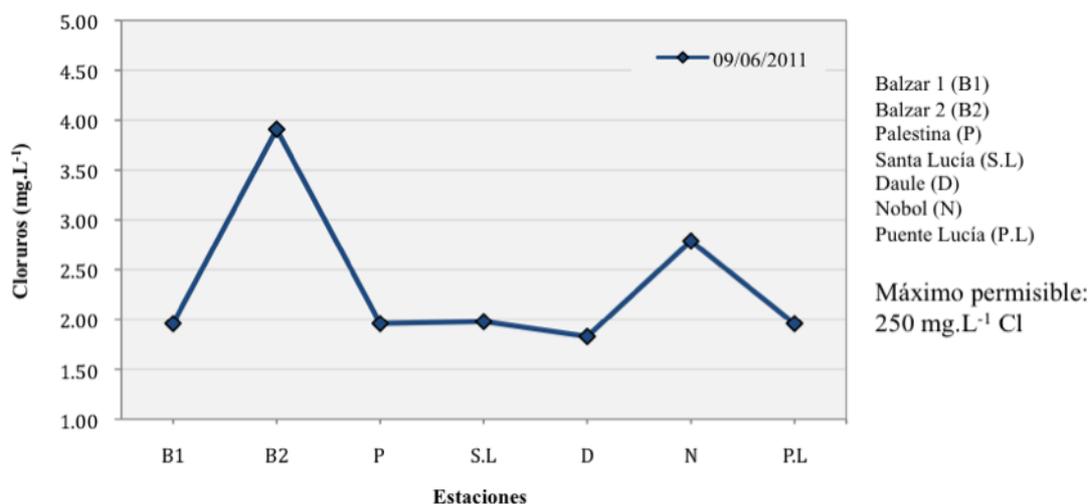


Figura 19. Concentraciones de cloruros muestreo del 09/06/2011

Valores similares fueron determinados en los demás muestreos, el valor máximo determinado fue en el sitio Puente Lucía el 17 de enero del 2012. En términos generales la figura 20 nos muestra los resultados de los demás muestreos que nos indican una leve tendencia de incremento de los valores de los cloruros en dirección de la corriente del río aguas abajo, ratificando que existe una muy pequeña variabilidad espacial, lo que demuestra que las aguas del río Daule en su recorrido a su desembocadura al Guayas van asociando este tipo de iones en sus aguas, pero que no incrementan de manera significativa su concentración ya que si compramos las concentraciones más bajas que se producen en Balzar1 y Balzar2 y la comparamos con la estación de Puente Lucía en ningún caso supera los 4 mg.L^{-1} . En los muestreos de invierno correspondiente a los meses de marzo, abril y mayo del 2012, se nota irregularidad en lo anteriormente comentado, lo cual esta relacionado con las precipitaciones propias de estos meses de

época invernal. El contenido de cloruros en las aguas del río en general es bastante bajo.

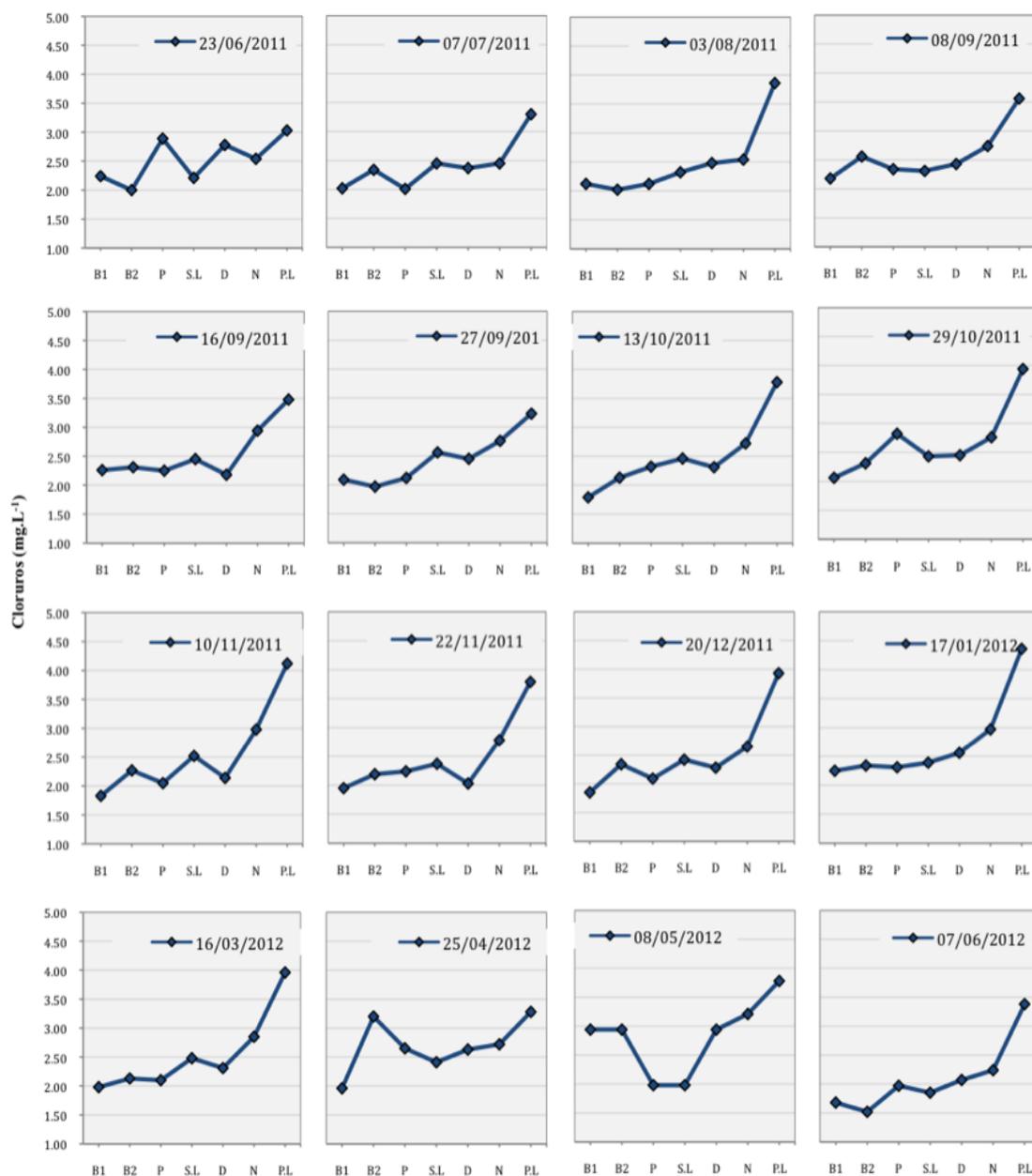


Figura 20, Concentraciones de cloruros, muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

7.3.3 Carbono Orgánico total

Este parámetro es la medida total de carbono en los compuestos orgánicos presentes en el agua, y constituye una técnica de calidad de agua. La concentración de carbono orgánico total en un agua superficial es generalmente inferior a 10 mg.L⁻¹, aunque puede ser más elevada en caso de que contenga residuos de aguas industriales o

municipales que aporten compuestos de tipo orgánico y de productos agroquímicos utilizados en la agricultura. La importancia del papel del carbono en el cambio climático, como un contaminante y en la energética del ecosistema ha sido bien establecida [280]. Los valores de carbono orgánico determinados en las aguas del río Daule, son similares a los reportados en ríos de otros sitios.

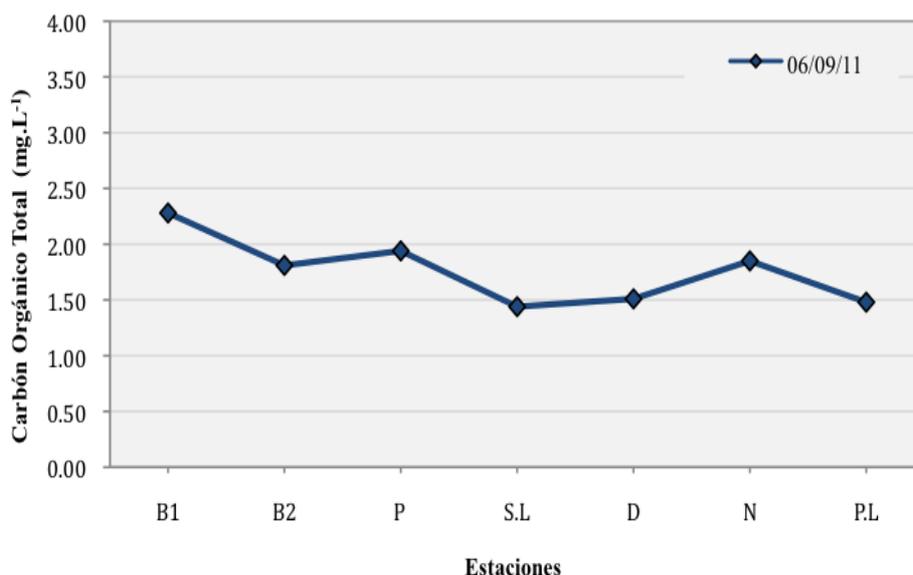


Figura 21, Concentraciones de carbono orgánico, muestreo del 09/06/2011

Una de las consecuencias de una elevada concentración de carbono orgánico esta relacionada con una disminución del contenido de oxígeno disuelto, lo cual directamente conlleva en una afectación a los organismos que habitan en los sistemas hídricos.

La concentraciones de carbono orgánico total, en aguas del río Daule se presenta en las figuras 21 y 22. Los resultados obtenidos dan concentraciones de carbono orgánico de un mínimo de 1,48 hasta un máximo de 3,89 mg.L⁻¹, el promedio de carbono orgánico total es de 2,84 mg.L⁻¹. De las figuras se establece no existe ningún patrón definido de variación espacial o temporal observada durante los muestreos.

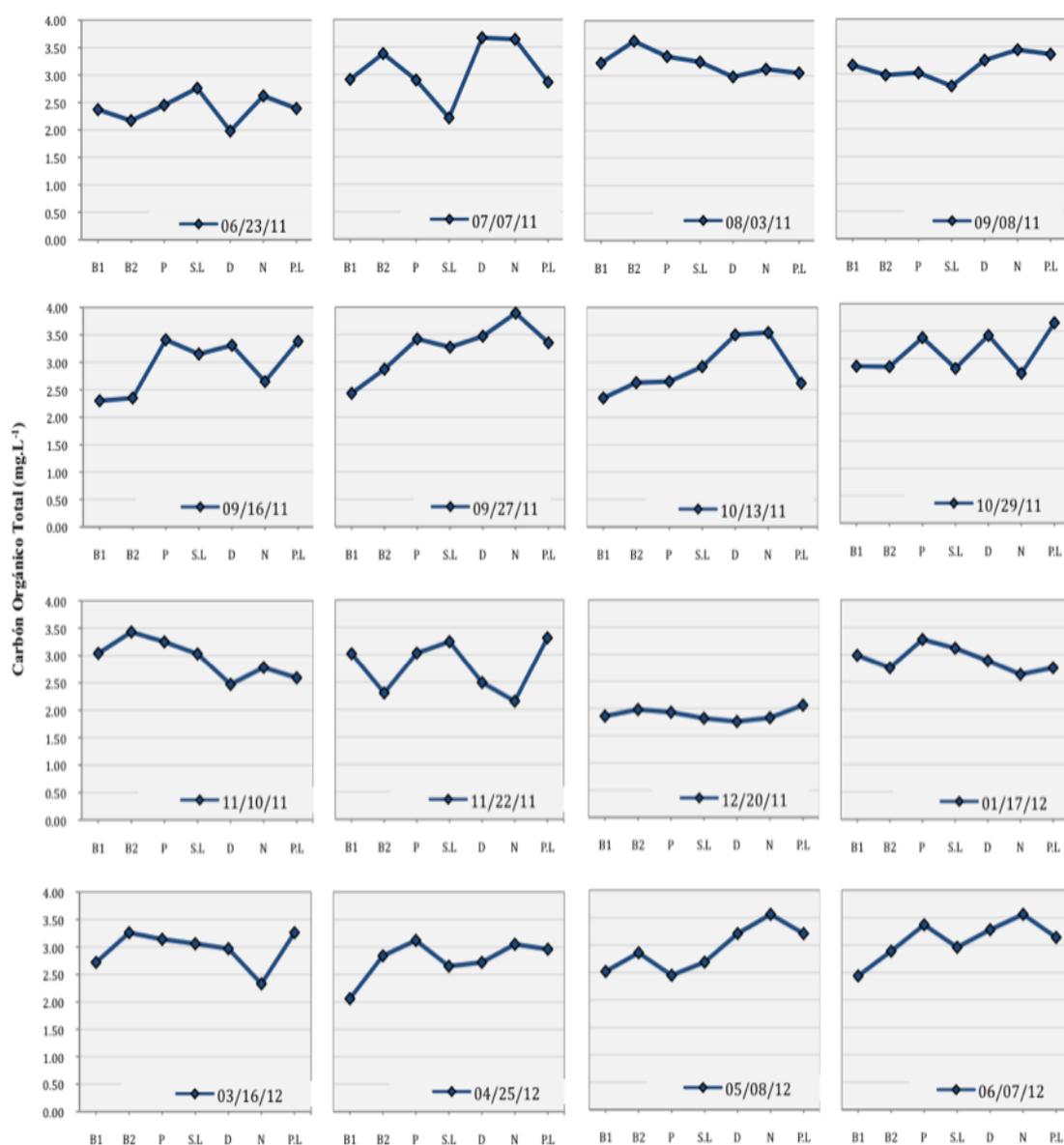


Figura 22. Concentraciones de carbono orgánico, muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

7.3.4 Amonio

Los resultados de las concentraciones obtenidas de amoníaco en los muestreos se expresan como mg de N-amoniaco y se presentan en las figuras 23 y 24, el valor más bajo de todas las determinaciones es de 0,10 mg.L⁻¹ en la estación Balzar1, y el valor más alto de 2,9 mg.L⁻¹ en la estación Puente Lucía, de los valores obtenidos se establece que el 30,85% de las determinaciones están sobre el valor de 1,0 mg.L⁻¹, que es valor referencial para este parámetro en el Ecuador, lo que indica que de no tener un control adecuado sobre este parámetro existiría riesgo de mayor contaminación.

En la figura 24 se incluyen los resultados de los demás muestreos, en las que se evidencia la tendencia al incremento de este parámetro de manera espacial, sobre todo hacia las estaciones de Nobol y Puente Lucía, de manera temporal no existe un patrón claro de la variabilidad de este parámetro, lo que nos indica contaminaciones difusas por la utilización de agroquímicos, actividad que se realiza a lo largo del río en época de invierno y de verano y también por las descargas de aguas residuales por las poblaciones que se encuentran en sus riberas.

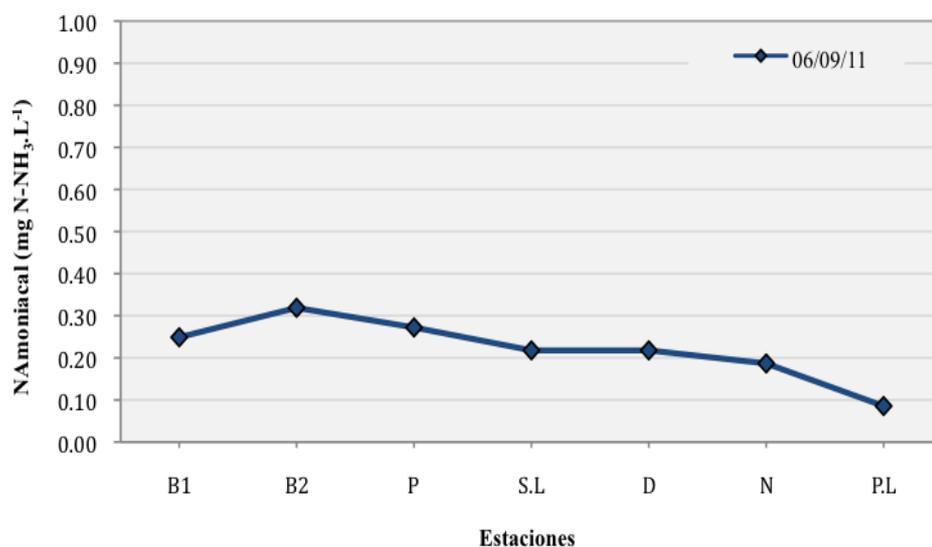


Figura 23. Concentraciones de nitrógeno amoniacal del 09/06/2011

Como se evidencia en las figuras 23 y 24, en los muestreos que se realizaron en la época invernal, este parámetro no tiene una tendencia a disminuir sus concentraciones por efecto dilución, lo que se aprecia son fluctuaciones que se producirían por efecto de las lluvias, pero que finalmente terminan en un incremento hacia la estación Puente Lucía.

En los meses de invierno se puede apreciar que las concentraciones de este parámetro presentan los valores más altos que se encuentran sobre los valores referenciales.

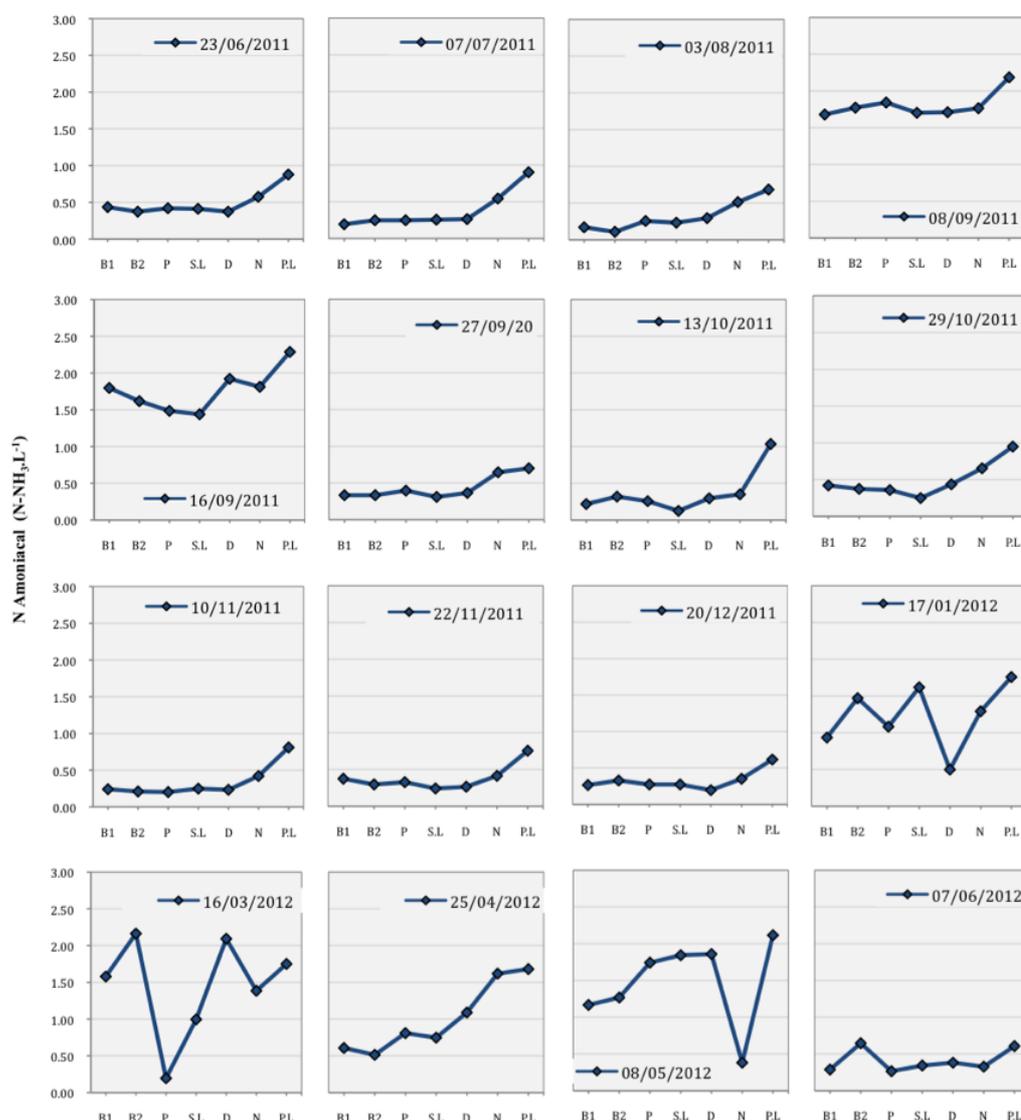


Figura 24, nitrógeno amoniacal muestreo de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

7.3.5 Nitrato y nitritos

De los compuestos nitrogenados en aguas, el ion nitrato es generalmente la forma más abundante de en la naturaleza y su concentración siempre es motivo de monitoreos continuos en los sistemas hídricos. La Organización Mundial de la Salud fija la concentración del ion nitrito (NO_2^-) en 3 mg.L^{-1} y 50 mg.L^{-1} para el ion nitrato, las Guías de Calidad de aguas dulces para la protección de la vida acuática del Canadá establecen por exposición la concentración a largo tiempo en $13 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$ y de $3,0 \text{ mg de N-NO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$ [281].

Los resultados de nitratos se presentan en las figura 25 y 26 que, incluyen los resultados tanto para los nitritos como para los nitratos.

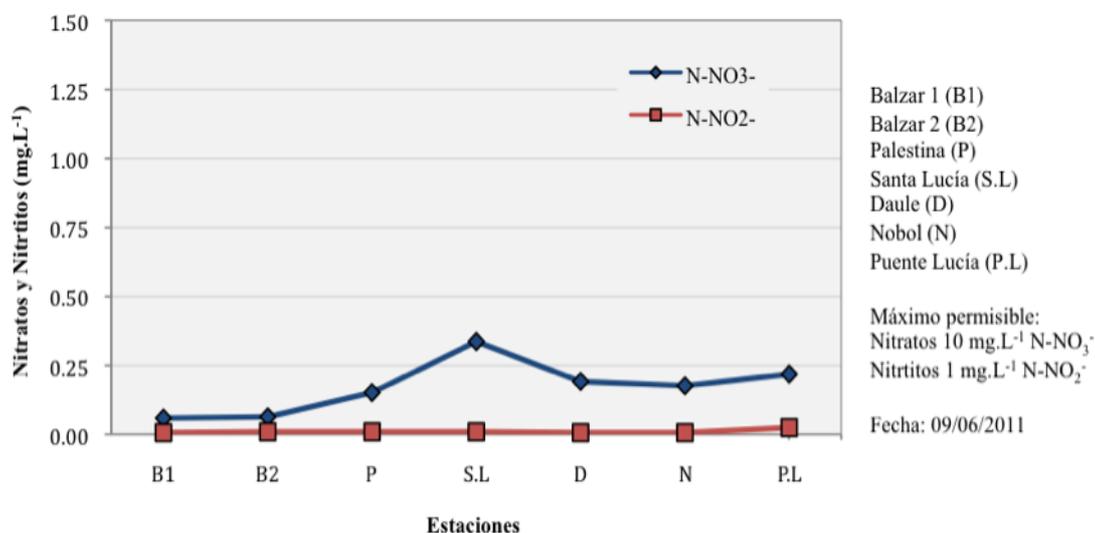


Figura 25, valores de nitratos como N-Nitrato y N-Nitrito muestreo del 09/06/2011

Los resultados obtenidos para el ion nitrito van desde no detecciones hasta 0,20 mg-N-NO₂⁻.L⁻¹, los mismos que se encuentran dentro de los límites permisibles en la legislación ecuatoriana. El valor promedio de las concentraciones del nitrito en forma expresada mg-N-NO₂⁻.L⁻¹ fue de 0,03 N-Nitrito, existen pequeñas variaciones no significativas en los meses de enero y mayo de 2012, producto de pequeña a aportaciones de este ion por actividades antrópicas.

La concentraciones de nitrato expresado como N-NO₃⁻.L⁻¹, de este ion van desde 0,1 hasta el valor máximo de 1,09 y el valor promedio de todos los valores determinados para éste parámetro fue de 0,32 que se encuentran dentro de valores referenciales para este parámetro, lo cual también es un indicativo que las aportaciones antrópicas al momento no representan un efecto que pudiera comprometer a la calidad de las aguas del río Daule.

En la figura 26 para el nitrato, se aprecia cierto incremento que se produce en sentido aguas abajo del río Daule, que en ningún caso supera los límites referenciales. En las fechas enero y mayo meses de época invernal se producen valores más altos y que probablemente están relacionadas con actividades agrícolas de la zona. No se evidencia variación estacional para ninguno de los iones descritos.

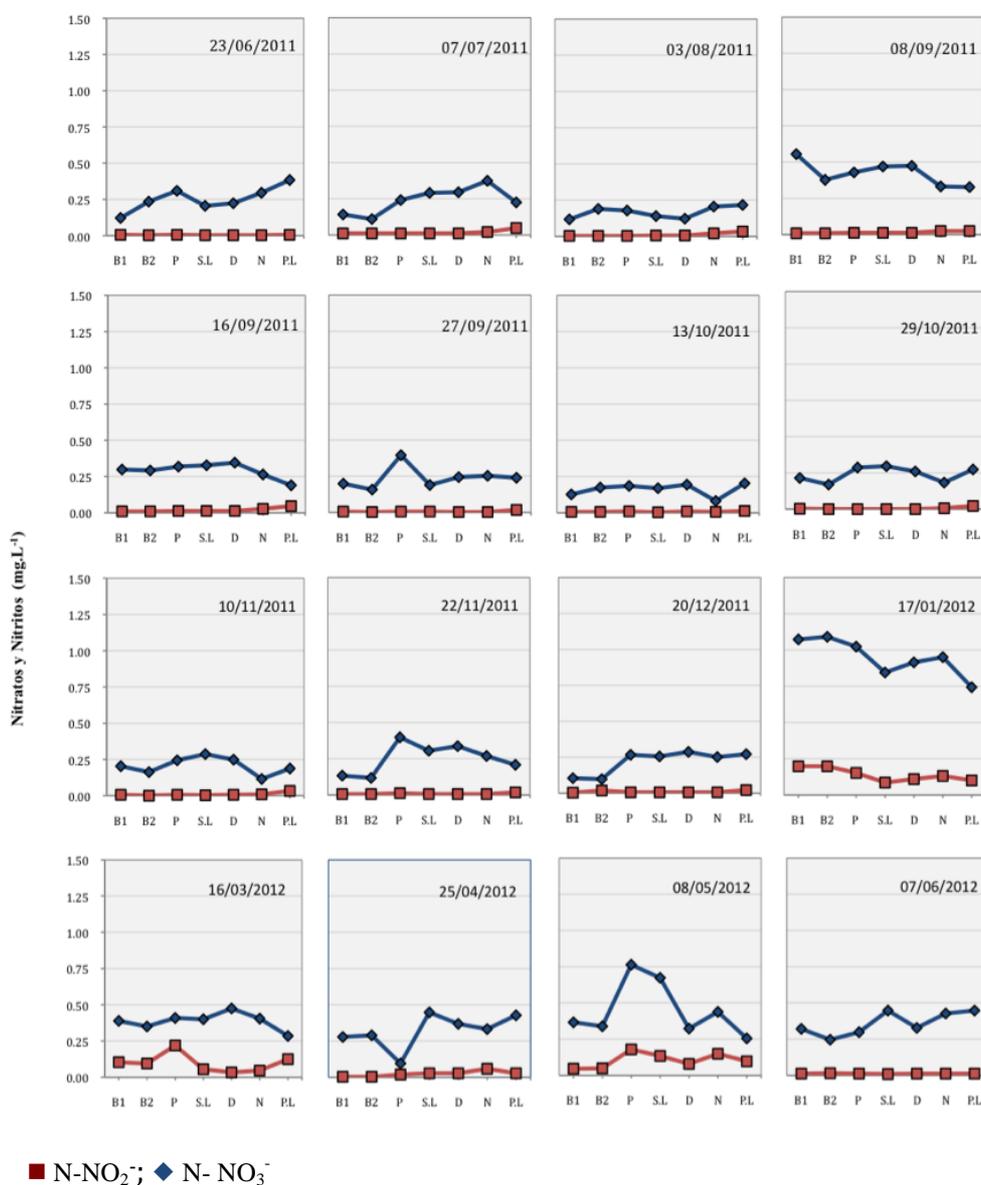


Figura 26, valores de nitratos como N-Nitrato y N-Nitrito muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

7.3.6 Fosfatos

La mayor cantidad de fósforo que ingresa a los cuerpos hídricos es a partir de los suelos, que inicialmente esta en forma de partículas no disueltas y luego se convierte en fosfato a partir de lo cual podrán disponer de él los organismos acuáticos. En la mayor parte de los sistemas acuáticos el fósforo está considerado como el elemento limitante para que se inicie la eutrofización.

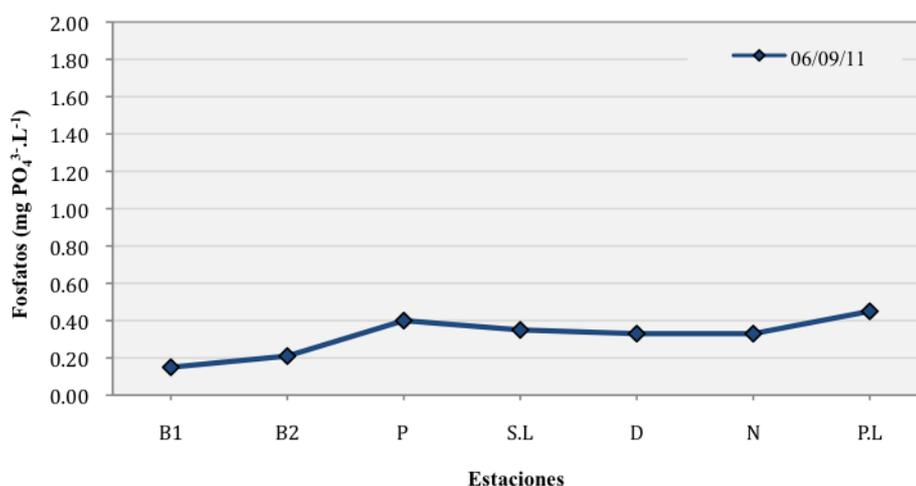


Figura 27. Concentraciones de fosfatos, muestreo de aguas del 09/06/2011

En la figura 27 indican las concentraciones de fósforo determinadas como mg de PO_4^{3-} , los valores para este muestreo van desde 0,15 hasta 0,45 mg de PO_4^{3-} . en la legislación del Ecuador al momento no existen valores referenciales para este parámetro. La figura 28 muestra las concentraciones determinadas para éste parámetro, los valores van desde no detectados hasta 1.85 mg de PO_4^{3-} , siendo 0,38 el valor promedio. De las figuras presentadas se puede ver que no existe patrón determinado de variabilidad estacional, en la época de verano se ve una leve tendencia de incremento aguas abajo, para la época invernal se pueden observar incrementos de los niveles de concentración de los fosfatos desde la estación de Palestina hacia la del Puente Lucía.

Los valores de concentración de $\text{PO}_4^{3-} \geq 1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, representan el 4,5% de las mediciones realizadas para este parámetro.

Son diferentes los valores límites de fosfatos establecidos por diferentes normas, pero es muy importante para cada caso considerar la información de datos reales que reflejen las realidades de los cuerpos de agua, por esta situación muchos ríos que son ricos en nutrientes, son generalmente de buena calidad biológica, sobre todo si no tiene entradas de fuentes puntuales que sean importantes [282]. En el caso del río Daule se puede ver que existen algunos valores mayores al referencial de 0,94 mg de PO_4^{3-} establecidos por CEE/75/440 como promedios moderados.

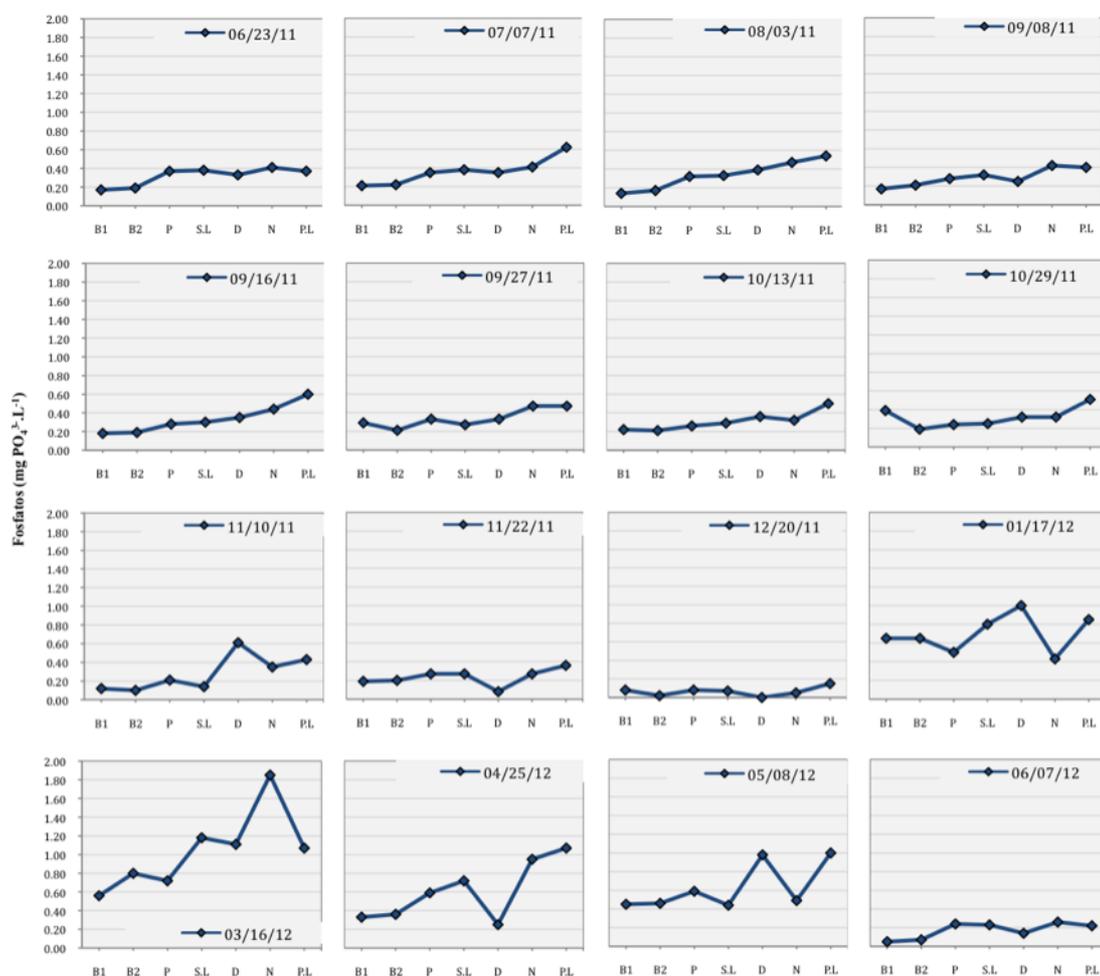


Figura 28. Concentraciones de fosfatos, muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

7.3.7 Demanda bioquímica de oxígeno

De manera general las aguas naturales presentan rangos de DBO_5 inferiores a $2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, y cuando la aguas presentan contaminación de tipo antrópico los niveles son mayores a $10 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$. La demanda bioquímica de oxígeno determinada en el presenta estudio como DBO_5 en aguas del río Daule dan resultados variables que van desde 1,0 hasta $60,0 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$.

De las 112 mediciones realizadas, solo el 3,5% se encuentra entre valores de menor a $2 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, un 54,4% esta en valores $6 < BDO_5 \leq 30$ y 42,0% en el rango de $30 < BDO_5 < 54$, es decir que el 96% de las mediciones realizadas para este parámetro se encuentran sobre los criterios de aceptabilidad.

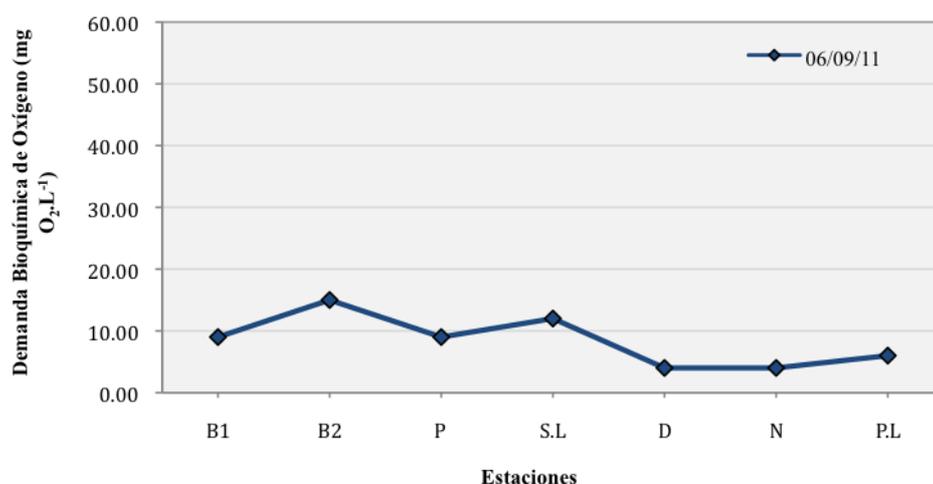


Figura 29. Resultados de DBO, muestreo de aguas del 09/06/2011

Las figuras 29 y 30 nos indican que en términos generales que la DBO₅ se incrementa en dirección aguas abajo, pero también se puede ver que esta tendencia no es continua lo cual esta relacionado con los aportes de aguas residuales urbanas que se hacen a lo largo del río Daule a traves de todo el tramo del estudio, también se evidencia que en los muestreos de marzo, abril y mayo la DBO₅, ligeramente tiende a disminuir lo cual se produce por efecto de dilución dado que esos meses están dentro de la época invernal, que sin embargo los valores están por sobre los niveles refernciales, la DBO₅ indican la contaminación causada por la poblaciones ribereñas al no contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales que afecta la calidad del agua del río.

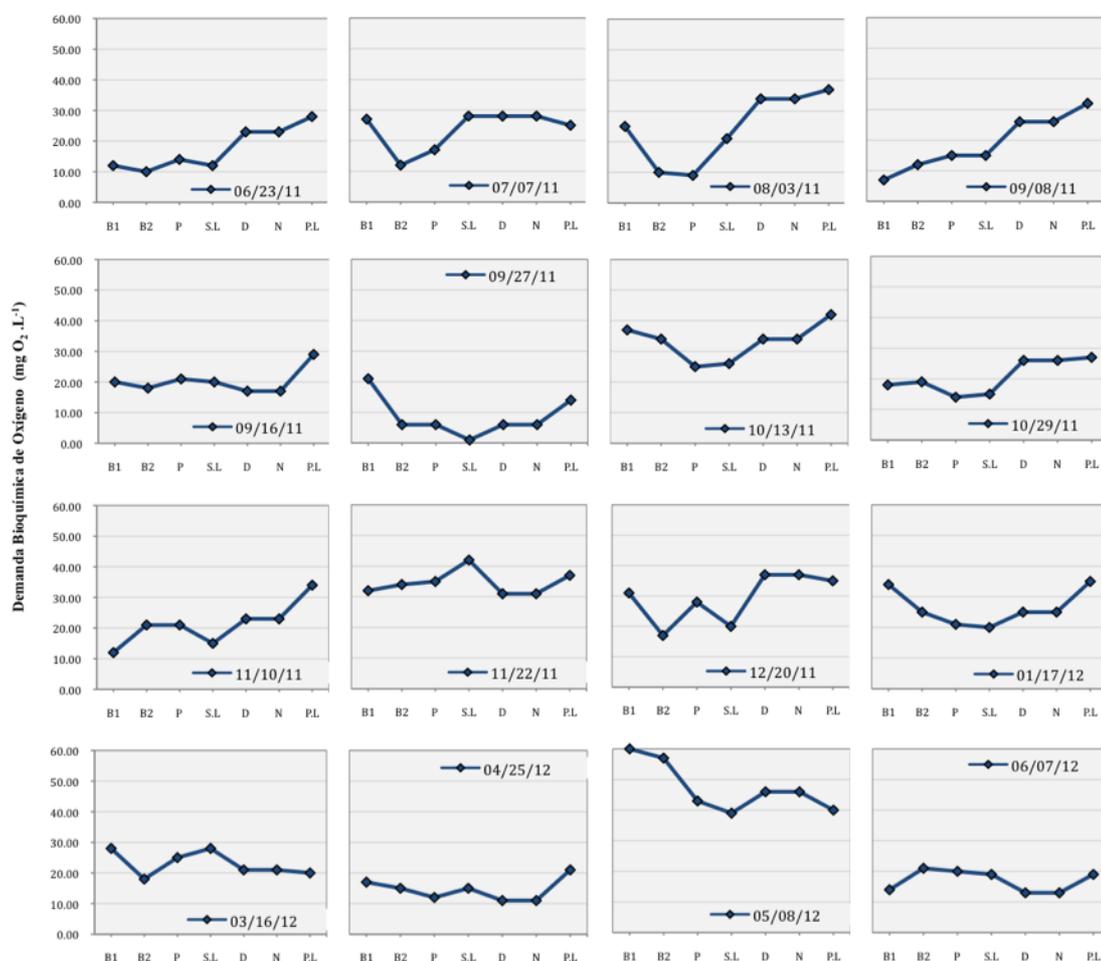


Figura 30, Niveles de la Demanda Bioquímica de oxígeno muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

7.3.8 Turbidez

En la figura 31 muestra los niveles determinados para el muestreo realizado en julio del 2011 que esta dentro de la época seca, los valores van desde 24,80 hasta 76,00 UTN (unidades de turbidez nefelométricas), que son valores moderados de turbiedad.

Los máximos valores de turbiedad determinados en todos los muestreos fue de 461 UTN, aunque en ciertos momentos en época de lluvias puede ser de hasta 1.000 UTN. Los resultados obtenidos de las mediciones de la turbidez, se presentan en la tabla 31 y 32, de todas las mediciones realizadas el valor más bajo fue de 10,20 en el sitio Balzar 2 en época de verano y el valor más alto de 461 UTN fue en noviembre de 2011 en la estación Puente Lucía. .

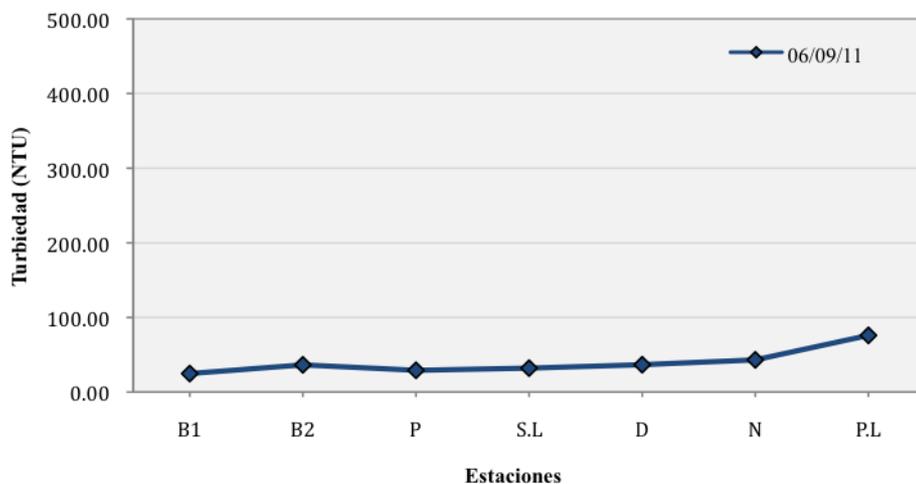


Figura 31. Niveles de turbidez muestreo de aguas del 09/06/2011

De las figuras también se establece que los valores más altos de turbidez se producen en la época invernal, estableciéndose una variación temporal esperada, ya que las lluvias van a transportar partículas sólidas de los suelos erosionados. De los datos la figura 32 se puede observar que se presentan incrementos de turbidez desde las estaciones Daule, Santa Lucía en dirección a la estación de Puente Lucía, lo cual se encuentra relacionado con los afluentes que recibe el río Daule en dichas zonas, así también se establece que en las estaciones Balzar1 y Balzar2 se determinan los niveles más bajo de turbiedad lo cual se da con mayor intensidad en los meses de verano.

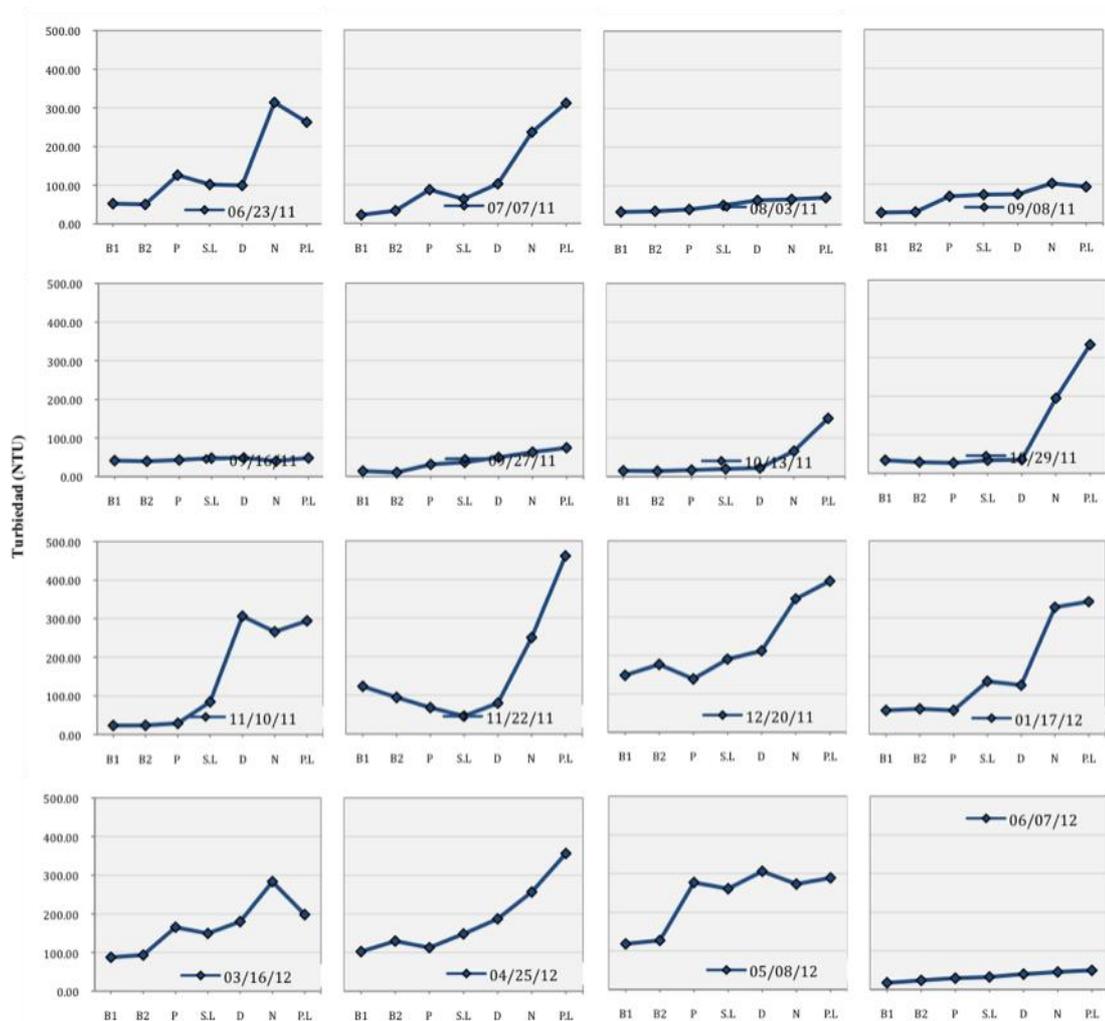


Figura 32. Niveles de turbidez muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

El promedio de turbiedad es de 107,2 UTN. En las figuras se puede establecer que la turbiedad tiene variabilidad espacial, la cual esta dada por el incremento en verano aguas abajo.

7.3.9 Sólidos suspendidos, disueltos y totales

Debido a las intensas lluvias se produce el lavado natural de los suelos desprendiéndose cantidades apreciables de sólidos, durante los meses de invierno el río Daule tiene caudales que sobrepasan los $1.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, y la corriente del río es muy fuerte, lo que hace que el río arrastre una gran cantidad de diferentes tipos de partículas sólidos en su cauce, adicionalmente los ríos aportantes del río Daule contribuyen a un incremento de los sólidas presentes en las aguas.

Los sólidos suspendidos en época de invierno como se puede apreciar en las figuras 32 y 33 presentan valores muy variables, que van desde 4 mg.L⁻¹ en la estación Palestina, en el mes septiembre del 2011 (época de verano), el máximo valor es de 564 mg.L⁻¹ que se da en la estación Nobol en el mes de marzo que corresponde a la época invernal.

De manera general de acuerdo a las figura antes indicadas, para este parámetro se dan variaciones temporales y espaciales, se observa un incremento de los sólidos suspendidos en el sentido aguas abajo en época de verano, y en época de invierno los incrementos son más intensos por las lluvias.

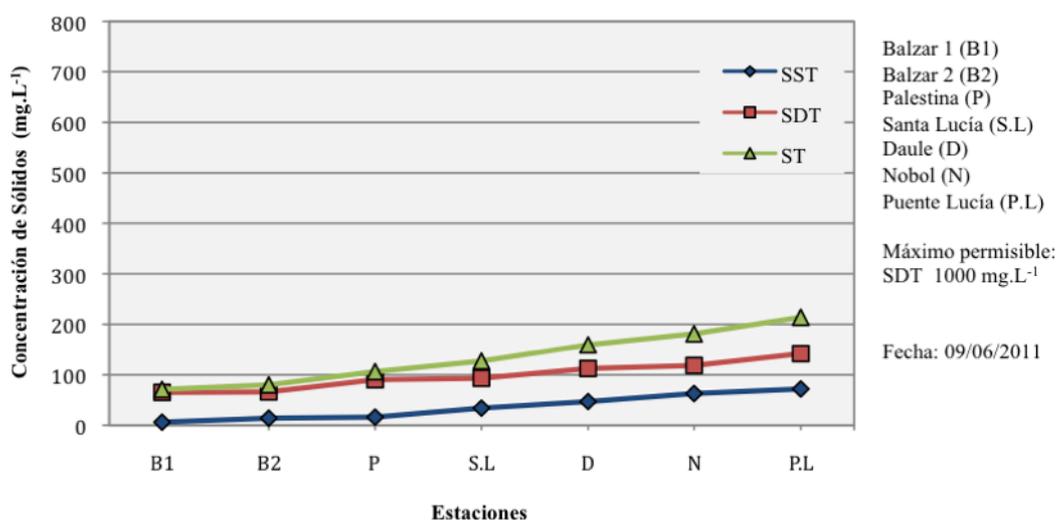


Figura 33. Concentraciones de sólidos muestreo de aguas del 09/06/2011

En cuanto a los sólidos disueltos totales, los resultados obtenidos de éste parámetro presentan valores que van desde de 53,39 mg.L⁻¹ que es el valor mínimo determinado en el sitio Balzar2 (época de verano), hasta un máximo de 148,5 mg.L⁻¹ en el sitio Puente Lucía (época de invierno), el promedio de las determinaciones es de 84,07 mg.L⁻¹, valor que se encuentra dentro de los valores referenciales y según [283] el promedio de sólidos disueltos totales para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm.

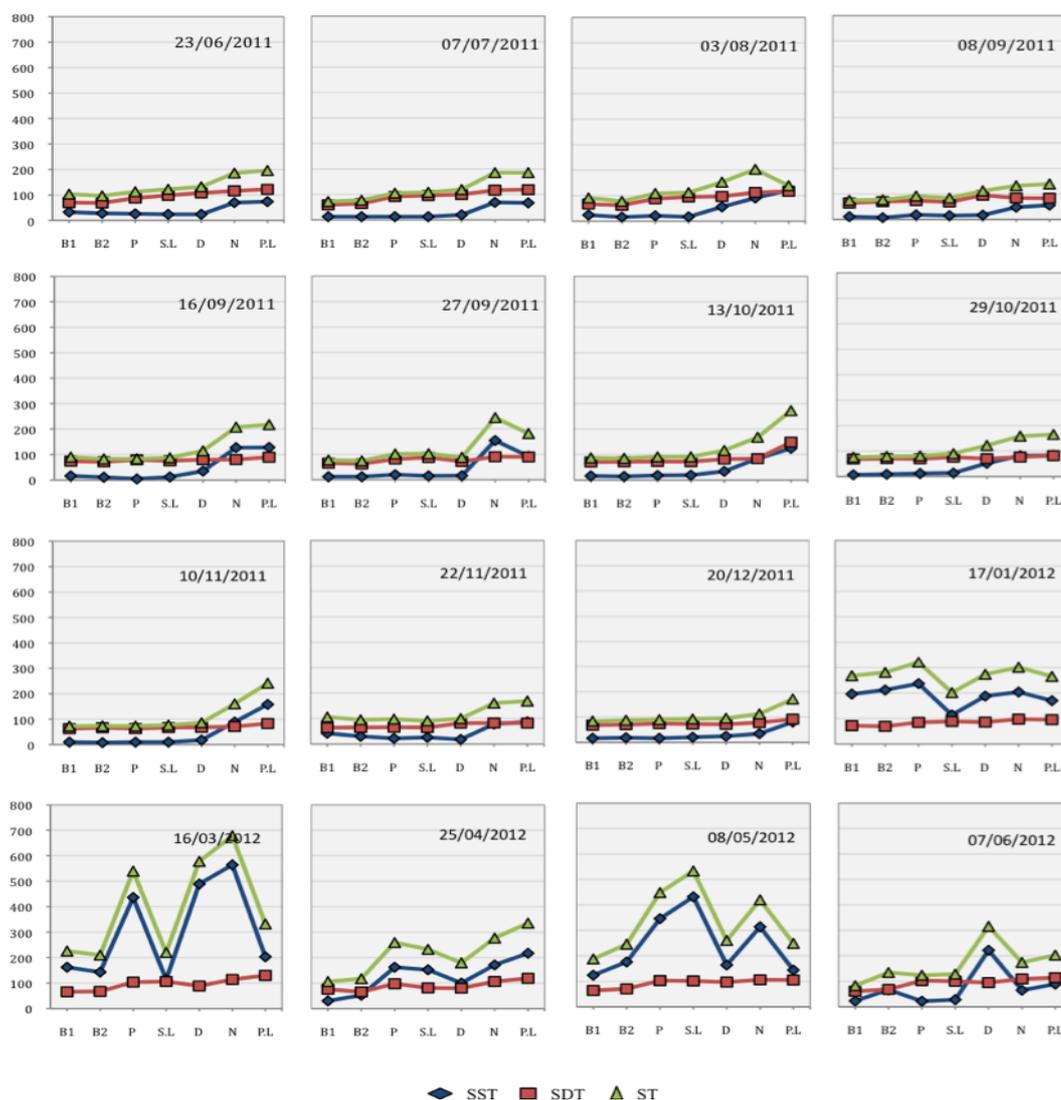


Figura 34. Concentraciones de sólidos muestreo de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

Para los sólidos disueltos en las figuras 33 y 34, se observa variabilidad espacial para los sólidos disueltos, dado que en la mayoría de los muestreos aguas abajo se nota un incremento de los valores promedios de sólidos disueltos por estaciones en mg.L^{-1} indicados a continuación: Balzar1 67,09; Balzar2 67,69; Palestina es 83,75; Santa Lucía de 84,42; Daule de 85,74; Nobol de 95,39; y Puente Lucía de 104,41.

En los meses de marzo, abril mayo e incluso en el mes de junio del 2012 se aprecia un incremento de los niveles de los sólidos disueltos, lo cual es producto de las lluvias, los valores determinados en el río Daule son similares a lo determinado en otros estudios como en el río Orinoco por [284].

Con respecto a los niveles de sólidos totales en las figuras se establece una variación espacial muy pequeña, notándose un ligero incremento en la estación Puente Lucía, como es obvio en la época invernal los sólidos totales presentan incremento debido a las intensas lluvias propias de la estación en la región.

7.3.10 Sulfatos

En la figura 35, se presentan los datos que corresponde al primer muestreo realizado, los niveles de sulfatos determinados van desde 2,35 hasta 12,56 mg.L⁻¹, las concentraciones del ion sulfato determinados, indican que los valores más pequeños de ion se dan en las primeras estaciones que son Balzar1 y Balzar2 y las más altas concentraciones en la estación Puente Lucía.

De los valores determinados en todos los muestreos el valor más bajo se ubica en junio de 2011 (verano) en el sitio Balzar2 con una concentración de 2,21 y el valor más alto fue registrado en la estación Santa Lucía en marzo del 2012 (invierno) de 40,25 mg.L⁻¹, el promedio general de todas las determinaciones del sulfatos es de 14,28 mg.L⁻¹.

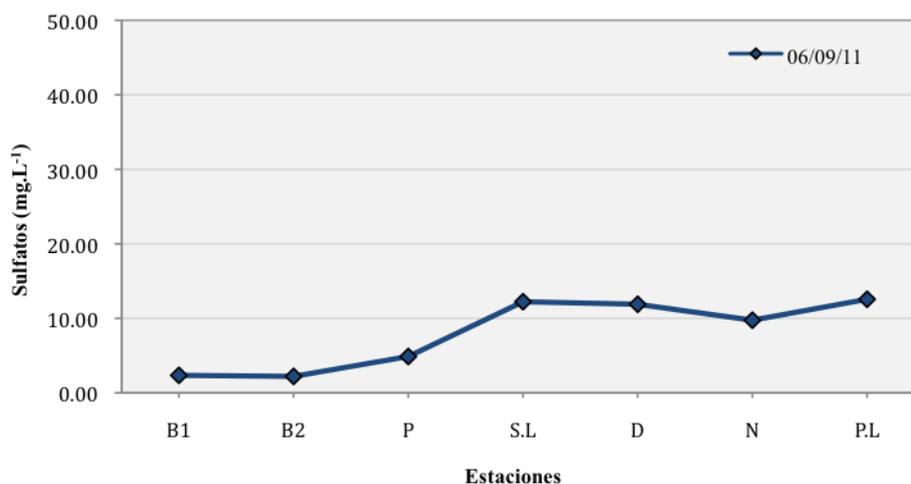


Figura No. 35. Concentraciones de sulfatos en aguas del 09/06/2011

La tendencia de variación espacial se da en sentido de la corriente aguas abajo, las concentraciones promedios en los sitios Balzar1 y Balzar2, son de 3,73 mg.L⁻¹ y ; 3,79 mg.L⁻¹ respectivamente, que luego tal como se visualiza en la figura 36, se

incrementa en los sitios Palestina y Santa Lucía hasta un promedio de 15,87 mg.L⁻¹ y 19,06 mg.L⁻¹ respectivamente, para luego disminuir un la concentración a un promedio a 13,71 mg.L⁻¹ en el sitio de la estación Daule y finalmente incrementarse en los sitios de las estaciones Nobol y Puente Lucía a 19,56 y 24,21 mg.L⁻¹.

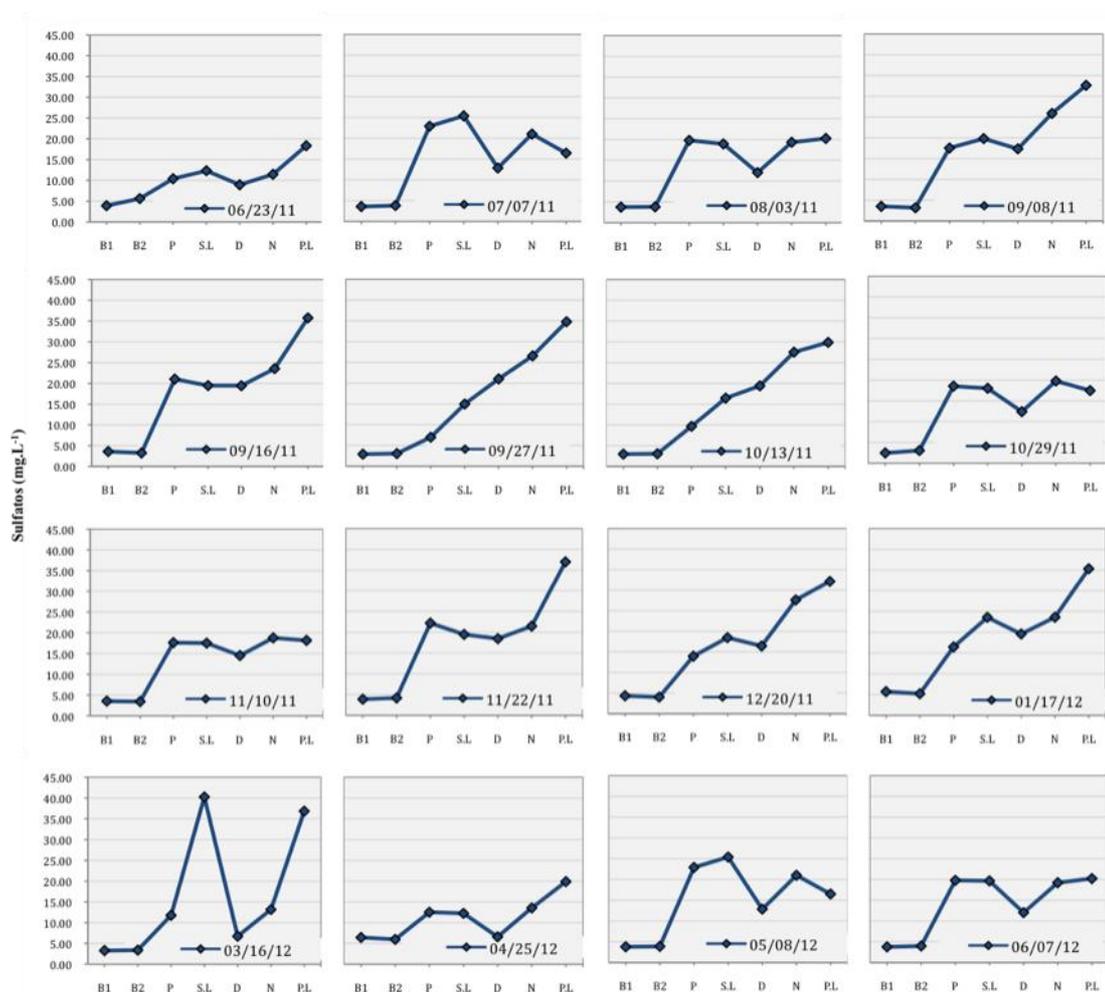


Figura No. 36. Resultados de sulfatos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

7.3.11 Iones metálicos mayoritarios

Los iones metálicos como: calcio, magnesio, sodio y potasio, son considerados como cationes mayoritarios en las aguas de ríos. En la figura 37 se muestran los resultados del muestreo correspondiente al 9 de junio del 2011 en la que se observa, la tendencia de los iones Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺ y K⁺, a incrementar sus niveles de concentración

en el sentido aguas abajo, y que las concentraciones de Ca y Mg son bastante similares entre si, en datos obtenidos en los demás muestreos se confirma esta tendencia. Para los iones Mg^{2+} y Na^+ las concentraciones son menores, pero también se puede apreciar que las diferencias concentraciones de ellos es bastante pequeña, y como en el caso de los iones calcio y sodio, la tendencia se mantiene en todos los muestreos realizados.

Los resultados obtenidos de los análisis realizados para el ion calcio en el río Daule presentan concentraciones que van desde $4,50 \text{ mg.L}^{-1}$ hasta $15,00 \text{ mg.L}^{-1}$ éste ultimo dado en la estación Daule.

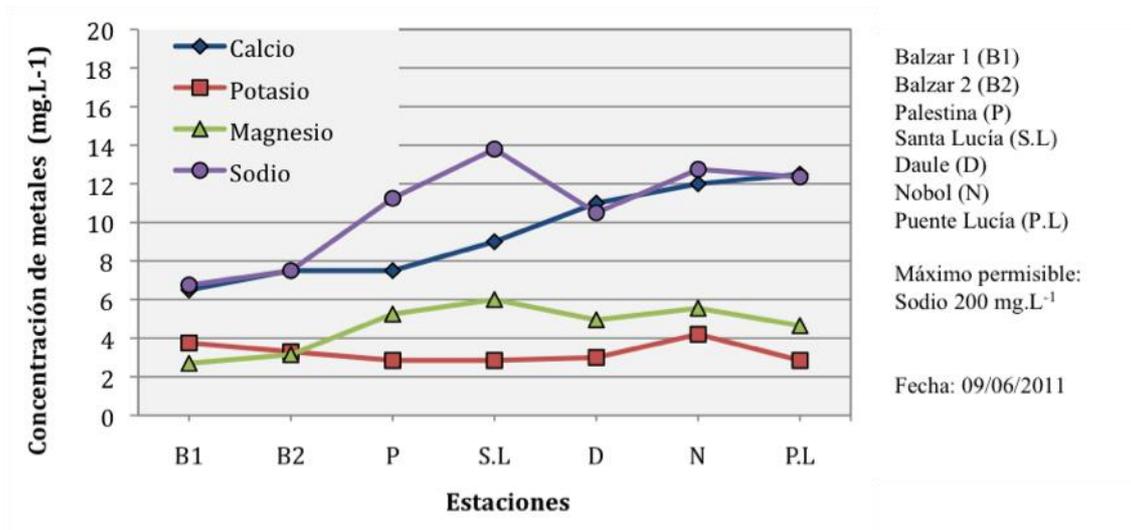


Figura No. 37. Concentraciones de cationes mayoritarios en aguas, 09/06/2011

Los datos de la concentración promedio de todos los muestreos realizados del calcio fue de $9,76 \text{ mg.L}^{-1}$. Los valores promedios más bajos por estación se registraron en los sitios Balzar1 y Balzar2 con concentraciones de $6,71$ y $6,88 \text{ mg.L}^{-1}$ respectivamente, el valor promedio más alto por estaciones se da en la estación Puente Lucía en la que se observó el valor de $12,00 \text{ mg.L}^{-1}$, evidenciando de esta manera el aporte de estos iones que recibe el río a lo largo de su curso del salvo pequeñas diferencias en concentraciones. En las figuras 37 y 38 se puede observar que la variabilidad espacial del río Daule que se da en sentido aguas abajo, en época invernal también se produce el incremento de las concentraciones del ion calcio.

Para el sodio (Na), los valores de éste ion van desde 6,45 mg.L⁻¹ registrado en la estación Balzar1 en mayo del 2012, que es el valor más bajo determinado, hasta la mayor concentración que fue determinada en la estación de Palestina en julio del 2012 y correspondió a 14,60 mg.L⁻¹. El valor promedio para todas las mediciones de este catión en las aguas del río Daule esta en 9,95 mg.L⁻¹, la legislación del Ecuador establece un máximo permisible de 200 mg.L⁻¹ de sodio, las concentraciones obtenidas en este estudio están por debajo de los valores referenciales.

Las concentraciones de sodio en los diferentes muestreos realizados muestran una tendencia de incremento de las concentraciones en sentido de la corriente aguas abajo tal como se aprecia en las figuras 37 y 38, éste comportamiento también se lo observa de manera temporal, dado que en los muestreos tanto de verano e invierno las concentraciones aumentan.

Las concentraciones promedio de sodio por estaciones comparadas con las del calcio, presentan muy poca diferencia, en los sitios Balzar1 y Balzar2 los promedios de concentración de sodio son mayores a las concentraciones promedios de calcio, en las restantes estaciones las concentraciones promedios de calcio son superiores a los promedios de sodio pero en menos de 1 mg.L⁻¹.

En muchos estudios realizados, se ha observado que las concentraciones del ion calcio son predominantes a las concentraciones de sodio [285-286]. Sin embargo otros estudios han señalado al ion sodio como predominante sobre los demás cationes mayoritarios en aguas de ríos [287].

Para el ion magnesio, los valores van desde 1,95 hasta 20 mg.L⁻¹, la concentración para promedio de todos los muestreos realizados fue de 3,94 mg.L⁻¹, la mayor concentración registrada del ion magnesio fue determinada en la estación Puente Lucía, y el mínimo valor registrado fue en Balzar1, la variación temporal es muy débil ya que el incremento en la concentración de este ion es pequeña, en cuanto a la variación espacial es similar a la temporal, aunque en ciertos muestreos se dan una disminución muy pequeña en la estación puente Lucía en los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2011 y en junio del 2012.

Las concentraciones del ion potasio, como es de esperarse son un poco inferiores

a las concentraciones de los demás iones y sus concentraciones están un poco por debajo de las concentraciones del ion magnesio. Las concentraciones de este ion van desde 1,95 hasta una concentración de 6,15 mg.L⁻¹, y están en un promedio de 3,48 mg.L⁻¹, en las figuras 37 y 38 se puede observar, que de manera similar a las concentraciones de los otros iones se de una leve tendencia de incremento temporal y espacial de las concentraciones de potasio en sentido de la corriente aguas abajo.

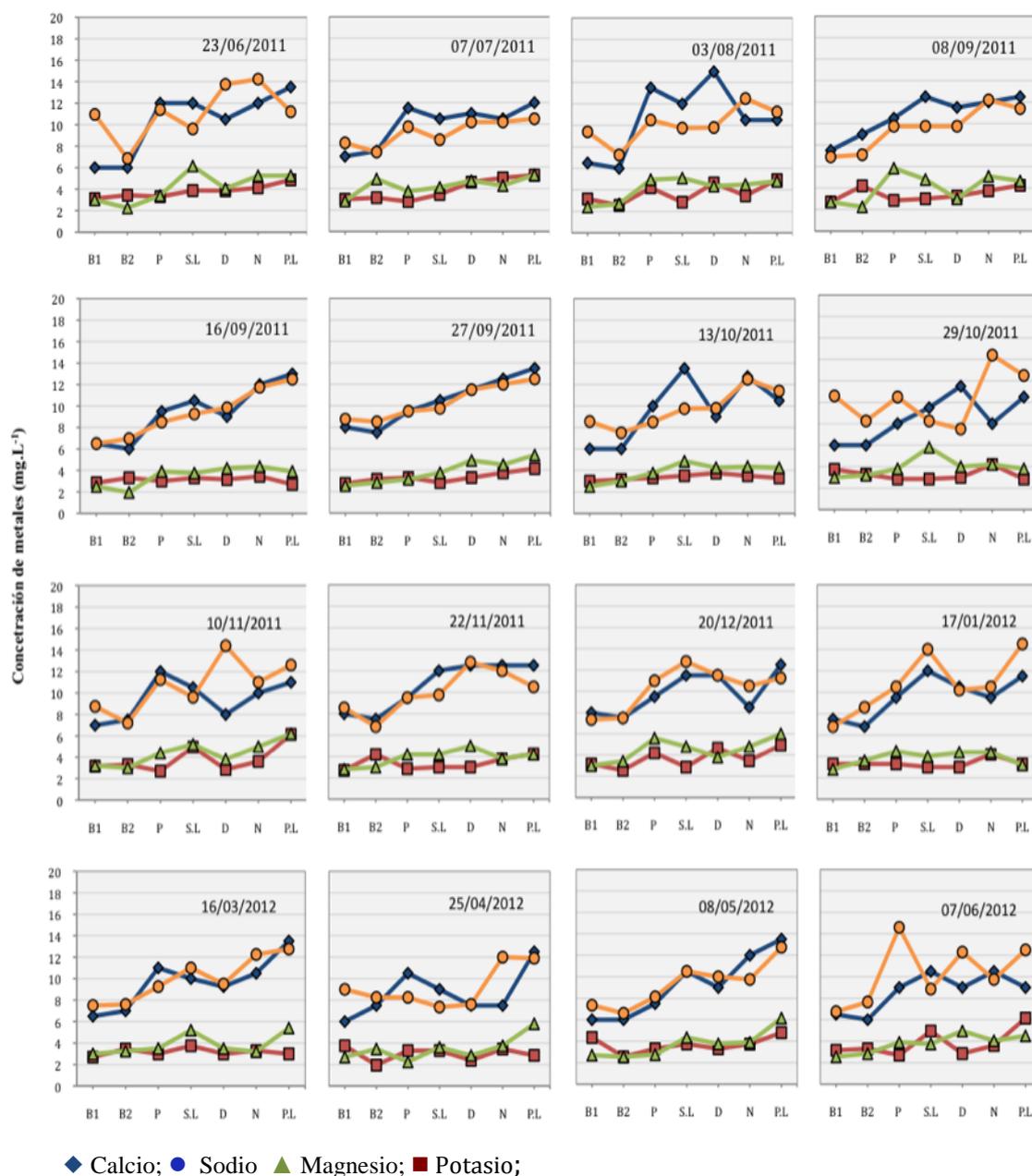


Figura No. 38. Concentraciones de cationes mayoritarios muestreos de aguas del 23/06/11 al 07/07/12

Los promedios de los iones calcio, sodio, magnesio y sodio que en su orden son: 9,76; 9,95; 3,94; 3,48 mg.L⁻¹, se establece que los iones calcio y sodio presentan similares concentraciones, y de acuerdo a estos resultados no hay un ion predominante en las aguas del río Daule ya que la diferencia entre los promedios de calcio y sodio es del orden del 1,90%. Caso muy parecido ocurre entre los iones magnesio y potasio entre los cuales las diferencias de concentraciones prácticamente no son significativas.

7.4 Contaminantes orgánicos en aguas del río Daule

a) Pesticidas Organoclorados

De los 23 pesticidas organoclorados que fueron analizados en las muestras de agua del río Daule, nueve fueron detectados, entre los cuales tenemos: aldrin, dieldrin, endosulfan-sulfate, fenamifos, heptachlor, HCH-Delta, methoxychlor, 1,2-dichloro-4-isocyanato-benzene, 4,4-DDD. En total fueron 15 los muestreos realizados en ocho de ellos se detectó su presencia y corresponden a la época seca del 2011, y en los siete restantes muestreos no se detecto la presencia de los antes indicados pesticidas. En la figura 39 se indican los organoclorados determinados.

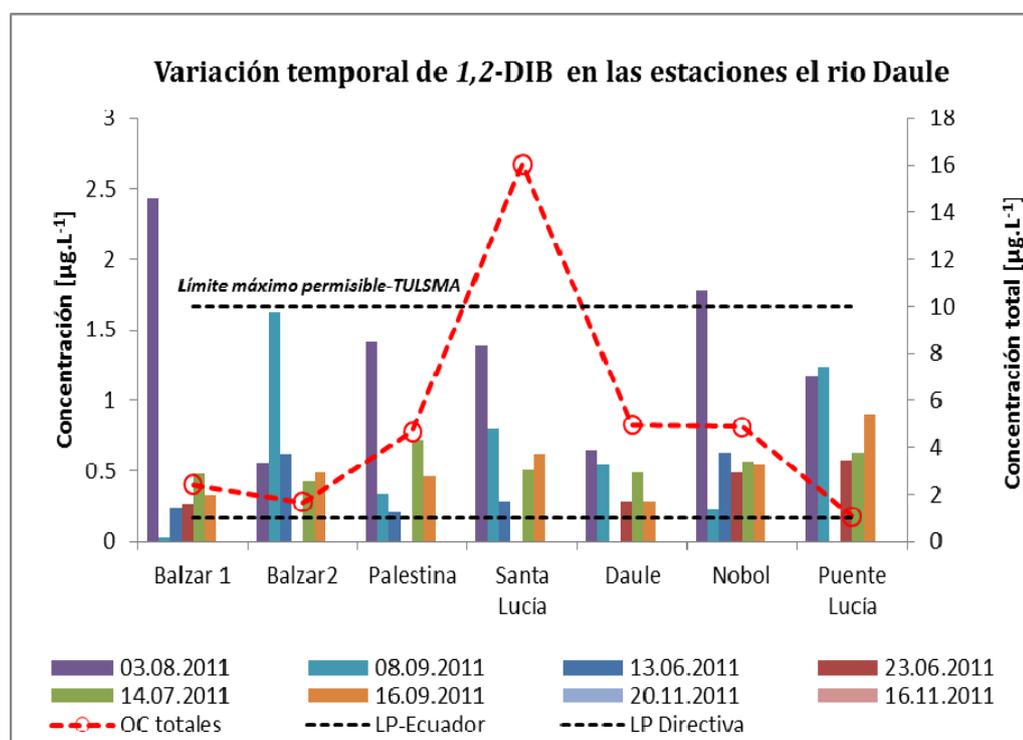


Figura No. 39. Concentraciones totales organoclorados y variación temporal del 2,2-dichloro-4-Isocyanato-Benzene (2,2'DIB) de 06/2011 -06/2012

La más alta concentración de pesticidas organoclorados totales por muestreo se registró es de $16,040 \mu\text{g.L}^{-1}$, indicado en la figura 39 concentración que si se encuentra sobre el límite referencial fijados como máximo permisible por la legislación del Ecuador. En los meses septiembre, noviembre y diciembre y junio de 2011, en su orden se obtuvieron concentraciones de organoclorados totales de 4,660, 4,955, 4,877, 2,412, 2,188 $\mu\text{g.L}^{-1}$, las mismos que están dentro de lo permisible, y en los cuatro restantes muestreos las cantidades fueron inferiores $2,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ y en los dos últimos muestreos la cantidades en concentración fueron menor a $2 \mu\text{g.L}^{-1}$. La estación en la que más frecuentemente fueron detectados los pesticidas fue la de Puente Lucía en la cual en diferentes fechas fueron detectados todos los pesticidas indicados.

Los organoclorados que mayor número de veces fueron detectados son: el 2,2-dichloro-4-Isocyanato-benzene, con un total en 37 ocasiones con valores de hasta $2,429 \mu\text{g.L}^{-1}$ que es el más representativo indicado en la figura 39, luego el 4-4'-DDD en 23 ocasiones, el Aldrin, metoxychlor, y endosulfan sulfate fueron detectados 2 veces cada uno de ellos, y los demás una vez.

b) Pesticidas Organofosforados

Para el caso de los pesticidas organofosforados, solo en 3 de los 15 muestreos llevados a cabo se determinó la presencia de estos contaminantes, de los 24 organofosforados dos de ellos fueron detectados: Azinphos methyl y azinphos ethyl. En el 2011 en la estación Puente Lucía se determinó el Azinphos ethyl fue detectado en concentraciones de $0,128$ y $0,192 \mu\text{g.L}^{-1}$ en las estaciones de Balzar1 y Balzar2, y en las estaciones de Balzar2, Santa Lucía y Daule se detectó el azinphos metil en concentraciones de $0,373$; $0,373$ y $0,378 \mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente.

c) Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

La presencia de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) fue detectada en todas las muestras de aguas que corresponden a las 14 series de muestreos y en todas las fechas en las que se llevo a cabo el presente estudio, de los 16 HAPs analizados que la agencia USEPA recomienda analizar, 12 han sido detectados en las aguas del río Daule: antraceno, acenafteno, benzo(a)Antraceno, benzo(g,h,i)pirileno, benzo(a)pireno, criseno, fluoreno, Indeno(1,2,3-cd)Pireno, naftaleno, fenantreno, y pireno.

Los perfiles de las concentraciones de los HAPs determinados en las diferentes fechas y sitios de muestreo se observan en las figuras 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53.

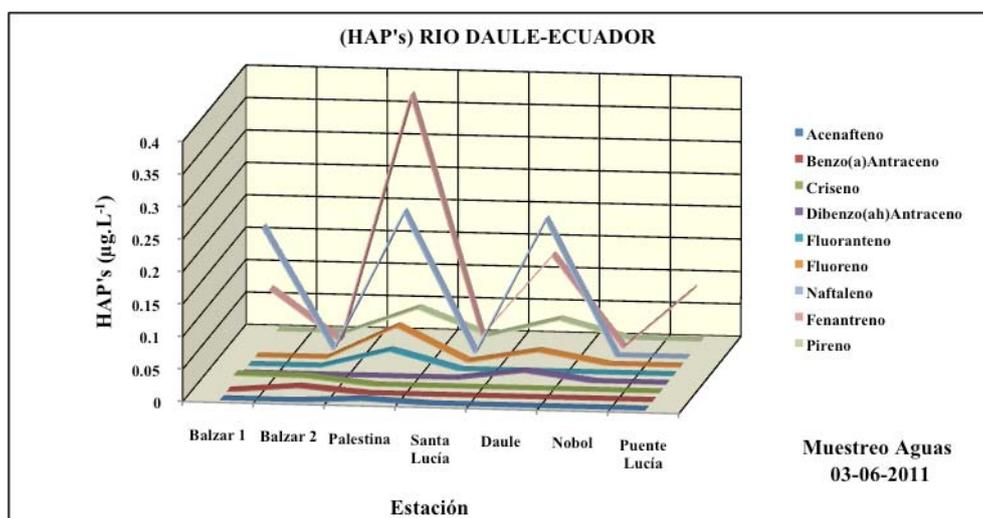


Figura 40: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 03/06/2011

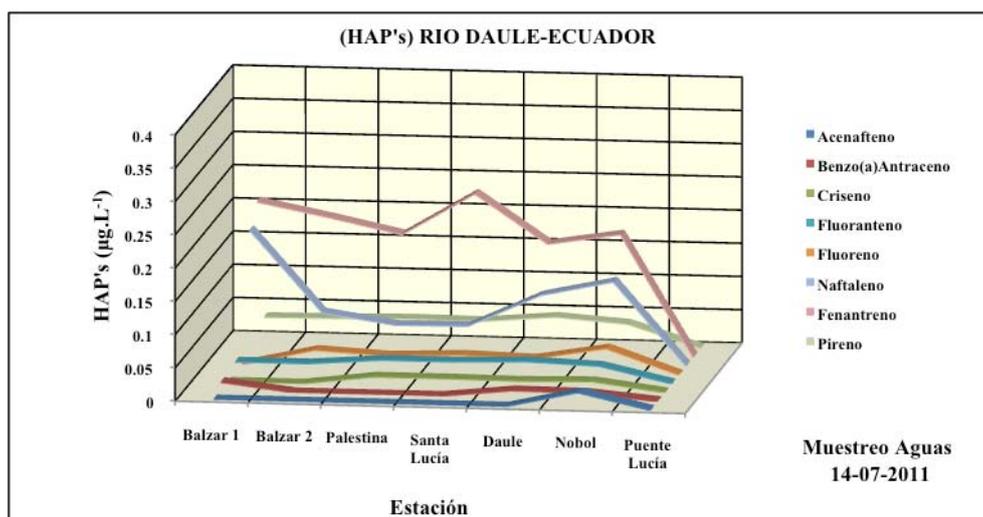


Figura 41: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 14/07/2011

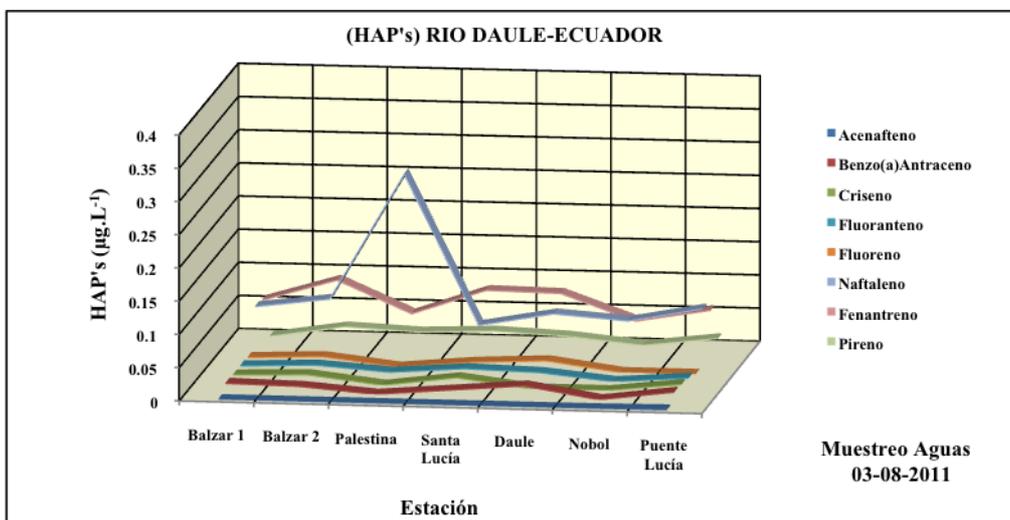


Figura 42: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 03/08/2011

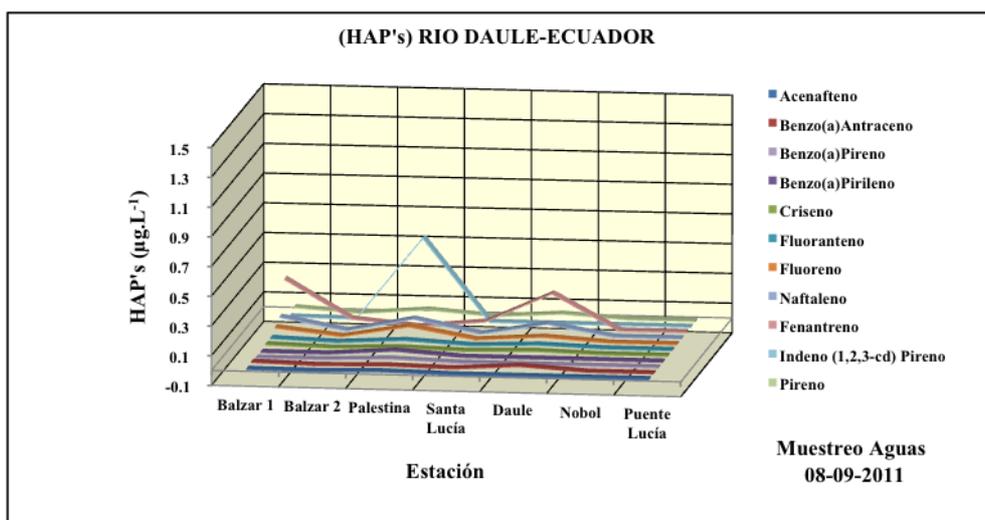


Figura 43: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 08/09/2011

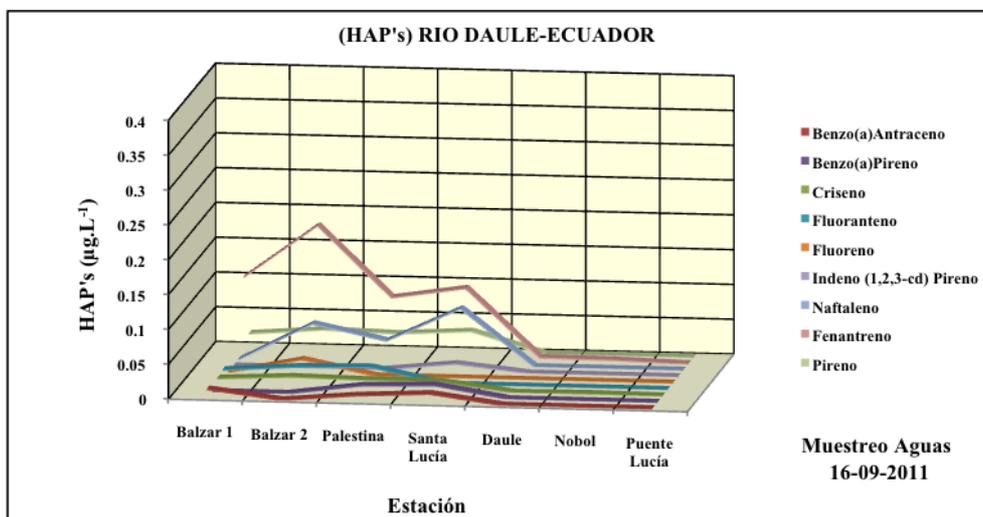


Figura 44: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 16/09/2011

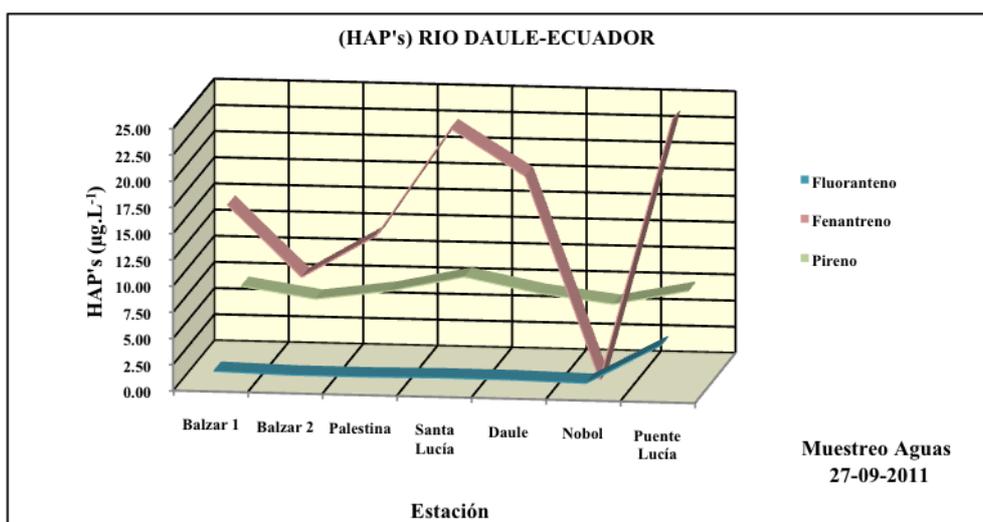


Figura 45: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 27/09/2011

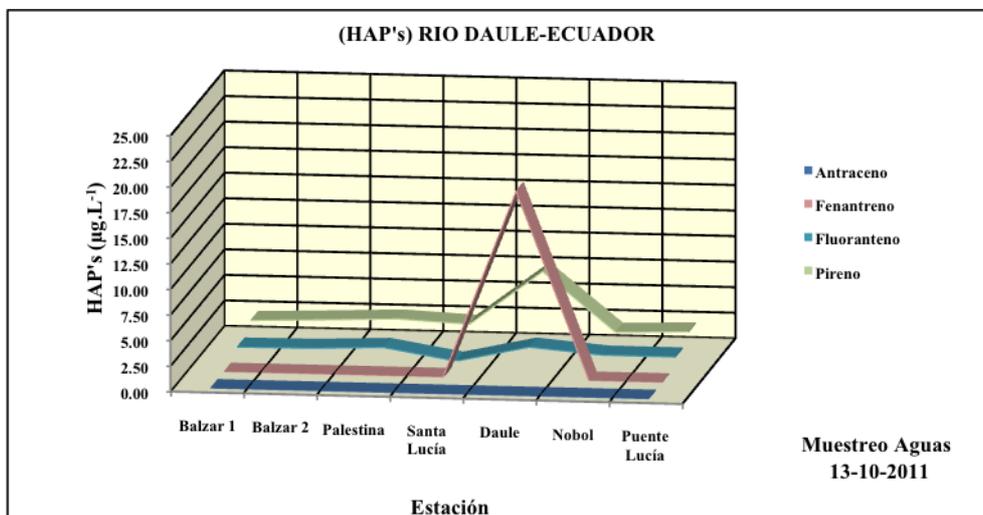


Figura 46: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 19/10/2011

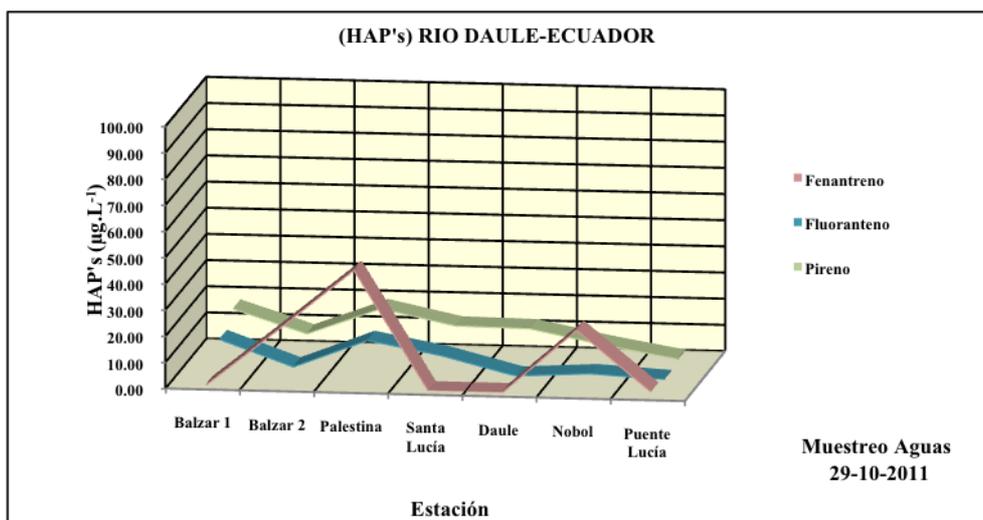


Figura 47: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 29/10/2011

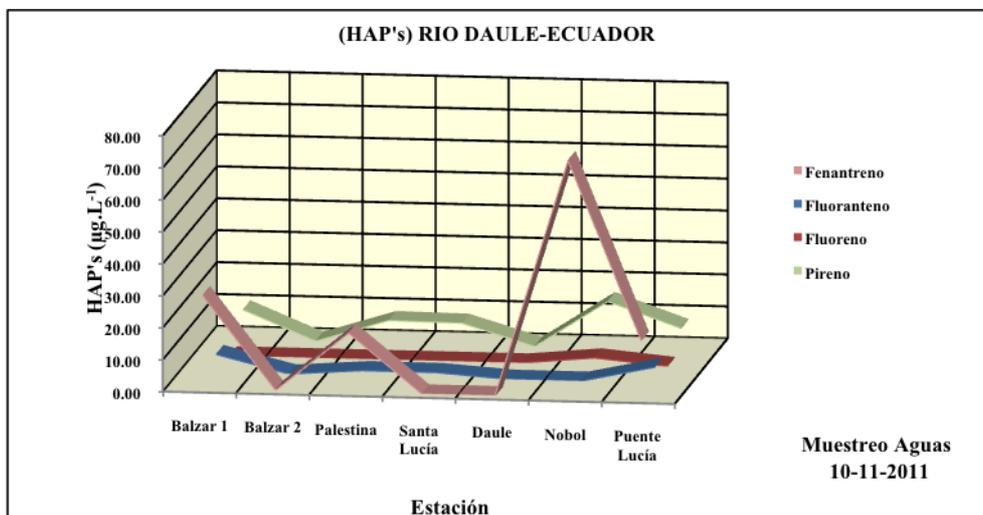


Figura 48: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 10/11/2011

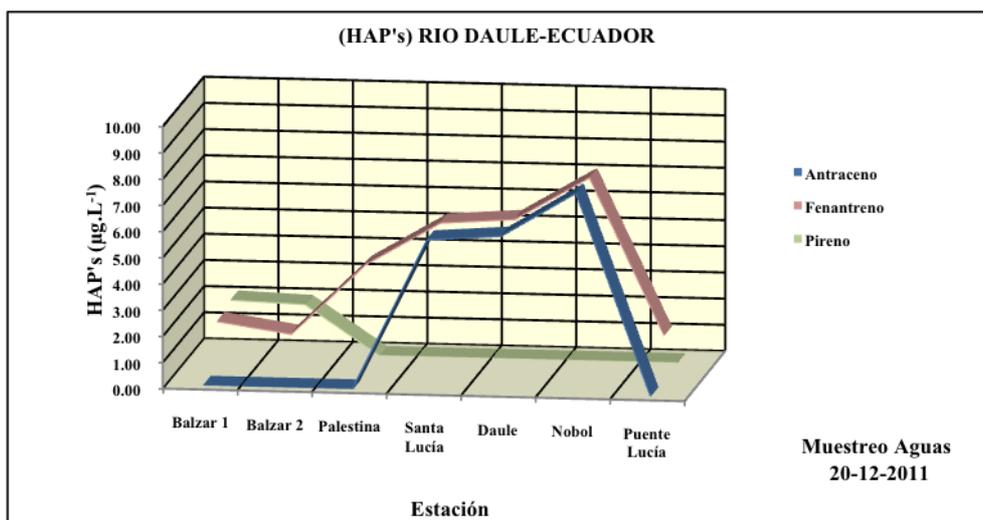


Figura 49: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 20/12/2011

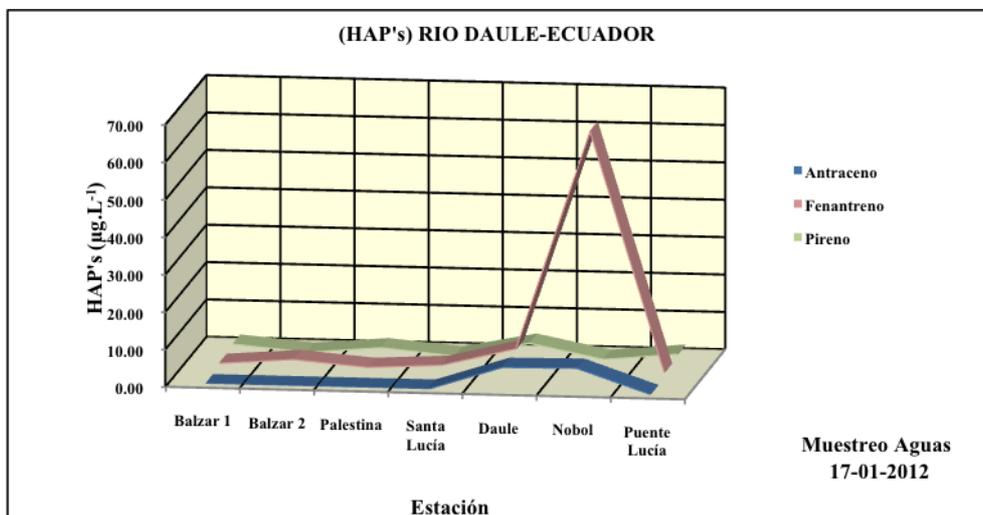


Figura 50: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 17/01/2012

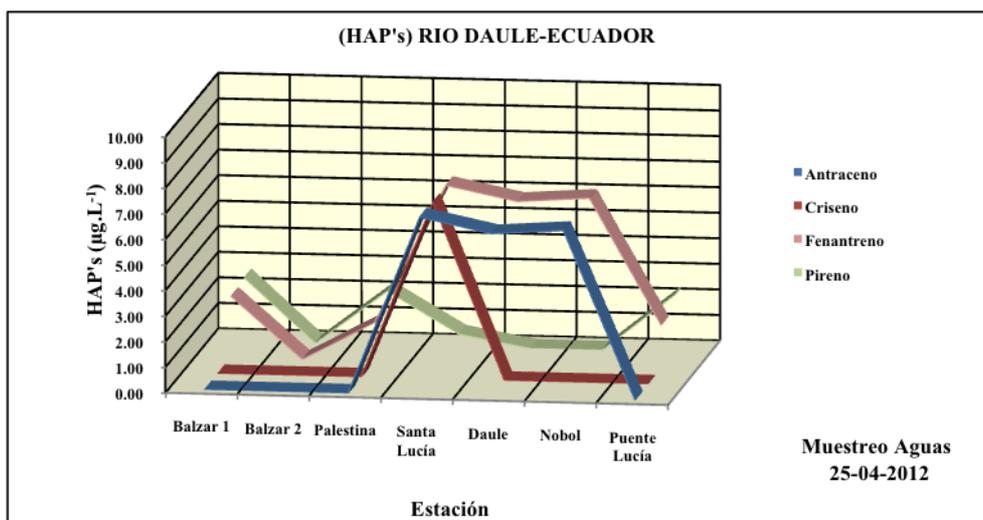


Figura 51: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 25/04/2012

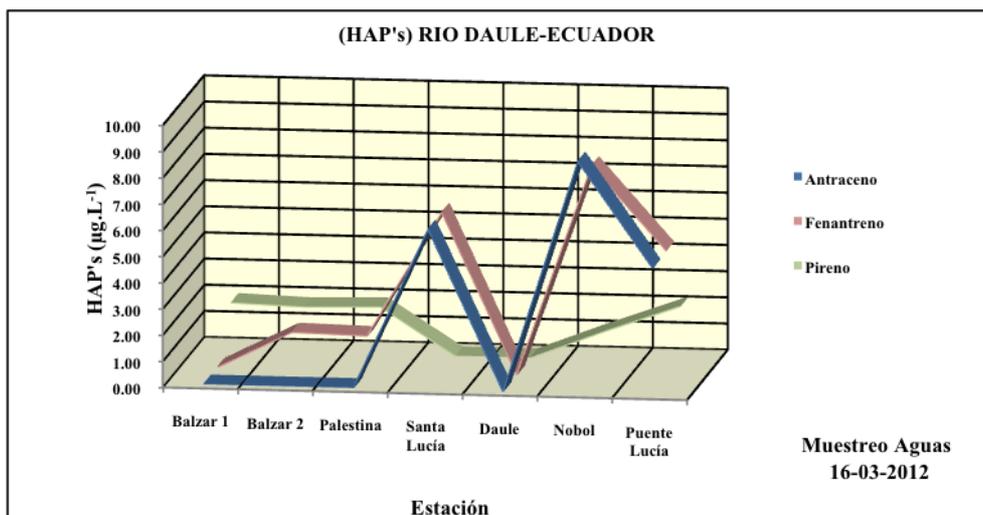


Figura 52: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 16/03/2012

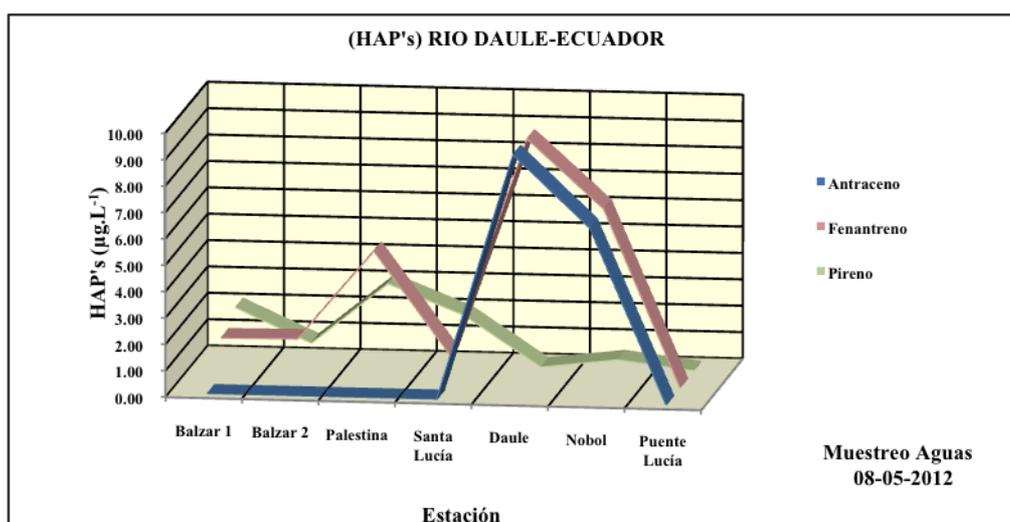


Figura 53: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 08/05/2012

En la tabla No 27 se presentan los tipos de los hidrocarburos aromáticos policíclicos determinados, así como la frecuencia de detección y el rango de concentración de cada uno de ellos, de la tabla podemos observar que el fenantreno, pireno, fluoranteno son los HAPs con mayor número de detecciones, también se puede apreciar que las concentraciones más altas se dan con el fenantreno, pireno, fluoranteno y antraceno. El hecho de haber detectado la presencia de 12 hidrocarburos aromáticos es un indicativo de la existencia de fuentes de contaminación de estos compuestos.

Los valores más altos de concentración posiblemente se deban a varios factores como: escorrentía de aguas contaminadas con hidrocarburos de las calles de las ciudades que están en las márgenes del río Daule y que probablemente escapen de los coches en mal estado, así como de las lubricadoras que no tienen sistemas de atrapamiento de aceites usados, escape de aceite de las bombas de aguas utilizadas en riego para la agricultura, adicionalmente pueden existir otros factores como el de limpieza de vehículos que se las realiza en las orillas del río, combustión de biomasa que realizan los agricultores cuando limpian la tierra de los arbustos y maleza previa a la siembra.

| Compuestos HAPs determinados | Frecuencia de detección | Presencia [%] | Concentración $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
|------------------------------|-------------------------|---------------|------------------------------------|
| Fenantreno | 76 | 77,5 | 0,003-74,020 |
| Pireno | 66 | 67,3 | 0,011- 17,999 |
| Fluoranteno | 41 | 41,8 | 0,006 – 12,235 |
| Naftaleno | 22 | 22,4 | 0,054 – 0,215 |
| Criseno | 19 | 19,4 | 0,001- 0,015 |
| Fluoreno | 15 | 15,3 | 0,009 – 2,125 |
| Benzo(a)antraceno | 15 | 15,3 | 0,009 – 0,028 |
| Antraceno | 13 | 13,3 | 4,835 – 9,346 |
| Acenafteno | 5 | 5,1 | 0,01– 0,024 |
| Benzo(a)pireno | 3 | 3 | 0,014 – 0,017 |
| Indeno(1,2,3-cd)pireno | 1 | 1 | 0,014 |
| Benzo(g,h,i)pirileno | 1 | 1 | 0,031 |

Tabla No 27. HAPs determinados en aguas de río Daule

Las concentraciones de fenantreno en noviembre del 2011 es de $139,864 \mu\text{g.L}^{-1}$, el mayor valor de concentración total para el fluoranteno es de $33,573 \mu\text{g.L}^{-1}$ en octubre del 2011, caso similar de alta concentración se presenta para el Pireno cuya concentración máxima de $44,462 \mu\text{g.L}^{-1}$ de da en noviembre, en los muestreos de diciembre, enero las concentraciones de antraceno son de $19,417$ y $12,874 \mu\text{g.L}^{-1}$, y en abril para el criseno se determina la concentración de $6,905 \mu\text{g.L}^{-1}$.

En la figura 54 se presentan las concentraciones de los HAPs totales por fechas de muestreo y por estaciones, en la que se aprecia que en la estación Nobol se presenta la más alta concentración, seguida de la estación Palestina y Balzar respectivamente.

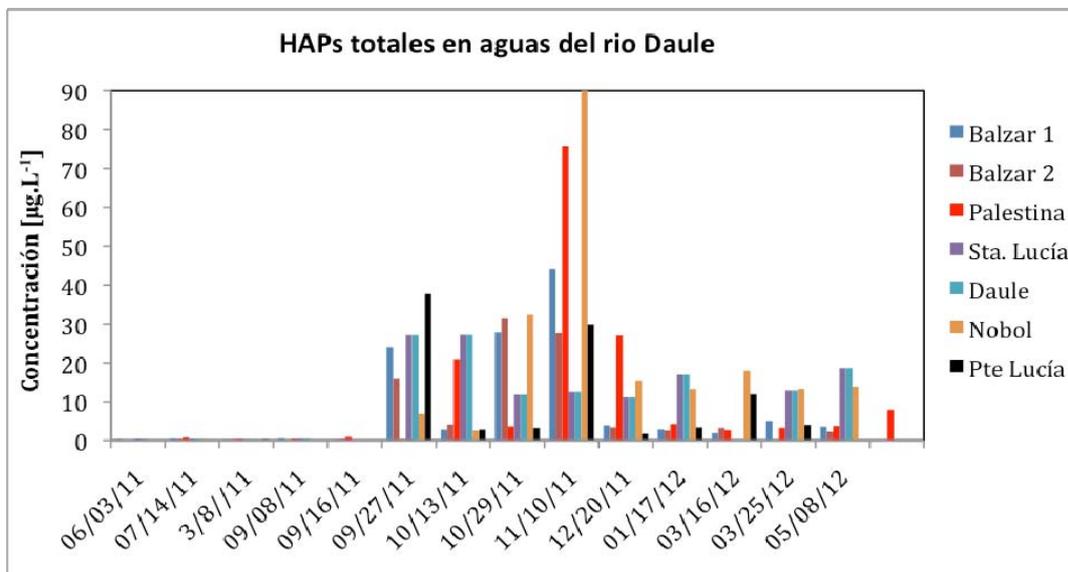


Figura 54. Hidrocarburos aromáticos totales determinados en aguas del río Daule, 06/2011-05/ 2012

La legislación de Ecuador, en el caso de los HAPs solo establece límites máximo permisible para el benzo(a)pireno $0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$. En el BOE Núm. 19 de enero del 2011, sobre las Disposiciones Generales del Ministerio del Medio ambiente, y Medio Rural y Marino, relacionadas a las Normas de Calidad para Sustancias prioritarias y para otros contaminantes Apartado A, de las Normas de Calidad Ambiental, para aguas superficiales continentales, indica como máxima concentración admisible para antraceno $0,4 \mu\text{g.L}^{-1}$, benzo(a)pireno $0,1 \mu\text{g.L}^{-1}$, al respecto cabe indicar que benzo(a)pireno y el criseno son probables cancerígenos.

d) Bifenilos Policlorados

Con respecto a la presencia de bifenilos policlorados (PCBs) en los sitios de estudio, solamente ha sido detectada la mezcla PCB-28+31 en las estaciones Balzar2, Palestina y Daule, cuyas concentraciones totales exceden los límites permisibles, así en el sitio Balzar1 la concentración fue de $0,013 \mu\text{g.L}^{-1}$ y en Palestina de $0,004 \mu\text{g.L}^{-1}$. En un análisis posterior se reportan concentraciones de $0,005$, $0,006$ y $0,006 \mu\text{g.L}^{-1}$ en Balzar1, Palestina, Daule respectivamente. Cabe señalar que en el sitio Nobol no se encontró indicios de estos contaminantes orgánicos.

7.5 Metales Pesados en aguas del río Daule

7.5.1 Arsénico

Los resultados de las determinaciones de arsénico en las aguas del río Daule, están desde no detecciones hasta $5,00 \mu\text{g.L}^{-1}$, los límites referenciales para aguas de consumo de la OMS (Guidelines for Drinking-water Quality 2011 Chapter 8) lo fija en $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ y las normas de Ecuador para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional lo establecen en $50 \mu\text{g.L}^{-1}$. El valor promedio de las mediciones para éste elemento está en $1,15 \mu\text{g.L}^{-1}$. El valor de $5,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ que es el valor más alto detectado para este metal se presenta en la estación Daule en época de verano, el promedio por estaciones más representativo está en la estación Daule con $1,46 \mu\text{g.L}^{-1}$, los promedios de las demás estaciones están por debajo de este valor

7.5.2 Cadmio

Los valores determinados en las aguas del Daule para el cadmio fluctúan entre valores no detectados a $6,70 \mu\text{g.L}^{-1}$, el promedio de todas las determinaciones es de $0,38 \mu\text{g.L}^{-1}$. Las mayores concentraciones para este metal determinadas son: $6,70$; $5,41$; $2,34$; $2,25$, $1,60$; $1,58$ y $1,13 \mu\text{g.L}^{-1}$ para las estaciones de Palestina, Balzar2, Puente Lucía, Santa Lucía, Nobol, Balzar1 y Daule respectivamente. Cabe indicar que el 91,7% de las concentraciones están entre no detectadas y menores a $1 \mu\text{g.L}^{-1}$. Los valores más altos detectados se deberían a un hecho de carácter puntual ya que en los demás muestreos como se ha indicado las concentraciones de cadmio determinadas son bastante pequeñas. Los límites referenciales por la OMS están en $3,0 \mu\text{g.L}^{-1}$, y la legislación ecuatoriana indica un máximo permisible de $10 \mu\text{g.L}^{-1}$.

7.5.3 Cromo

Las determinaciones para el elemento cromo dan como resultados, valores que varían desde no detecciones hasta un máximo valor de $15,85 \mu\text{g.L}^{-1}$, el promedio de los valores determinados está $3,94 \mu\text{g.L}^{-1}$. El valor provisional de referencia para el cromo total indicado por la OMS en la guía de agua potable es de $50 \mu\text{g.L}^{-1}$, este valor es

referencial debido a la incertidumbre en base a datos de toxicología. Los valores promedios por estaciones indican que las más altas concentraciones de cromo están en la estación Puente Lucía, seguida luego por la de Daule, con valores de 4,82 y 4,72 $\mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente. En los meses de invierno la concentración de este metal se ve incrementada, lo cual estaría asociado a las escorrentías provocadas por las lluvias

7.5.4 Cobre

Los valores de las concentraciones de cobre son muy variable e incluyen valores comprendidos entre 0,45 y 31,12 $\mu\text{g.L}^{-1}$, el mayor valor se produce en la estación en la estación Daule, el valor promedio de las determinaciones esta estimada en 6,45 $\mu\text{g.L}^{-1}$, el 21% de las mediciones son superiores al valor promedio. En los meses de enero y marzo e inicios de mayo del 2012 se observan valores promedios mas altos de 12,06, 10,46 y 8,20 $\mu\text{g.L}^{-1}$. La legislación ecuatoriana sobre las concentraciones de cobre establece un máximo permisible de 1,0 mg.L^{-1} , y la OMS en las guías de agua potable de 2,0 mg.L^{-1} , y en esta aspecto las aguas del río Daule están dentro los valores referenciales.

7.5.5 Níquel

Los valores que se han obtenido para el níquel son valores que van desde no detecciones hasta 14,17 $\mu\text{g.L}^{-1}$, el promedio de todas las determinaciones es 2,45 $\mu\text{g.L}^{-1}$, la OMS para agua potable establece un valor de referencia de 70 $\mu\text{g.L}^{-1}$ y la legislación ecuatoriana para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección en 25 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de níquel, de los resultados obtenidos se establece que ninguno del los valores sobrepasa las regulaciones anteriormente citadas. Los valores superiores a 5,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ constituyen el 12,60% de todas las determinaciones razón por la cual el promedio es relativamente bajo. También en este caso se incrementas los niveles en los meses de la época invernal.

7.5.6 Plomo

Los análisis realizados a las muestras de aguas indican desde no detecciones hasta 5,06 $\mu\text{g.L}^{-1}$, el promedio de los valores fue de 0,69 $\mu\text{g.L}^{-1}$, la OMS en las guías de

calidad de agua potable establece como valor de referencia provisional la concentración de $10 \mu\text{g.L}^{-1}$, y la legislación ecuatoriana establece la concentración de $50 \mu\text{g.L}^{-1}$. De todas las mediciones realizadas el 21,8% están sobre el valor de $1 \mu\text{g.L}^{-1}$, lo que indica que las concentraciones de este elemento son relativamente bajas. Los valores promedios más altos se producen en los meses de enero y marzo del 2012 en los cuales se tienen valores de 1,46 y $1,22 \mu\text{g.L}^{-1}$ que también se explicaría por escorrentías producidas por las lluvias.

7.5.7 Mercurio

Los resultados para el mercurio van desde no detecciones hasta $0,22 \mu\text{g.L}^{-1}$, el valor promedio general es de $0,05 \mu\text{g.L}^{-1}$, la legislación del Ecuador para este elemento como máximo permisible es de 1,0 como mercurio total $\mu\text{g.L}^{-1}$, y la OMS tiene como valor de referencia $6 \mu\text{g.L}^{-1}$ para el mercurio inorgánico, los valores determinados en las aguas del río Daule se encuentran bajo los límites indicados, como en los casos anteriores los valores promedios más altos se dan en los meses de marzo y enero del 2012 en que se tienen los valores de 0,088 y $0,085 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Las concentraciones promedios de cada uno de los metales pesados por estaciones se indican en la figura 41. Las concentraciones promedios determinados se encuentran dentro de los valores permisibles.

7.5.8 Índice de contenido metálico

Una forma de evaluación global de las cargas de los metales determinados en las muestras analizadas es a través de el índice de contenido metálico (ICM), que se lo define como:

$$\text{ICM} = (\text{CM}_1 \cdot \text{CM}_2 \cdot \text{CM}_3 \cdot \dots \cdot \text{CM}_7)^{1/7}$$

Donde: $\text{CM}_1 \cdot \text{CM}_2 \cdot \text{CM}_3 \cdot \dots \cdot \text{CM}_7$, son las concentraciones de arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, y plomo.

Los valores del ICM y los valores promedios de los metales analizados en las aguas del río Daule en las distintas estaciones establecidas se indican en la figura 54, al comparar los valores del ICM, se observa que en la estación Daule se presentan los más altos valores del ICM, seguido muy cercanamente por la estación Puente Lucía. Las concentraciones promedios más altas de As, Cr, Cu y Ni se dan en la estación Daule, para el elemento Cd el promedio más alto es en la estación Palestina, para el caso del mercurio en la estación Puente Lucía y para el Pb en Balzar2. Por el contrario las concentraciones promedios más bajas para los metales As, Cr, Cu, Hg y Ni estén en la estación Balzar1, para el Cd en Santa Lucía y para el Pb en Nobol.

Estos datos nos indican que existe una variación espacial de incremento de las concentraciones promedios de los metales pesados en dirección aguas abajo.

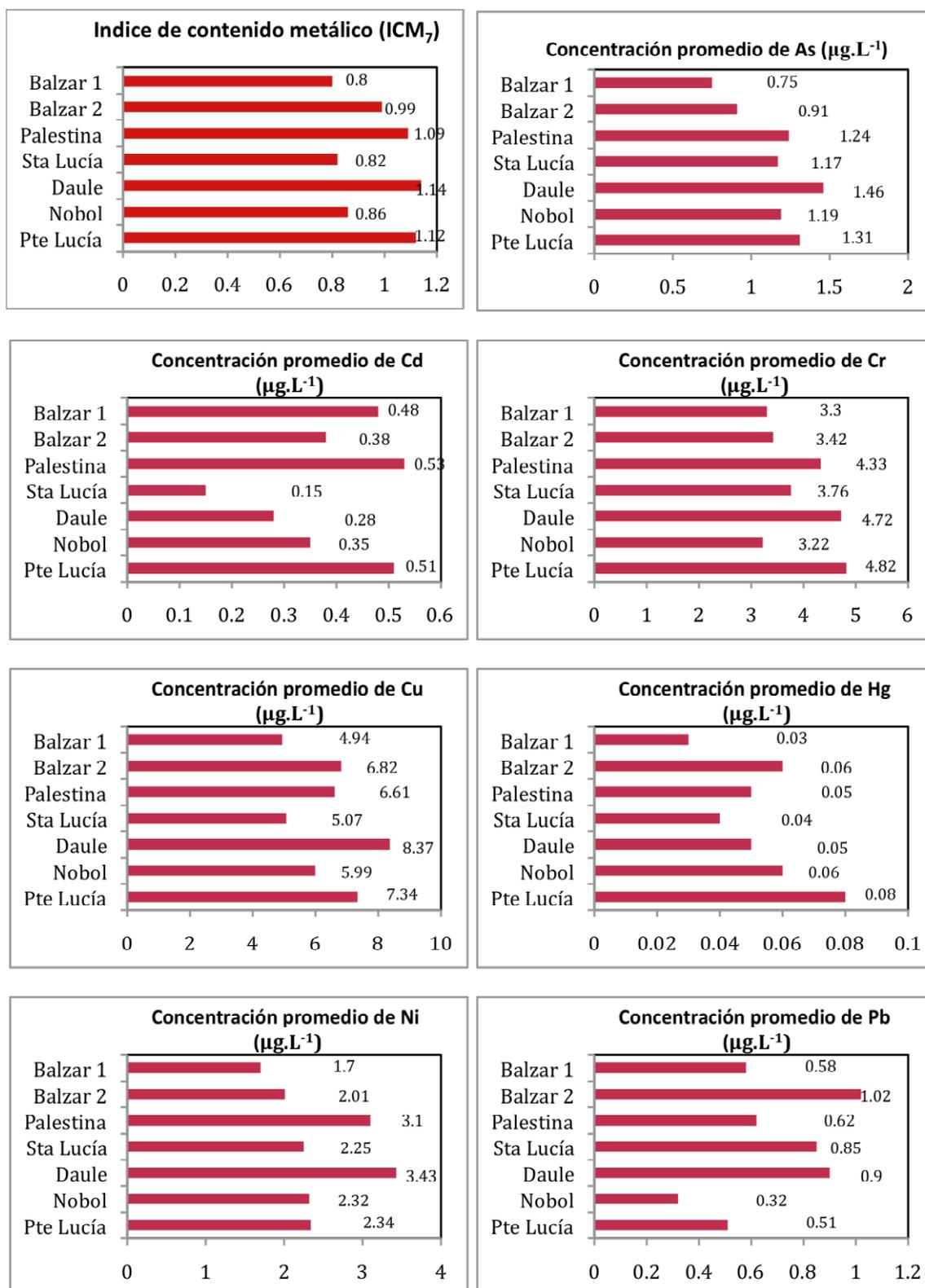


Figura 55. ICM y concentraciones promedios de metales pesados en aguas de río Daule.

7.6 Resultados microbiológicos

Para la determinación de los coliformes fecales y totales se realizaron 15 muestreos que representan un total de 105 determinaciones, los resultados fueron expresados en NMP/100 ml. Los valores determinados para los coliformes fecales y totales tienen mucha variación y se pudo establecer la presencia de coliformes fecales desde los 240 hasta $2,4 \times 10^5$ NMP/100 ml, así mismo se estableció que el 86,7% de los valores determinados están por encima de los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, la legislación ecuatoriana establece para aguas que únicamente requieran tratamiento convencional, en un máximo de 600 NMP/100 ml. Como se aprecia en la figura 42 las concentraciones de coliformes fecales y totales, en las diferentes fechas de muestreo y en las diferentes estaciones es muy variable lo que nos indica que a todo lo largo de tramo del río estudiado se presenta contaminación por coliformes, lo que permite asegurar que las descargas de aguas residuales que recibe el río de las ciudades, así como escorrentía de aguas de los pozos ciegos y letrinas de los habitantes de las poblaciones que se encuentran ubicadas en sus riberas están aportando estos contaminantes microbiológicos, lo cual les da el carácter de no aptas para actividades de contacto directo, consumo directo, recreación y constituye un serio peligro para la salud de los usuarios de sus agua.

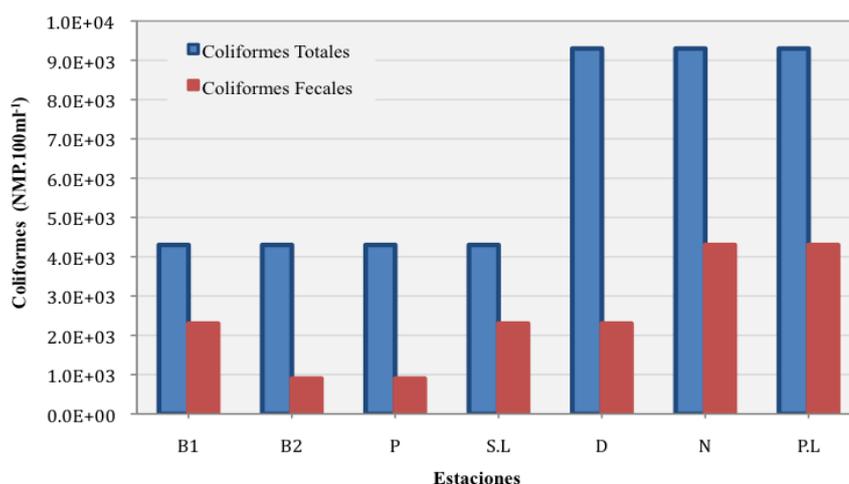


Figura 56. Concentración de coliformes fecales y totales, muestreo del 09/06/2011

En la figura 56 se evidencia que en la estaciones Balzar1 y Balzar2, el número de coliformes fecales es igual al de coliformes totales lo que nos indica en esos casos prácticamente la presencia de coliformes es de origen humano.

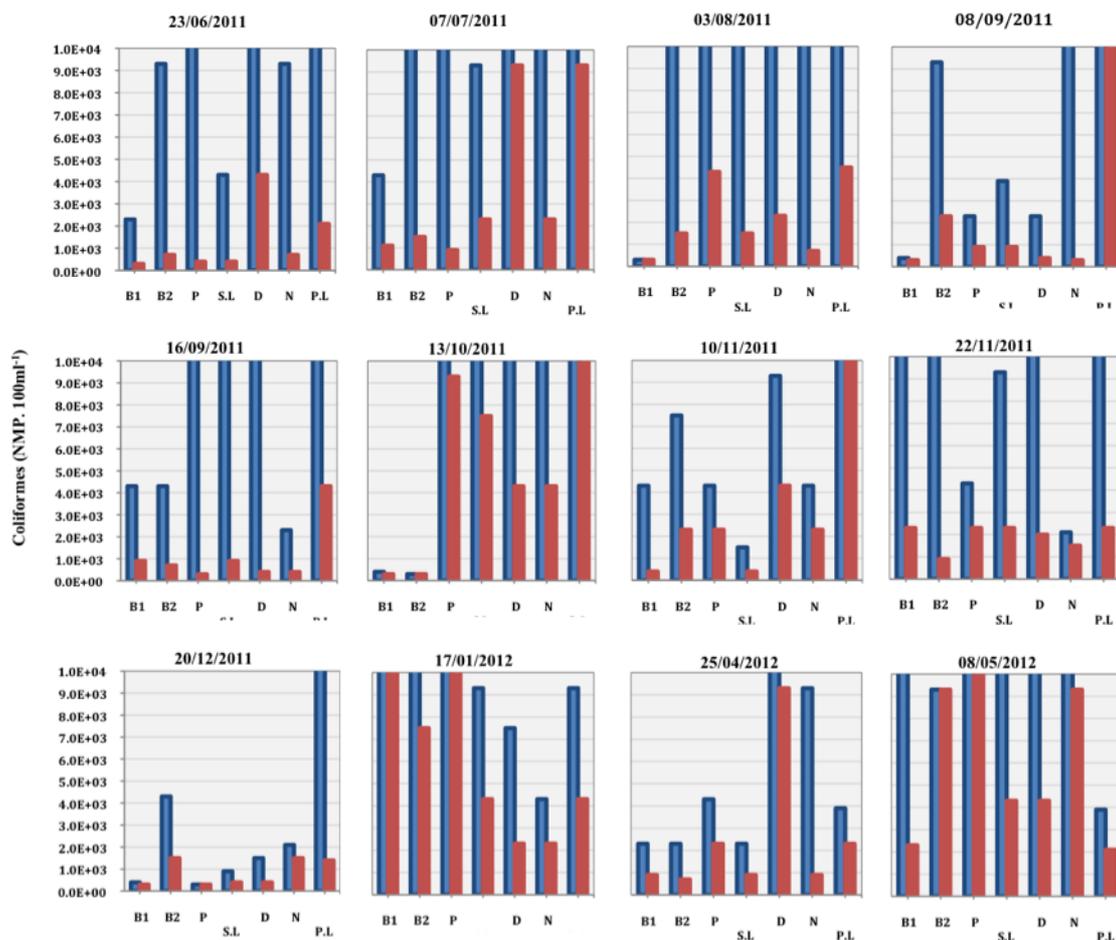


Figura 57. Concentración de coliformes fecales y totales, 23/06/11 al 07/07/12

Los datos de la figura 57, que corresponden a los demás muestreos realizados, confirman la gran contaminación microbiológica de las aguas del río Daule. Para el caso de los coliformes totales, la legislación ecuatoriana determina que los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional es como máximo es de 3.000 expresados en NMP/100 ml. De los datos obtenidos se destaca que el 75,2% de las mediciones están sobre el máximo de 3.000.

7.7 Toxicidad de las aguas del río Daule

Como se ha descrito, de manera general las concentraciones de los contaminantes orgánicos persistentes determinadas en las aguas del río Daule presentan perfiles están dentro de los perfiles de los niveles referenciales, en cuanto a las concentraciones de metales pesados estos están dentro de los rangos especificados por muchos organismos que han establecido límites permisibles, por el contrario se establece una gran contaminación microbiológica.

En las determinaciones de toxicidad no se evidenció la disminución de la luminosidad de las bacterias *vibrio fisheri* que es indicativo de toxicidad de las aguas, por el contrario se estableció el incremento de la luminosidad que es un indicativo de que las bacterias por efecto de materia orgánica incrementaba la emisión de luz.

Las figuras 58, 59, 60, 61, 62 y 63 relacionan el incremento porcentual de la luminosidad con la concentración del TOC, en todos los ensayos realizados no se observa la disminución de la luminosidad, sino mas bien un incremento de la bioluminiscencia lo que evidencia la inocuidad de las muestras que se correlacionan con los valores del COT en un comportamiento similar en todos los ensayos realizados.

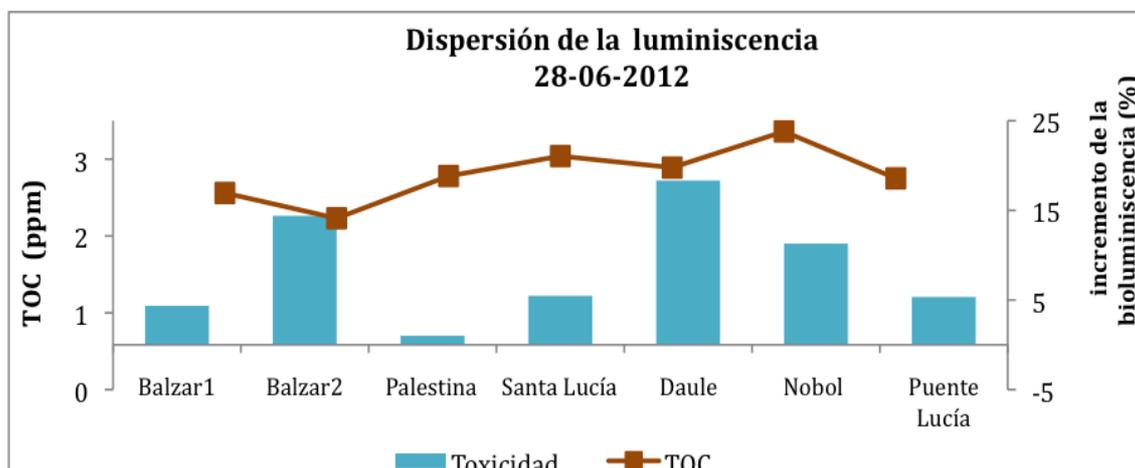


Figura 58. Incremento porcentual de la luminosidad en relación al TOC (20/06/2012)

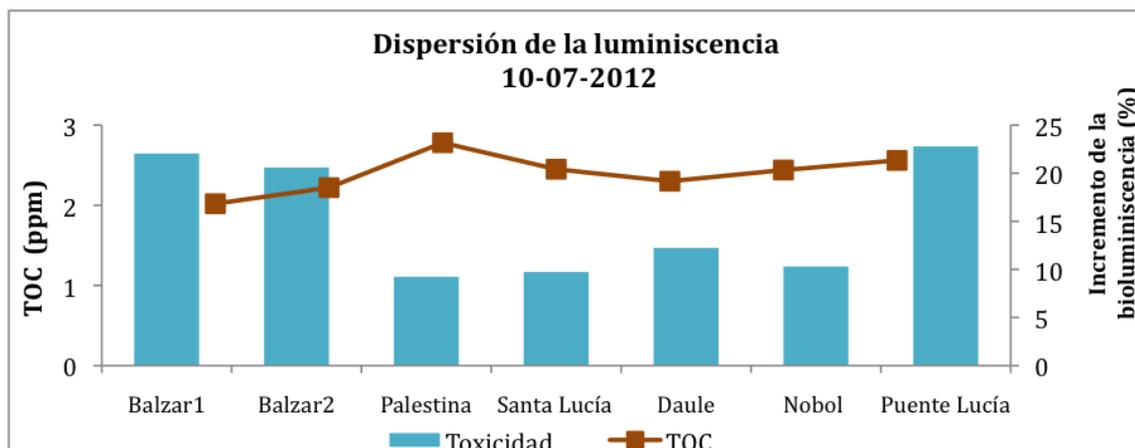


Figura 59. Incremento porcentual de luminiscencia vs. TOC, 10/07/2012

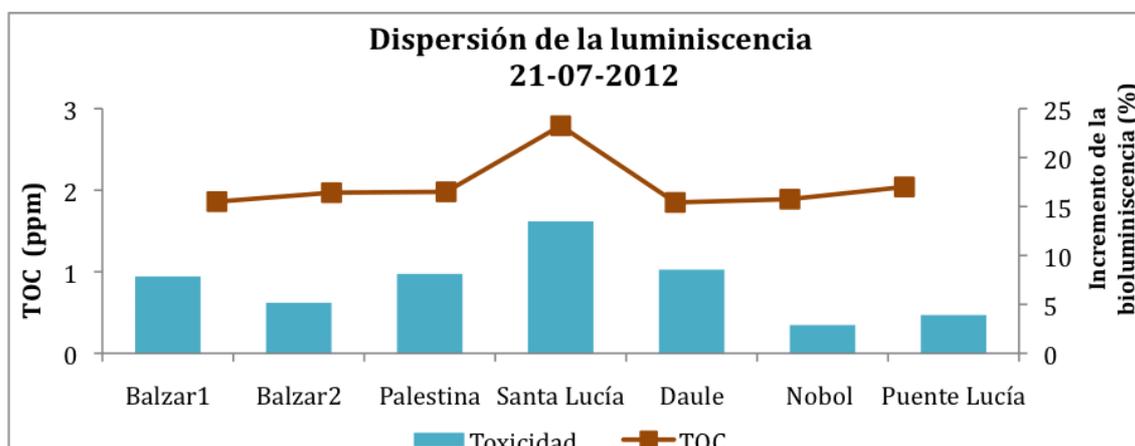


Figura 60. Incremento porcentual de luminiscencia vs. TOC, 21/07/2012

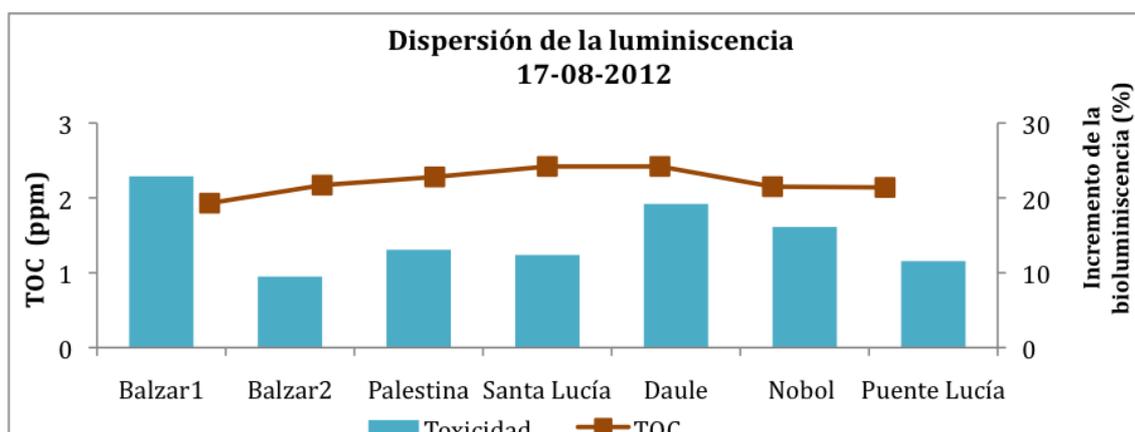


Figura 61. Incremento porcentual de luminiscencia vs. TOC, 17/08/2012

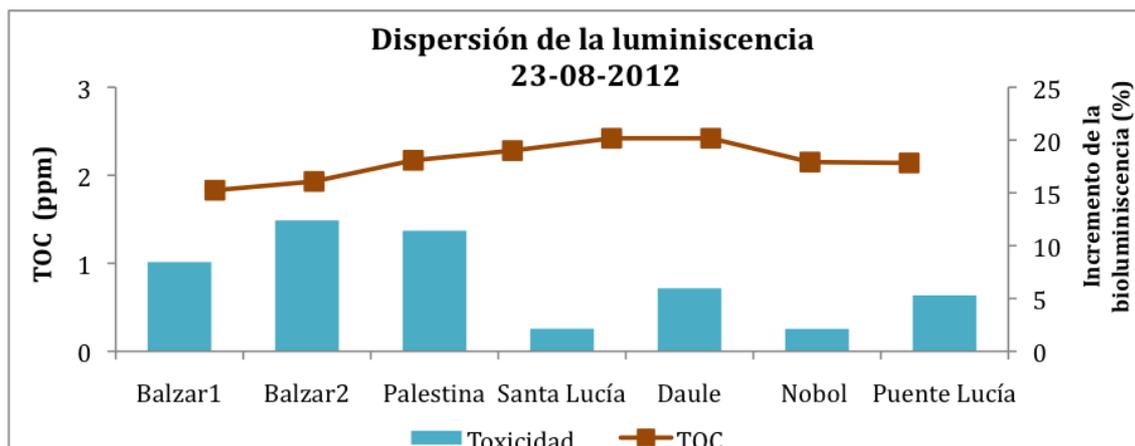


Figura 62. Incremento porcentual de luminosidad vs. TOC, 23/08/2012

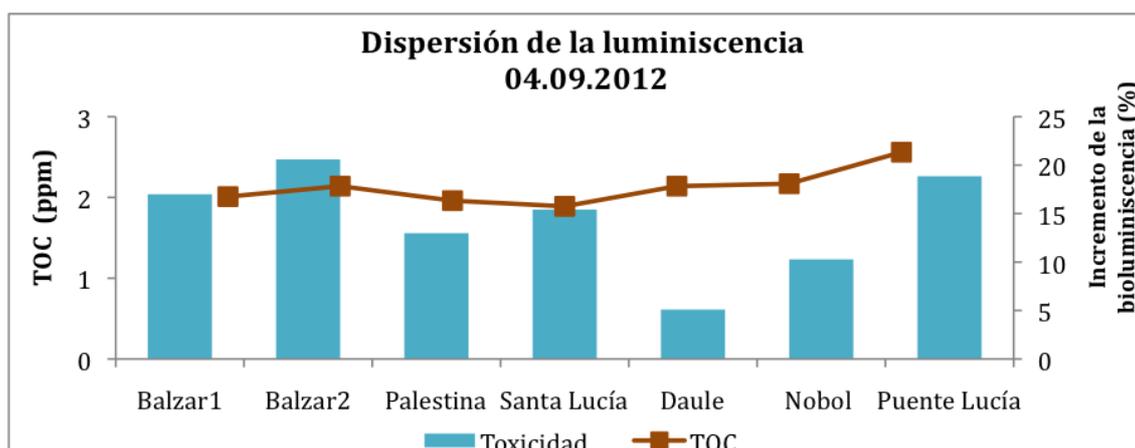


Figura 63 Incremento porcentual de luminosidad vs TOC, 09/2012

7.8 Sedimentos

7.8.1 Materia orgánica

La materia orgánica determinada en los sedimentos del río Daule presentan porcentajes variables tanto dentro de una misma estación como en relación a las otras estaciones, cuyos porcentajes varían entre 2,95% y 6,18%. De acuerdo a dichos resultados, el sitio que presenta mayor porcentaje de materia orgánica es Puente Lucía, seguido de Santa Lucía y Balzar, indicado en la figura 64.

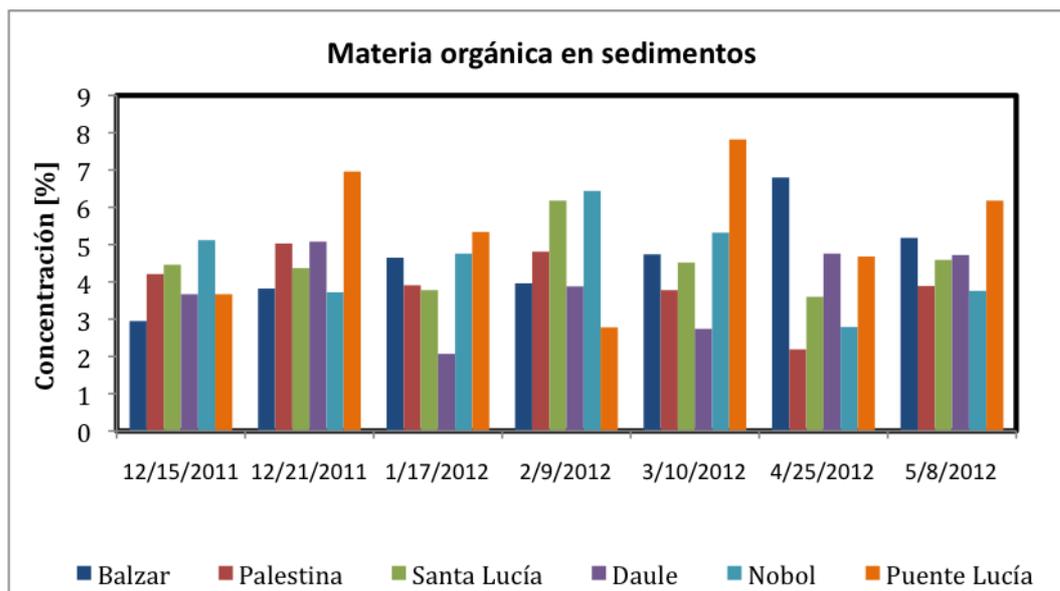


Figura 64. Porcentajes de materia orgánica por estaciones

7.8.2 Compuestos orgánicos persistentes

Los niveles de concentración de los compuestos orgánicos que se analizaron en las seis estaciones son muy variados, así para compuestos bifenilos policíclicos y pesticidas organofosforados en ninguna de las muestras analizadas pudieron ser detectados.

En cuanto a los pesticidas organoclorados de los 22 tipos de compuestos analizados solo dos de ellos, el 4-4-DDD con una concentración de $1,675 \text{ mg.Kg}^{-1}$ y el endosulfan-sulfate con $2,215 \text{ mg.Kg}^{-1}$ pudieron ser detectados en el muestreo del mes de abril, con una concentración total de $3,90 \text{ mg.Kg}^{-1}$.

Para los hidrocarburos aromáticos policíclicos la situación es diferente ya que en todos los muestreos fue detectado al menos uno de los hidrocarburos aromáticos policíclicos analizados, entre ellos el antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, y pireno. En las figuras desde la 65 hasta 70 se presentan los perfiles de las concentraciones con relación a las fecha de muestreo y a las estaciones.

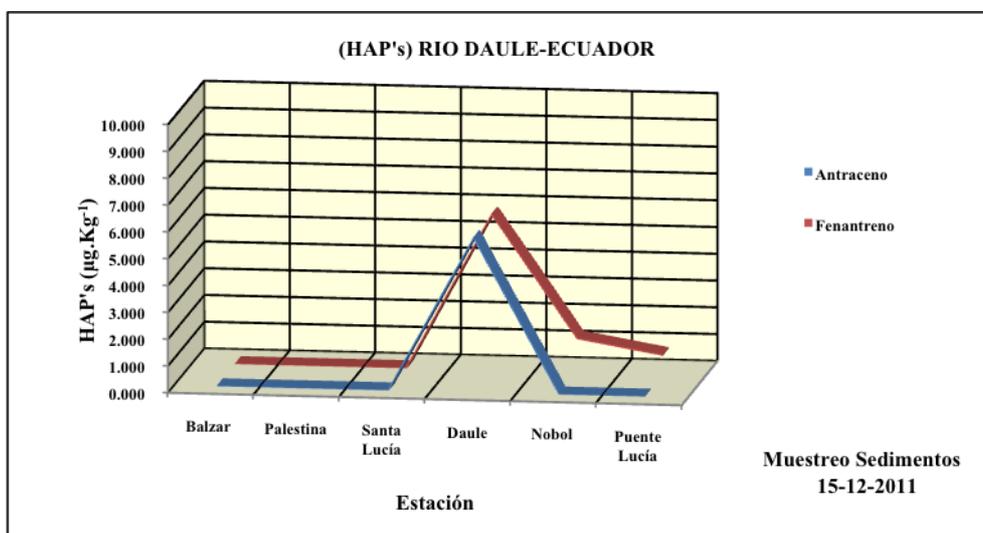


Figura 65: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 15/11/2012

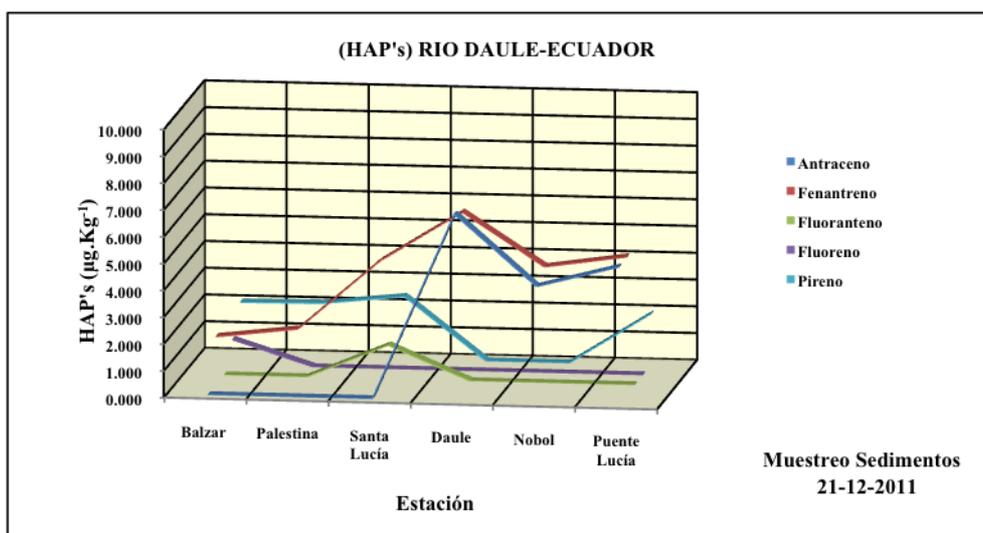


Figura 66: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 21/12/2011

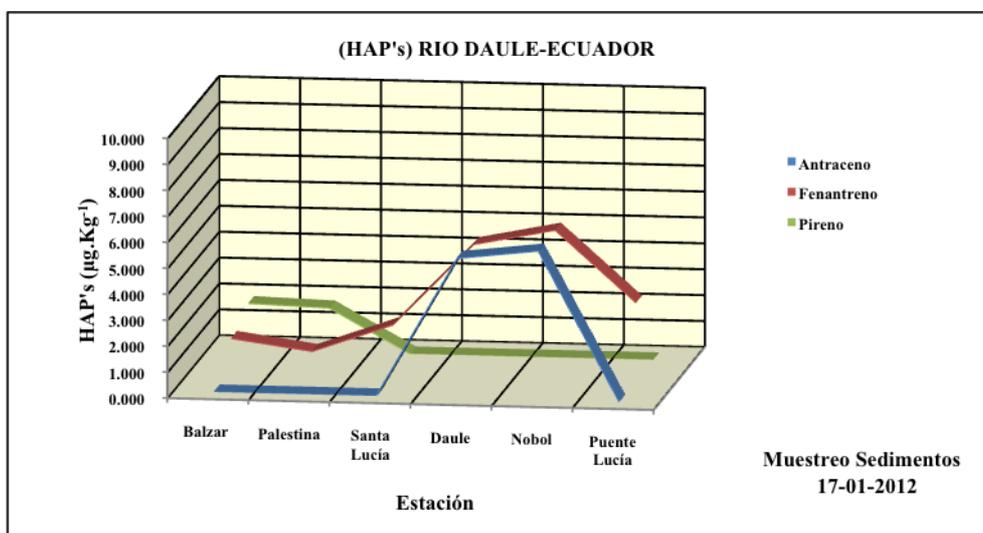


Figura 67: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 17/01/2012

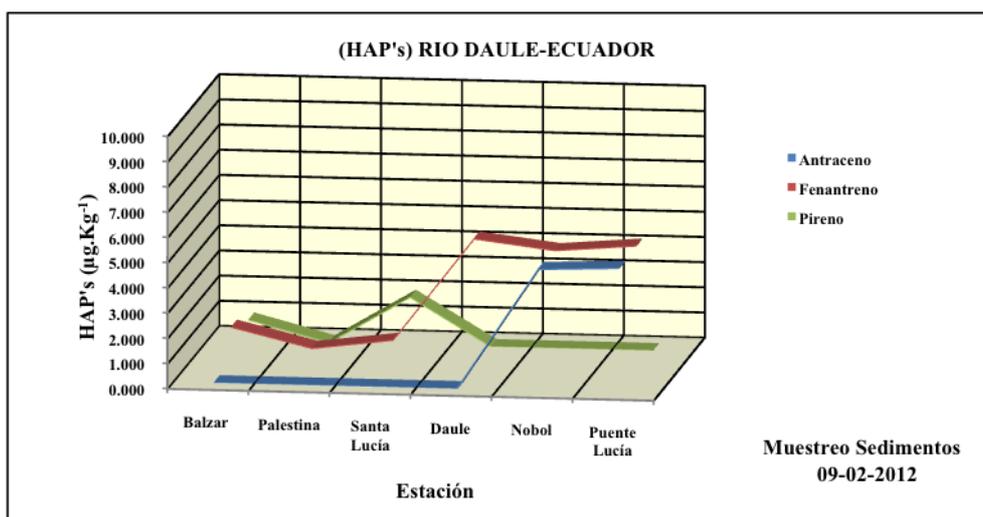


Figura 68: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 09/02/2012

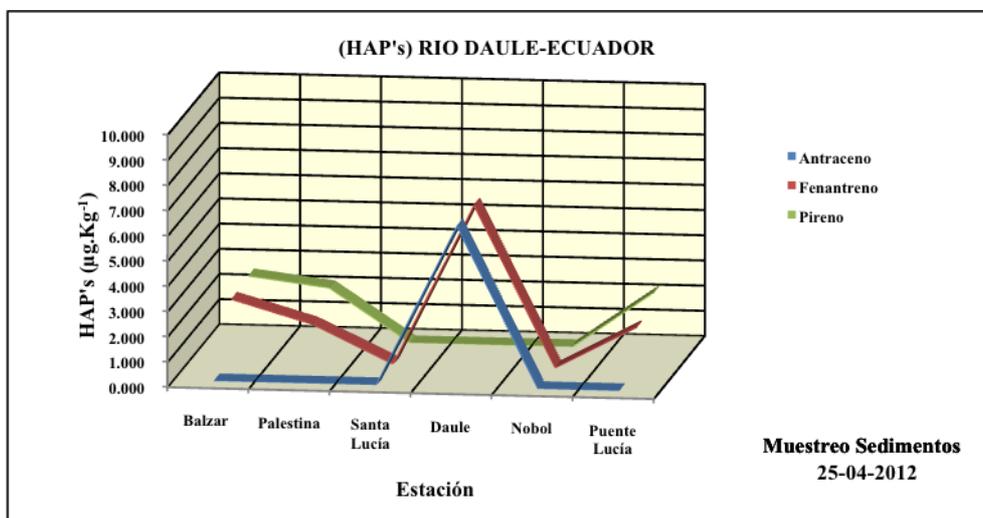


Figura 69: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 25/04/2012

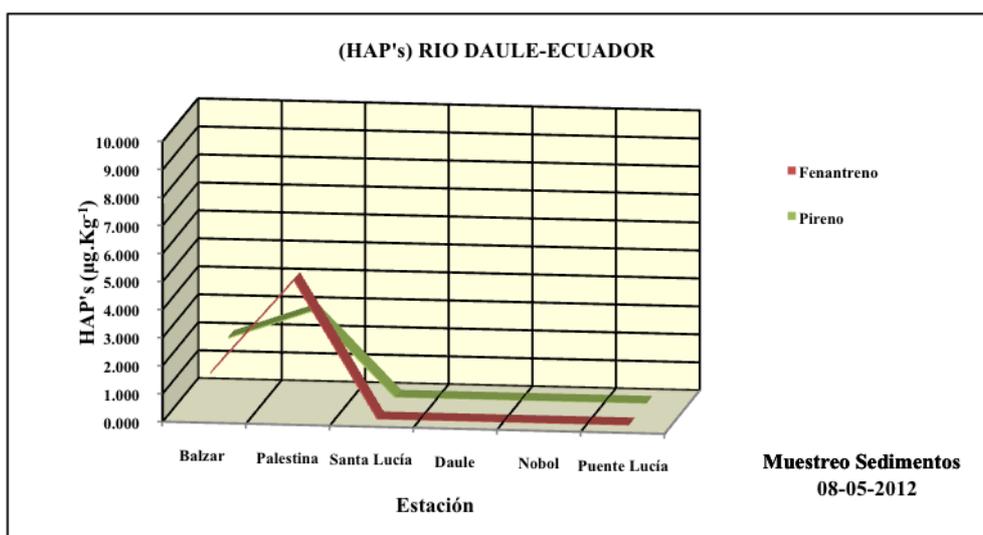


Figura 70: Concentraciones de HAPs durante el muestreo del 08/05/2012

El fenantreno fue el que más veces se detectó con un 53% de las determinaciones realizadas, y en concentraciones que van desde de 5,110 hasta 6,640 mg.Kg⁻¹ que se indican en la figura 71, en la que se puede observar que las estaciones Daule, Nobol y Puente Lucía en su orden son las que presentan las más altas concentraciones de este compuesto.

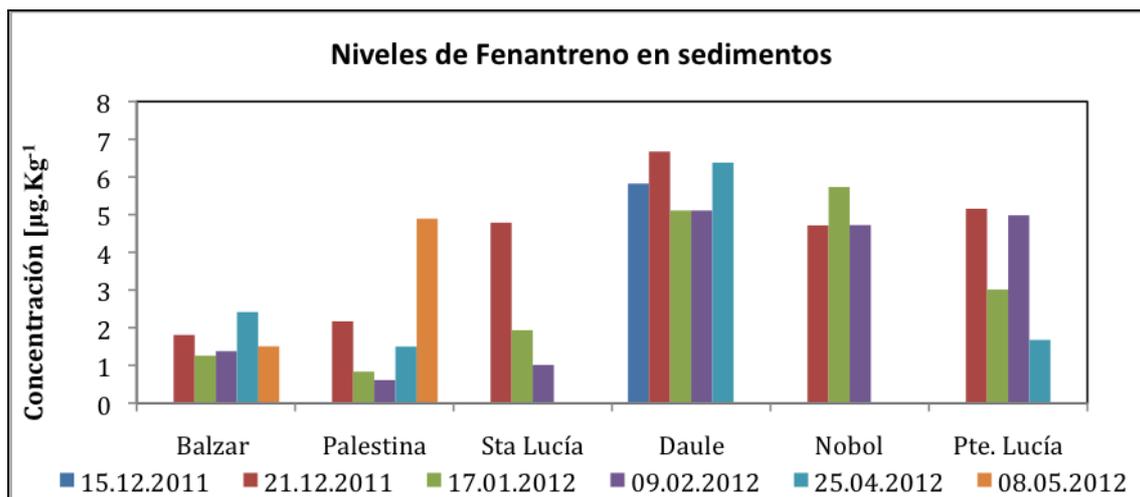


Figura 71. Concentración de fenantreno en sedimentos.

Por su parte el pireno fue detectado en un 26% y en concentraciones de hasta 2.415 mg.Kg⁻¹, las estaciones que más alta contaminación de este compuesto son las de Balzar, Palestina y Santa Lucía, que se indica en la figura 72.

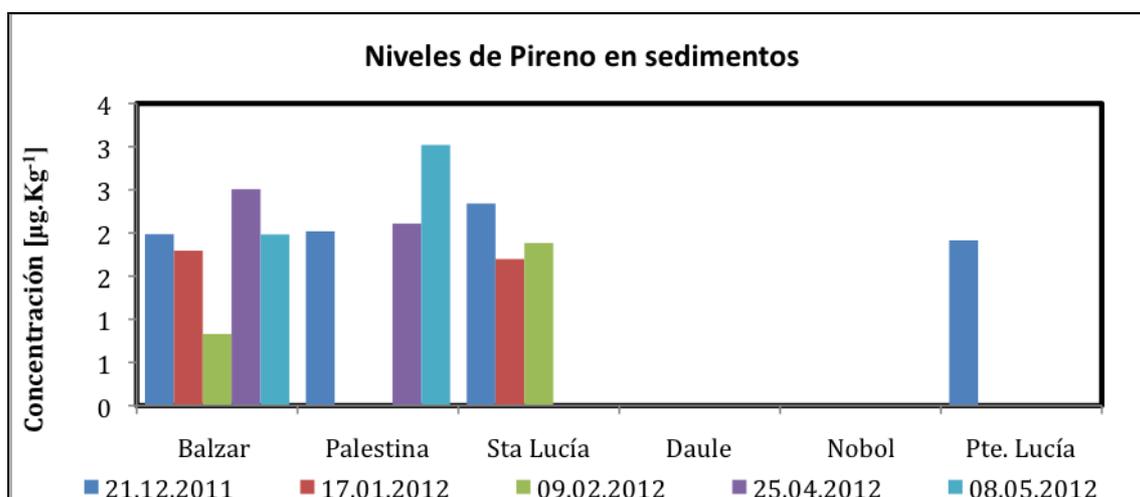


Figura 72. Concentración de pireno en sedimentos.73

El antraceno también fue detectado en cinco de los seis muestreos realizados con un 18%, en concentraciones de hasta $6,972 \text{ mg.Kg}^{-1}$, en la figura 73, se muestra que las estaciones que presentan contaminación de los sedimentos con este hidrocarburo son Daule Nobol y Santa Lucía.

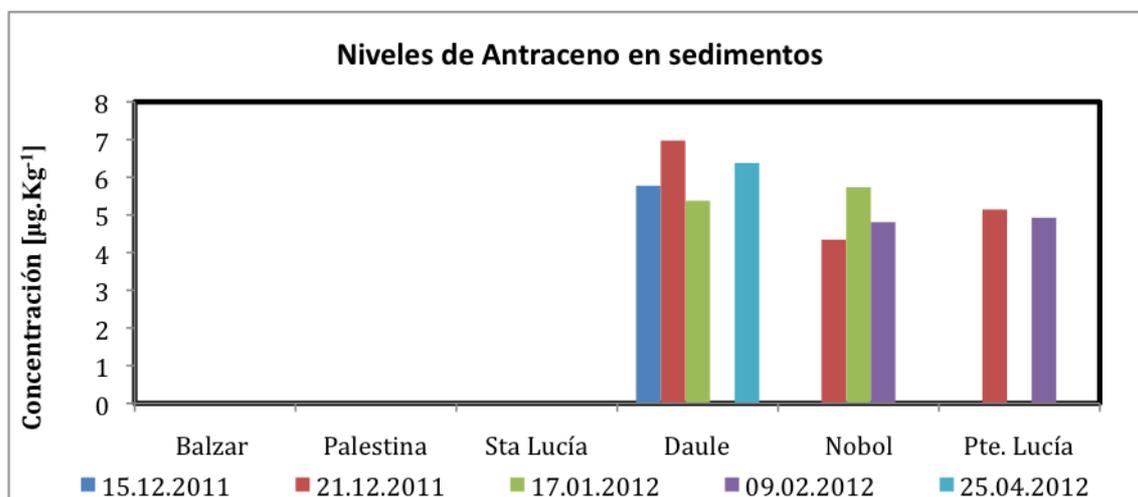


Figura 73. Concentración de antraceno en sedimentos

El fluoranteno y el fluoreno fueron detectados cada uno ellos en sola ocasión, en concentraciones de $0,960$ y $1,267 \text{ mg.Kg}^{-1}$, en las estaciones Balzar y Santa Lucía.

7.8.3 Metales pesados

Los resultados obtenidos para el elemento cadmio, van desde $0,5$ hasta $4,38 \text{ mg.Kg}^{-1}$, el promedio general determinado corresponde a $1,87 \text{ mg.Kg}^{-1}$. Las concentraciones más altas registradas son de $4,38$ y $4,37 \text{ mg.Kg}^{-1}$ se dieron en las estaciones de Daule y Puente Lucía. Los promedios más altos por estaciones se encuentran en las estaciones de Nobol y Puente Lucía.

Para el elemento cromo los valores varían en un rango más amplio ya que van desde no detecciones de este elemento hasta $62,19 \text{ mg.Kg}^{-1}$ el mismo que es registrado en la estación Daule. El promedio general para este elemento es de $37,87 \text{ mg.Kg}^{-1}$ en las estaciones Balzar, y Nobol se encuentran valores promedios más altos que el promedio general.

Algo muy similar ocurre con el cobre en el que los valores determinados varían en un rango bastante amplio de 3,68 hasta 74,33 mg.Kg⁻¹, el un valor promedio de todas las mediciones es de 34,24 mg.Kg⁻¹, las estaciones que superan este promedio son las de Balzar y Palestina, y resto esta por debajo del promedio establecido.

En cuanto al elemento níquel, también la variación es bastante amplia y se tiene desde concentraciones no detectadas hasta valores de 66,38 mg.Kg⁻¹, y con un valor promedio de 17,77 mg.Kg⁻¹. Se observa que el promedio de la estación Puente Lucía para este elemento esta un 22% sobre el promedio general, también los promedios de las estaciones de Palestina y Daule están un poco más altos que el promedio general de las mediciones.

Para el mercurio se encuentra que los valores promedios por estaciones se registran desde 0,11 hasta 0,17 mg.Kg⁻¹ y las diferencia entre los promedios por estaciones presenta una variación pequeña. El valor más alto es el registrado 0,47 mg.Kg⁻¹ en la estación Balzar.

El plomo, al igual que los elementos cromo y cobre, presenta variaciones de concentraciones en un rango amplio, dado que se registran casos desde la no detección hasta 40,83 mg.Kg⁻¹. El promedio general es de 17,97 mg.Kg⁻¹, si se considera las concentraciones promedio de todas las estaciones, se observa que los sitios de Balzar, Palestina presentan valores superiores al promedio general.

Los valores de detección del cinc varían de manera más pronunciada en comparación a los demás elementos ya que se detectan concentraciones desde 23,0 hasta 254,67 mg.Kg⁻¹, el promedio de todas las determinaciones es de 102,79 mg.Kg⁻¹, y las estaciones de Balzar y Daule tienen los promedios más altos que el general.

En la figura 74, se muestran los promedios anuales de las concentraciones de los metales estudiados en los sedimentos por estaciones, en la que se observa que Daule es la que presenta los valores más altos, hecho que coincide con lo determinado para las aguas del río, siguiendo en el orden la estación Palestina de una manera también muy similar a lo observado en las aguas del río.

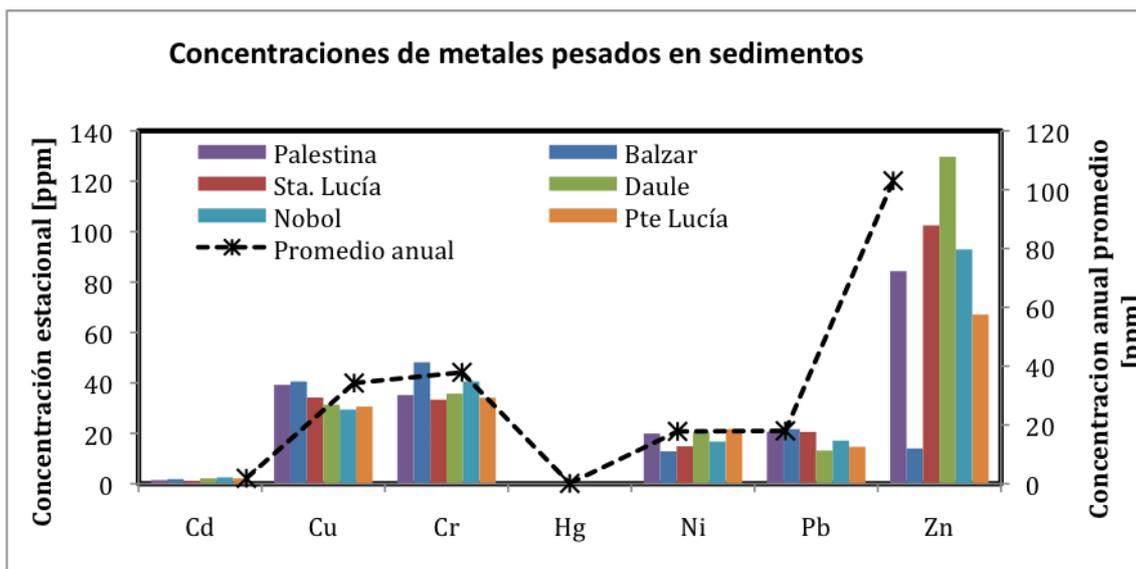


Figura 74. Promedio metales pesados estacionales vs. concentración anual promedio

7.8.4 Bioensayos de Toxicidad

Los resultados de los bioensayos de toxicidad en muestras de sedimentos realizados en el sistema Microtox® se muestran en la figura 75, en la cual se puede apreciar que las muestras de sedimentos analizadas no presentan contaminación dado que la luminosidad no se vió disminuida durante los tiempos de exposición que utilizaron de 5, 15 y 30 minutos. La presencia de contaminantes en las muestras de aguas o sedimentos afectan la respiración de la bacteria disminuyendo la luminosidad

En la misma figura se observa que la luminosidad se incrementa en relación a la luminosidad inicial obtenida en las pruebas de los controles, lo cual esta en concordancia con altos valores de materia orgánica, bajos niveles de contaminantes orgánicos determinados y concentraciones moderadas de metales pesados encontradas en este trabajo de investigación.

A la solución acuosa resultante de las disoluciones del sedimento, se le determinó la concentración de carbono orgánico, encontrándose valores bastantes altos y estarían relacionados a la supervivencia de las bacterias.

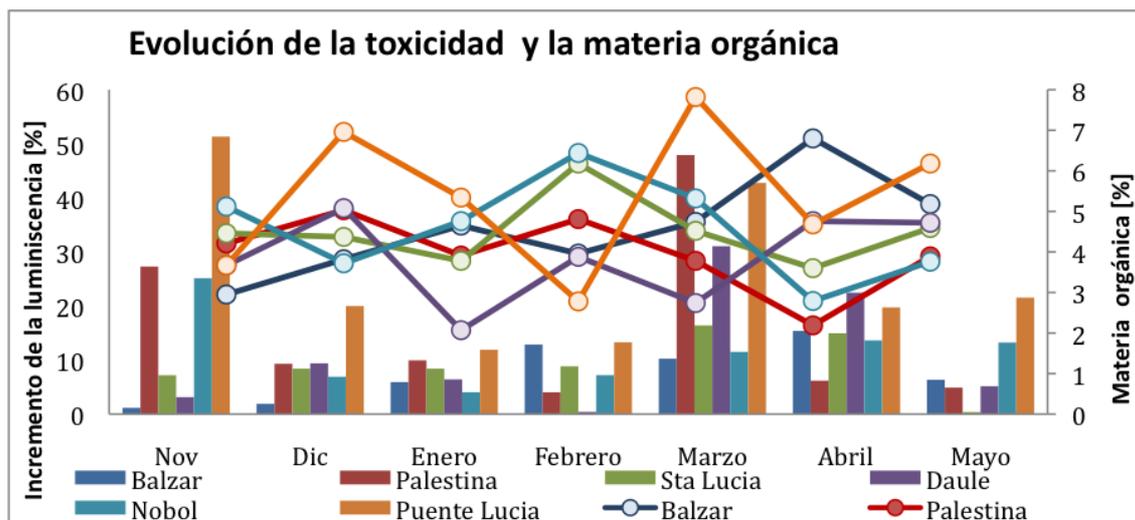


Figura 75. Evolución de la toxicidad y la materia orgánica (11/2011-05/2012)

7.8.5 Análisis de correlación

El análisis de correlación se lo realizó como se ha indicado con ayuda del programa científico R versión 1.5, para establecer los grados de asociación que pudieran existir entre las distintas variables analizadas en las aguas del río Daule y sus resultados se presentan en la tabla No 28. Se observa que los sólidos tiene una estrecha correlación con conductividad eléctrica, así como también con los nitritos. Los parámetros que se correlacionan linealmente ($r > 0,5$), son: conductividad eléctrica-sólidos disueltos, fosfatos-sólidos suspendidos, nitritos-nitratos, fosfatos-nitritos, fosfatos-sólidos totales, nitritos-sólidos suspendidos, sólidos suspendidos-sólidos totales. Para los demás parámetros los coeficientes de correlación son menores a 0,5 y para otros son negativos.

Tabla No 28. Análisis de correlación y correspondencia de las variables

| | e1 | e2 | e3 | e4 | e5 | e6 | e7 | e8 | e9 | e10 | e11 | e12 | e13 | e14 | e15 | e16 | e17 | e18 | e19 | e20 | e21 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| e1 | 1,000 | 0,154 | 0,066 | 0,171 | 0,163 | 0,212 | 0,487 | 0,421 | 0,428 | -0,087 | -0,072 | 0,005 | 0,433 | 0,275 | 0,261 | -0,132 | 0,241 | -0,103 | -0,142 | -0,134 | -0,052 |
| e2 | 0,154 | 1,000 | 0,045 | 0,014 | -0,132 | 0,116 | 0,033 | 0,094 | 0,198 | -0,011 | 0,001 | 0,124 | 0,161 | 0,238 | 0,089 | 0,035 | 0,143 | -0,204 | 0,100 | -0,050 | 0,138 |
| e3 | 0,066 | 0,045 | 1,000 | -0,141 | -0,059 | -0,099 | 0,360 | 0,026 | 0,146 | -0,356 | -0,065 | 0,546* | 0,223 | 0,376 | -0,276 | 0,080 | -0,074 | 0,061 | -0,032 | 0,034 | 0,069 |
| e4 | 0,171 | 0,014 | -0,141 | 1,000 | 0,095 | 0,215 | 0,146 | 0,071 | 0,117 | 0,039 | 0,020 | -0,058 | 0,094 | 0,034 | 0,095 | -0,181 | 0,210 | -0,030 | 0,066 | -0,083 | -0,073 |
| e5 | 0,163 | -0,132 | -0,059 | 0,095 | 1,000 | -0,002 | 0,099 | 0,113 | 0,092 | 0,063 | -0,201 | 0,015 | 0,025 | 0,091 | 0,222 | -0,094 | -0,231 | 0,053 | -0,031 | -0,148 | -0,188 |
| e6 | 0,212 | 0,116 | -0,099 | 0,215 | -0,002 | 1,000 | 0,168 | 0,117 | 0,304 | 0,031 | -0,144 | -0,224 | 0,286 | 0,108 | 0,294 | -0,128 | 0,349 | 0,002 | 0,103 | -0,080 | -0,043 |
| e7 | 0,487 | 0,033 | 0,360 | 0,146 | 0,099 | 0,168 | 1,000 | 0,357 | 0,540* | -0,255 | 0,017 | 0,308 | 0,713* | 0,581* | 0,049 | -0,199 | 0,299 | -0,081 | -0,196 | -0,129 | 0,069 |
| e8 | 0,421 | 0,094 | 0,026 | 0,071 | 0,113 | 0,117 | 0,357 | 1,000 | 0,719* | -0,402 | 0,088 | 0,307 | 0,567* | 0,494 | 0,141 | -0,397 | 0,195 | -0,118 | -0,011 | -0,160 | -0,081 |
| e9 | 0,428 | 0,198 | 0,146 | 0,117 | 0,092 | 0,304 | 0,540* | 0,719* | 1,000 | -0,299 | 0,038 | 0,340 | 0,790* | 0,599* | 0,171 | -0,313 | 0,348 | -0,061 | -0,040 | -0,085 | -0,059 |
| e10 | -0,087 | -0,011 | -0,356 | 0,039 | 0,063 | 0,031 | -0,255 | -0,402 | -0,299 | 1,000 | 0,201 | -0,326 | -0,333 | -0,452 | 0,182 | 0,267 | -0,035 | 0,022 | 0,091 | 0,205 | 0,056 |
| e11 | -0,072 | 0,001 | -0,065 | 0,020 | -0,201 | -0,144 | 0,017 | 0,088 | 0,038 | 0,201 | 1,000 | 0,018 | -0,011 | -0,103 | -0,006 | -0,183 | 0,130 | -0,076 | -0,015 | 0,169 | 0,225 |
| e12 | 0,005 | 0,124 | 0,546* | -0,058 | 0,015 | -0,224 | 0,308 | 0,307 | 0,340 | -0,326 | 0,018 | 1,000 | 0,294 | 0,558* | -0,221 | -0,155 | -0,093 | 0,010 | 0,061 | -0,066 | -0,040 |
| e13 | 0,433 | 0,161 | 0,223 | 0,094 | 0,025 | 0,286 | 0,713* | 0,567* | 0,790* | -0,333 | -0,011 | 0,294 | 1,000 | 0,784* | 0,023 | -0,238 | 0,379 | -0,102 | -0,116 | -0,213 | -0,102 |
| e14 | 0,275 | 0,238 | 0,376 | 0,034 | 0,091 | 0,108 | 0,581* | 0,494 | 0,599* | -0,452 | -0,103 | 0,558* | 0,784* | 1,000 | -0,022 | -0,212 | 0,205 | -0,174 | 0,008 | -0,231 | -0,124 |
| e15 | 0,261 | 0,089 | -0,276 | 0,095 | 0,222 | 0,294 | 0,049 | 0,141 | 0,171 | 0,182 | -0,006 | -0,221 | 0,023 | -0,022 | 1,000 | -0,095 | 0,126 | 0,052 | -0,089 | -0,010 | 0,069 |
| e16 | -0,132 | 0,035 | 0,080 | -0,181 | -0,094 | -0,128 | -0,199 | -0,397 | -0,313 | 0,267 | -0,183 | -0,155 | -0,238 | -0,212 | -0,095 | 1,000 | -0,200 | 0,000 | 0,040 | 0,104 | 0,009 |
| e17 | 0,241 | 0,143 | -0,074 | 0,210 | -0,231 | 0,349 | 0,299 | 0,195 | 0,348 | -0,035 | 0,130 | -0,093 | 0,379 | 0,205 | 0,126 | -0,200 | 1,000 | -0,184 | 0,031 | -0,037 | 0,028 |
| e18 | -0,103 | -0,204 | 0,061 | -0,030 | 0,053 | 0,002 | -0,081 | -0,118 | -0,061 | 0,022 | -0,076 | 0,010 | -0,102 | -0,174 | 0,052 | 0,000 | -0,184 | 1,000 | 0,094 | 0,180 | -0,001 |
| e19 | -0,142 | 0,100 | -0,032 | 0,066 | -0,031 | 0,103 | -0,196 | -0,011 | -0,040 | 0,091 | -0,015 | 0,061 | -0,116 | 0,008 | -0,089 | 0,040 | 0,031 | 0,094 | 1,000 | 0,178 | -0,126 |
| e20 | -0,134 | -0,050 | 0,034 | -0,083 | -0,148 | -0,080 | -0,129 | -0,160 | -0,085 | 0,205 | 0,169 | -0,066 | -0,213 | -0,231 | -0,010 | 0,104 | -0,037 | 0,180 | 0,178 | 1,000 | 0,261 |
| e21 | -0,052 | 0,138 | 0,069 | -0,073 | -0,188 | -0,043 | 0,069 | -0,081 | -0,059 | 0,056 | 0,225 | -0,040 | -0,102 | -0,124 | 0,069 | 0,009 | 0,028 | -0,001 | -0,126 | 0,261 | 1,000 |

Correspondencia de la Variable:

| | | | | | | | | | |
|----|-------------------------|-----|------------------|-----|---------------------|-----|-------------|-----|-------|
| e1 | Amonio | e6 | DBO | e11 | pH | e16 | Temperatura | e21 | Sodio |
| e2 | Alcalinidad | e7 | Fosfatos | e12 | Sólidos disueltos | e17 | Turbiedad | | |
| e3 | Conductividad eléctrica | e8 | Nitratos | e13 | Sólidos suspendidos | e18 | Calcio | | |
| e4 | Cloruros | e9 | Nitritos | e14 | Sólidos totales | e19 | Potasio | | |
| e5 | COT | e10 | Oxígeno disuelto | e15 | Sulfatos | e20 | Magnesio | | |

CONCLUSIONES

La gran actividad agrícola, las descargas de aguas residuales domésticas, residuos sólidos, desarrollo urbanístico afectan la calidad de las aguas y sedimentos del río Daule, y constituyen una gran problemática a considerar para el correcto uso y conservación de sus aguas, el trabajo de esta tesis pretende llenar un vacío en cuanto a la escasa información que se tiene sobre la presencia de contaminantes.

El desarrollo de la presente tesis doctoral ha implicado realizar unas 4800 determinaciones analíticas en muestras de aguas y 1800 en sedimentos para establecer los niveles de contaminación en estos dos compartimientos, que han involucrado la realización de análisis de 33 parámetros prioritarios de sustancias contaminantes en aguas del río Daule, y comprendió el muestreo en un tramo de aproximadamente 80 Km.

Las conclusiones de los resultados obtenidos se los relacionará con los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional que indica la legislación ecuatoriana en el Libro VI anexo1 del Texto Unificado Legislación Secundaria del Ministerio del Medio Ambiente (TULSMA), y de la Guía de Calidad de Agua Potable de la organización Mundial de la Salud, Cuarta Edición, y por la Directiva Marco de aguas de la Unión Europea.

A partir de la discusión de los resultados obtenidos en la presente tesis doctoral, para las muestras de aguas se indican las siguientes conclusiones:

1. Existen valores de pH menores a 6 en las estaciones de Nobol, Daule y Puente Lucía, que es lo mínimo establecido por la legislación ecuatoriana y que obedecería a la existencia de materia orgánica.
2. Los valores de conductividad eléctrica son bajos e indican que la mineralización de sus aguas está en un nivel entre débil y muy débil.
3. El 60% de las mediciones realizadas de oxígeno se encuentran por debajo de los $6 \text{ mg.O}_2\text{.L}^{-1}$ que como mínimo se indica en la legislación del Ecuador, los bajos niveles de oxígeno disuelto determinados están relacionados a las aguas anóxicas que salen de la represa Daule-Peripa para accionar las turbinas de la central hidroeléctrica y por contaminación de las aguas residuales urbanas que se

descargan al río Daule, las estaciones con bajos niveles de oxígeno disuelto son las de Balzar1 y Balzar2, sitios en los cuales se tuvieron valores inferiores a 2 mg.O₂.L⁻¹, niveles que afectan la flora y fauna.

4. Los límites máximos permisibles por la legislación ecuatoriana establece el valor de 2 mg.O₂.L⁻¹ de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), y de los resultados obtenidos se concluye que el 99% esta fuera de lo exigido, lo que sitúa a las aguas del río Daule con una gran presencia de contaminación ocasionada por aguas residuales urbanas, lo cual afecta a calidad de sus aguas.
5. Si bien los valores de los nitratos se encuentran dentro de los límites permisibles de 10 mg.L⁻¹, se notan valores superiores a 4 mg.L⁻¹ de N-Nitrato, que provienen de actividades agrícolas que de no tomar las medidas correctivas se podría volver un problema de contaminación de las aguas del río. Por su parte los nitritos están dentro del máximo permisible.
6. En la legislación del Ecuador no se establece el máximo permisible de fosfatos en aguas de ríos, en el estudio de establecieron valores de hasta 1,85 mg.L⁻¹. La Directiva 75/440/CEE de la Unión Europea fija límites permisibles de fosfatos para aguas superficiales destinadas a consumo humano para tipo A2 en un máximo 0,94 mg.L⁻¹, considerando estos límites, un 7% de las muestras estaría fuera del rango, lo que se considera de riesgo y que podría causar eutrofización.
7. Entre los pesticidas estudiados se encuentran los organoclorados cuya presencia fue detectada en el 53,3% de los muestreos realizados, de un total de 23 organoclorados analizados, 9 tipos de organoclorados se detectaron entre los cuales están: 1,2-dichloro-4-isocianato-benzene detectado en un 31%, 4,4-DDD en un 19%, el aldrin, metoxychlor y endosulfan-sulfate cada uno de ellos en 1,7%, el dieldrin, phenamiphos, Heptachlor, HCH-Delta en concentraciones de 0,83%. En el muestreo del 3 de agosto del 2011 se determinó una concentración de organoclorados totales de 16,040 µg.L⁻¹ que esta por el límite de los 10 mg.L⁻¹ de organoclorados totales establecidos como máximo en la legislación ecuatoriana. En cuanto a los pesticidas organofosforados estos fueron detectados solo tres ocasiones, de los 23 organofosforados analizados dos de ellos fueron determinados: el azinphos methyl y azinphos ethyl en concentraciones de 0,373;

0,373 y 0,378 $\mu\text{g.L}^{-1}$, las cuales son inferiores a lo máximo establecido por la normativa ecuatoriana. De los 14 PCBs analizados, el único detectado fue la mezcla PCB-28+31 por cinco ocasiones, la suma total del PCB-28+31 detectados por cada muestreo excede los límites máximos permisibles por la legislación ecuatoriana que lo establece en un máximo de 0.0005 $\mu\text{g.L}^{-1}$, y que provendrían de los aceites de los transformadores eléctricos.

8. Mención aparte merecen los hidrocarburos aromáticos policíclicos, ya que 12 de los 16 analizados y fueron detectados en muestras de agua en todos los muestreos realizados, entre los HAPs más detectados están: el fenantreno en un 77,5%, pireno en 67,3%, fluoranteno 41,8%, naftaleno 22,4%, criseno 19,4%, el fluoreno y benzo(a)antraceno en un 15,3%, antraceno 13,2%, en porcentajes menores el Benzo(a)Pireno, Indeno(1,2,3-cd)Pireno Benzo(g,h,i)Pirileno. La legislación ecuatoriana establece un máximo de 0,01 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para el benzo(a)pireno 0,01 $\mu\text{g.L}^{-1}$ legislación ecuatoriana, y Directiva Marco del Agua en 0,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$, este HAP fue determinado en las estaciones Palestina y Santa Lucía en concentraciones de 0,017 y 0,014 $\mu\text{g.L}^{-1}$, que exceden los límites antes indicados. Se determinó concentraciones de antraceno en las estaciones Daule y Puente Lucía, en época invernal van desde 4,835 hasta 8.851 $\mu\text{g.L}^{-1}$ que exceden el límite de 0,4 $\mu\text{g.L}^{-1}$ establecidos por la Directiva Marco del Agua, en general las concentraciones total de HAPs por muestreos presentan altas concentraciones de hasta 52,25 $\mu\text{g.L}^{-1}$, indicativo de una alta contaminación por este tipo de compuestos.

En cuanto a los resultados de los metales pesados en aguas del río Daule, se concluye:

9. Las más altas concentraciones en $\mu\text{g.L}^{-1}$ registradas para los elementos estudiados son: arsénico 5,0; cadmio 6,70; cromo 15,85; cobre 31,12; mercurio 0,22; níquel 14,17; y plomo 5,96; todas ellas se encuentran por debajo de los límites de la legislación ecuatoriana.

En relación a los resultados microbiológicos:

10. Tanto las concentraciones de coliformes fecales, como totales se encuentran en niveles superiores indicados por la normativa del Ecuador. Se establece que el

87% de las muestras exceden los límites de la normativa ecuatoriana y se determinan concentraciones de hasta $2,4 \times 10^5$ NMP/100 ml, lo cual corrobora los altos niveles de DBO_5 que sobrepasan los límites permisibles para los coliformes totales.

En lo concerniente a los análisis de los compuestos orgánicos en los sedimentos:

11. Los pesticidas organofosforados al igual que los bifenilos policlorados no fueron detectados. La concentración del 4'4-DDD detectado es inferior al TEL (threshold effect level), que indica que es poco probable que tenga efectos biológicos.
12. En cuanto a los HAPs, las más altas concentraciones detectadas en $\mu\text{g.Kg}^{-1}$ fueron: antraceno 11,11; fenantreno 25,306; fluoranteno 1,267; fluoreno 0,960; y pireno 8,260; concentraciones que son inferiores al valor orientador del TEL, de la Canadian Council of Ministers of the Environment.

En lo concerniente a los análisis de los metales pesados en los sedimentos:

13. Las conclusiones de los metales pesados en los sedimentos se las realiza en base a las Guías de calidad de sedimentos en aguas frescas de la Canadian Council of Ministers of the Environment.
14. Los niveles de concentración del cadmio en el 85% son superiores a TEL fijado en máximo de $0,6 \text{ mg.Kg}^{-1}$, pero inferiores al PEL (probable efecto biológico), en el caso del cobre, la estaciones que indican los más altos valores promedios son Nobol, Daule, Puente Lucía. En el caso del cromo el 69% de las determinaciones se encuentran en niveles superiores al TEL, pero en valores inferiores al PEL, las estaciones que tiene los altos promedios de concentración son: Balzar, Nobol y Daule. Para el cromo los valores promedios de las estaciones que presentan niveles superiores al TEL son las de Balzar y Palestina. Para mercurio un 14% de las determinaciones es superior al TEL fijado en $0,17 \text{ mg.Kg}^{-1}$; todos los valores promedios por estaciones son inferiores al TEL. Para los elementos níquel y cinc, los valores promedios encontrados los ubican en

niveles inferiores al PEL, en el caso del plomo los promedios se encuentran en niveles de concentración inferior al TEL.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Derrotero de la Costa Continental e insular del Ecuador, Publicado por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), 4ta edición, 1 (2005) 11.
- [2] Pierre Pourrut, Agua en el Ecuador; clima, precipitaciones escorrentía; Artículo III; Corporación Editora nacional (1995) 4-56.
- [3] UNESCO, Patrimonio de la Humanidad; Lista actualizada (2011).
- [4] Y.A. Shiklomanov, and J.C. Rodda, World Water Resources at the Beginning of the 21st Century, Published by the press of the Syndicate of the University of Cambridge; UNESCO (2003) 4-120.
- [5] Informe sobre desarrollo 2006, capítulo 4 escasez de agua y vulnerabilidad; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), (2006) 1-45.
- [6] J. Winpenny, I. Heinz, Sasha Koo Oshima, Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma (2013) 1-114.
- [7] Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas-UNESCO.
<http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/>
- [8] Water for People, Water for Life, World Water Assessment Programme, The United Nations World Water Development Report, (2003) 1-34.
- [9] Organización Mundial de la Salud, Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares, Organización Mundial de la salud (2007) 7-34.
- [10] Nota descriptiva N° 330, Enfermedades diarreicas, Organización Mundial de la Salud, (2009).

- [11] J. Jurado, F. Elhers, División Hidrográfica del Ecuador; Secretaria Nacional del Agua, Secretaria General de la comunidad Andina del Agua, (2009) 1-59.
- [12] Secretaría nacional del Agua, CEPAL-GIZ. Oferta y Demanda Hídrica del Ecuador, Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) 2011 1-11.
- [13] Secretaría Nacional del Agua, Resumen, Problemática y Conflictos sobre Recursos Hídricos por Efecto del cambio Climático Convenio DED-SENAGUA, (2009) 1-28.
- [14] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo y el Programa ART/PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), que cuenta con el apoyo de la Agencia Española de Cooperación internacional para el Desarrollo (AECID), el Gobierno Vasco y el Gobierno de las Islas Baleares, Agenda zonal para el buen vivir (2010) 1-20.
- [15] Ley de creación de la Comisión de Estudios CEDEGE; Registro Oficial 645 del 13 de diciembre de 1965.
- [16] Plan regional integrado de la Cuenca del Río Guayas y de la Península de Santa Elena. Cooperación técnica CEDEGE, Naciones Unidas- CEPAL/ILPES. Guayaquil, Julio, 1983.
- [17] Operación del Embalse Daule-Peripa y Central Marcel Laniado; Hidroeléctrica Nacional S.A, 2, 4 (2009) 1-5.
- [18] J. Prado, J. Luján, A. Palma, P. Sánchez, Plan hidráulico del acueducto de Santa Elena, Ingeniería Civil, 136 (2004) 115-130.
- [19] Estudio de Impacto Ambiental Definitivo, Proyecto Multipropósito BABA, Consorcio Hidroenergético del Litoral, 4 (2006) 1-2.
- [20] El Instituto Nacional de Preinversión (INP) (2012) 1-2.

- [21] F. Rossel, E. Cadier; G. Gómez, Inundaciones en la Zona Costera Ecuatoriana: Causas; Obras de Protección Existentes y Previstas; ; Bull. Inst. fr. Études andines 25(3) (1996) 399-420.
- [22] N. Burbano, S. Becerra, E. Pasquel, Introducción a la Hidrogeología del Ecuador- Caracterización hidrológica de la cuenca del río Guayas; INAMHI 2009.
- [23] Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP/SIGAGRO/ANÁLISIS SECTORIAL ENERO del 2011.
- [24] Revista Universidad de Guayaquil, 5 (1967) 26-27.
- [25] J. A. Torres Constante, Prefectura del Guayas-Dirección de Medio Ambiente Fortalecimiento de la institucionalidad para la Gestión Integrada de la Subcuenca del Río Daule, (2012) 1-4.
- [26] Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TUSLMA)-Norma Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua del Ministerio del Ambiente 2003.
- [27] V. Guzmán, R. Narváez, Concesiones de aguas en el Ecuador, (2010) 1-10.
- [28] C. Chamorro, E. Heredia C, D. Pazmiño, Análisis de Contexto para la Gestión Integrada del Agua en Ecuador, Informe Final, fundación ambiente y sociedad, equipo consultor, (2005) 1-36.
- [29] A. Linck, N. Weemaels, Hacia una Agenda Sudamericana del Agua; Friedrich Ebert Stiftung, FES-ILDIS (2010) 30-31.
- [30] B. Castro Merizalde; Proyecto Regional y Sistemas Integrados de Tratamiento y Usos de Aguas Residuales en America Latina: Potencial y Realidad; Convenio: IDRC-OPS/HEP/CEPIS 2000-2002, (2002) 2-20.

-
- [31] H. Cabrera, M. Garcés y P. Paredes, Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, WHO, UNEP, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID), Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en el Ecuador (2012) 4-6.
- [32] Revista Vistazo; Marzo (2012) 25.
- [33] Manual de Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA-AWWA-WPCF, Edición 17, 1992
- [34] D. Muir, R. Lohmann, Water as a new matrix for global assessment of hydrophilic POPs, Trends in Analytical Chemistry, 46 (2013) 162-171.
- [35] N.D. Dean Jr, Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; Comparison with other methods; J. Sedim. Petrol. 44: (1974) 242-248.
- [36] S. Sakan, D. Đorđević, G. Dević, D. Relić, I. Anđelković, J. Đuričić, A study of trace element contamination in river sediments in Serbia using microwave-assisted aqua regia digestion and multivariate statistical analysis, Microchemical Journal 99 (2011) 492-502.
- [37] T. Campisi, F. Abbondanzi, C. Casado-Martinez, T.A. DelValls, R. Guerra, A. Iacondini, Effect of sediment turbidity and color on light output measurement for Microtox Basic Solid-Phase Test, Chemosphere 60 (2005) 9–15.
- [38] A.R. Ovalle, C.F. Silva, C.E. Rezende, C.E.N. Gatts, M.S. Suzuki, R.O. Figueiredo, Long-term trends in hydrochemistry in the Paraíba do Sul River, southeastern Brazil, Journal of Hydrology 481 (2013) 191-203.
- [39] M. Wit, and G. Bendricchio, Nutrient fluxes in the Po basin, Sci. Total Environ. 273 (2001) 147-161.

-
- [40] J. Delgado, R. Juncosa, H. Hernández, I. Falcón, A. Vázquez, Comparative hydrochemistry of five nested catchments located in the upper part of the Barcés river watershed (A Coruña, NW Spain) ; *Applied Geochemistry* 26 (2011) 179-182.
- [41] M.A. Velázquez Machuca, J. L. Pimentel Equihua, M. Ortega Escobar, Variaciones longitudinales y temporales en la hidroquímica del río Duero, *Agrociencia* 44 5 (2010) 1-5.
- [42] WHO Guidelines for Drinking-water Quality Third Edition Incorporating The First AND SECOND Agenda Volume 1 Recommendations 2008.
- [43] S. Rose, The effects of urbanization on the hydrochemistry of base flow within the Chattahoochee River Basin (Georgia, USA), *Journal of Hydrology* 341 (2007) 42-54.
- [44] M. Toro, S. Robles, J. Avilés, C. Nuño, Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. Características físico-químicas. *Limnetica* 21(3-4) (2002) 63-75.
- [45] D. Scotland, H. P. Jarvie, C. Neal, R. Smart, R. Owen, D. Fraser, I. Forbes, A. Wade, Use of continuous water quality records for hydrograph separation and to assess short-term variability and extremes in acidity and dissolved carbon dioxide for the River, *The Science of the Total Environment* 265 (2001) 85-98.
- [46] R.H. Piedrahita, Calculation of pH in Fresh and Sea Water Aquaculture Systems, *Aquacultural Engineering*, V 14-4 (1995) 331-346.
- [47] R. Blaine McCleskey, D. Kirk Nordstrom, Joe N. Ryan, Electrical conductivity method for natural waters, *Applied Geochemistry* 26 (2011) S227-S229.

-
- [48] G.M. Zinabu, Lauren J. Chapman, C.A. Chapman, Conductivity as a predictor of a total cations and salinity in Ethiopian lakes and rivers: revisiting earlier models, *Limnologia* 32 (2002) 21-26.
- [49] S. Muangkaew, I.D. McKelvie, M.R. Grace, M. Rayanakorn, K. Grudpan, J. Jakmunee, D. Nacapricha, A reverse-flow injection analysis method for the determination of dissolved oxygen in fresh and marine waters, *Talanta* 58 (2002) 1285-1291.
- [50] J.F. Maestre Valero, V. Martínez Alvarez, Effects of drip irrigation systems on the recovery of dissolved oxygen from hypoxic water, *Agricultural Water Management* 97 (2010) 1806-1812.
- [51] M.L. Feng, T. SUN, L.X. Zhang and X. M. Shen, Net Ecosystem Metabolism Simulation by Dynamic Dissolved Oxygen Model in Yellow River Estuary, China, *Environmental Sciences* 13 (2012) 807-817.
- [52] J.J. Pauer and M.T. Auer, Nitrification in the water column and sediment of a hypereutrophic Lake and adjoining river system, P II: 0043-1354 (1999) 258-264.
- [53] P. Sta Inackea, A. Grimvallb, C. Libisellerb, M. Laznikc, I. Kokorite, Trends in nutrient concentrations in Latvian rivers and the response to the dramatic change in agriculture, *Journal of Hydrology* 283 (2003) 184-205.
- [54] M. Cutrofello, J.L. Durant, Fate of high loads of ammonia in a pond and wetland downstream from a hazardous waste disposal site, *Chemosphere* 68 (2007) 1365-1376.
- [55] L.A. Albert, nitratos y nitritos, La toxicidad de nitratos y nitritos cap. 17 <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-03a17.pdf>

-
- [56] B.S. Gentle, P.S. Ellis, M.R. Grace, Ian D. McKelvie, Flow analysis methods for the direct ultra-violet spectrophotometric measurement of nitrate and total nitrogen in freshwaters, *Analytica Chimica Acta* 704 (2011) 116-122.
- [57] F. Worrall, T.P. Burt, Decomposition of river water nitrate time-series comparing agricultural and urban signal, *The science of the Total Environment* 210/211 (1998) 153-162.
- [58] C. Neal, H.P. Jarvie, M. Neal, L. Hill, H. Wickham, Nitrate concentrations in river waters of the upper Thames and its tributaries, *Science of the Total Environment* 365 (2006) 15-32.
- [59] N. Pourreza, M. Reza Fat'hi, A. Hatami, Indirect cloud point extraction and spectrophotometric determination of nitrite in water and meat products, *Microchemical Journal* 104 (2012) 22-25.
- [60] Y. Seike, R. Fukumori, Y. Senga, H. Oka, K. Fujinaga, M. Okumura, A simple and sensitive method for the determination of hydroxylamine in fresh water samples using hypochlorite followed by gas chromatography, *Anal. Sci.* 20 (2004) 139-142.
- [61] M. Von der Wiesche and A. Wetzel, Temporal and Spatial dynamics of Nitrite Accumulation in the River Lahn,; PII: ; Vol. 32 (1998) 1653-1661.
- [62] A. Petruck, U. Stöffler, On the history of chloride concentrations in the River Lippe (Germany) and the impact on the macroinvertebrates, *Limnológica* 41 (2011) 143-150.
- [63] K.S. Godwin, S. D. Hafner, M. F. Buf, Long-term trends in sodium and chloride in the Mohawk River, New York: the effect of fifty years of road-salt application, *Environmental Pollution* 124 (2003) 273-281.

-
- [64] World Health Organization, Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition, 2011.
- [65] Y.C. Lai, Y.T. Tu, C.P. Yang b, R.Y. Surampalli, C.M. Kao, Development of a water quality modeling system for river pollution index and suspended solid loading evaluation, *Journal of Hydrology* 478 (2013) 89-101.
- [66] Organización Mundial de la Salud, 2006; Guías para la calidad del agua potable Primer Apéndice a la Tercera Edición Volumen 1 Recomendaciones (2006) 1-9.
- [67] K.I. Skene, T. Mulder, and J.P.M. Syvitski, INFLO1: A Model Predicting the Behaviour of Turbidity Currents Generated at River Mouth, *Computers & Geosciences* 23-9 (1997) 975-991.
- [68] A.M. De Vincenzo, B. Molino, R. Viparelli, and P. Caramuscio, A methodological approach for estimating turbidity in a river, *International Journal of Sediment Research* 26 (2011) 112-119.
- [69] H. Fenga, J.K. Cochran, D.J. Hirschberg, Transport and sources of metal contaminants over the course of tidal cycle in the turbidity maximum zone of the Hudson River estuary, *Water Research* 36 (2002) 733-743.
- [70] R. Marin Galvin *Fisicoquímica y Microbiología de los Medios Acuáticos. Tratamiento y Control*, (2003) 22.
- [71] S. Zhang, X.X. Lua, H. Sun, J. Han, D.L Higgitt, Geochemical characteristics and fluxes of organic carbon in a human-disturbed mountainous river (the Luodingjiang River) of the Zhujiang (Pearl River), China, *Science of the Total Environment* 407 (2009) 815-825.
- [72] H.I. Emara, Total organic carbon content in the waters of the Arabian gulf, *Environment International*, 24 (1998) 97-103.

-
- [73] F. Castillo, P. González, E. Álvarez Varela, GT. Ochoa, I.V. Grandal, J. Fagundo Sierra, M. Suárez, C. M. Rodríguez Solución de problemas ambientales mediante la Modelación Hidrogeoquímica, *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 36, (2005) 1-5.
- [74] T. Uluturhan E, Kucuksezgin F, Heavy metal contaminants in Red Pandora (*Pagellus erythrinus*) tissues from the Eastern Aegean Sea, *Water Res.* 41(6) (2007) 1185-1192.
- [75] M. Farhang, M. Ghazi Khansari, N. Jafarzadeh, Heavy metals (Ni, Cr, Cu) in the Karoon waterway river, V. Iran V, *Diagomanolin, Toxicology Letters* 151 (2004) 63-68
- [76] Y.W. Chiang, K. Ghyselbrecht, R. M. Santos, A Johan. Martens, Rudy Swennen, V. Cappuyns, B. Meesschaert, Adsorption of multi-heavy metals onto water treatment residuals: Sorption capacities and applications, *Chemical Engineering Journal* 200–202 (2012) 405-415.
- [77] J.C. McGeer, C. Szebedinszky, D. Gordon McDonald, C.M, Effects of chronic sublethal exposure to waterborne Cu, Cd or Zn in rainbow trout 2: tissue specific metal accumulation, . *Wood Aquatic Toxicology* 50 (2000) 245-256
- [78] M. Canli, G. Atli. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environ Pollut*, 121(2003) 129-36.
- [79] M. He, Z. Wang and H. Tang, The chemical, toxicological and ecological studies in assessing the heavy metal pollution in Le An river, china, *Wat. Res.* 32-2 (1999) 510-518.
- [80] M. He, Z. Wang, H. Tang Modeling the ecological impact of heavy metals on aquatic ecosystems: a framework for the development of an ecological model, *The Science of the Total Environment* 266 (2000) 291-298.

-
- [81] A. Veysseyre, K. Moutard, C. Ferrari, K. Van de Velde, C. Barbante, G. Cozzi, G. Capodaglio, C. Boutron, Heavy metals in fresh snow collected at different altitudes in the Chamonix and Maurienne valleys, French Alps: initial results, *Atmospheric Environment* 35 (2001) 415-425.
- [82] A. Simonetti, C. Gariépy, and J. Carignan, Pb and Sr isotopic compositions of snowpack from Québec, Canada: Inferences on the sources and deposition budgets of atmospheric heavy metals, *Cosmochimica Acta*, 64-1, (2000) 5-20.
- [83] D. Karamanis, K. Stamoulis, K. Ioannides, D. Patiris, Spatial and seasonal trends of natural radioactivity and heavy metals in river waters of Epirus, Macedonia and Thessalia, *Desalination* 224 (2008) 250-260.
- [84] H. Zhang, B. Cui, R. Xiao, H. Zhao, Heavy metals in water, soils and plants in riparian wetlands in the Pearl River Estuary, South China, *Procedia Environmental Sciences* 2 (2010) 1344-1354.
- [85] A. Kaushik, A. Kansal, S. Kumari, C.P. Kaushik, Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: Assessment by Metal Enrichment Factor of the Sediments; *Journal of Hazardous Materials* 164 (2009) 265-270
- [86] D. Karamanisa, K. Stamoulis, K. Ioannides, D. Patiris, Spatial and seasonal trends of natural radioactivity and heavy metals in river waters of Epirus, Macedonia and Thessalia, *Desalination* 224 (2008) 250-260.
- [87] M. Gadd, Microbial influence on metal mobility and application for bioremediation, *Geoderma* 122 (2004) 109-119.
- [88] C. White, J. A. Sayer, G. M. Gadd, Microbial solubilization and immobilization of toxic metals: key biogeochemical processes for treatment of contamination, *Fems Microbiology Reviews* 20 (1997) 503-516.

-
- [89] S.S. Sengor, N.F. Spycher, T.R. Ginn, R. K. Sani, B. Peyton, Biogeochemical reactive–diffusive transport of heavy metals in Lake Coeur d’Alene sediments, *Applied Geochemistry* 22 (2007) 2569-2594
- [90] B.T. Hart, Uptake of trace metals by sediments and suspended particles: A review. *Sediment/Freshwater interaction, Dev in Hydrobiol. Junk, The Hague.* 9 (1982) 299-313.
- [91] L.A. Warren, Elizabeth A. Haack, Biogeochemical controls on metal behaviour in freshwater environments. *Earth-Science Reviews* 54 (2001) 261-320.
- [92] S. Villanueva, F. Alfonso, V. Botello y F. Paez Ozuna, Evaluacion de algunos metales pesados en organismos del río Coatzacoalcos y de la laguna del Ostion, *Contam. Ambient.* 4 (1988) 19-31.
- [93] J.P. Navarro Aviñó, I. Aguilar Alonso, J.R. López-Moya, Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas, Universidad, Politécnica de Valencia, *Revistas Ecosistemas* 12 -2 (2007)
- [94] C.G. Argota Pérez, H. Argota Coello, Evaluación ambiental del río San Juan de Santiago de Cuba por exposición bioacumulativa a metales pesados, *MEDISAN* 16 8 (2012) 1-4.
- [95] S.R. Lim, J.M. Schoenung, Human health and ecological toxicity potentials due to heavy metal content in waste electronic devices with flat panel displays, *Journal of Hazardous Materials* 177 (2010) 251-259.
- [96] M.J. McLaughlin, R.E. Hamon, R.G. McLaren, T.W. Speir and S. L. Rogers, Review: A bioavailability-based rationale for controlling metal and metalloid contamination of agricultural land in Australia and New Zealand, *Australian Journal of Soil Research* 38(6) (2000) 1037-1086.

- [97] X.I. Zhonga, S. Zhoub, Q. Zhuc, Q. Zhao, Fraction distribution and bioavailability of soil heavy metals in the Yangtze River Delta-A case study of Kunshan City in Jiangsu Province, China, *Journal of Hazardous Materials* 198 (2011) 13-21.
- [98] D.J. Burbridge, I. Koch Chromium speciation in river sediment pore water contaminated by tannery effluent, *Chemosphere* 89 (2012) 838-843.
- [99] X.L. Zhong, S.L. Zhou, Qing Zhu, Q.G. Zhao, Fraction distribution and bioavailability of soil heavy metals in the Yangtze River Delta-A case study of Kunshan City in Jiangsu Province, China, *Journal of Hazardous Materials* 198 (2011) 13–21).
- [100] Technology Transfer Network Air Toxics Web Site; Arsenic Compounds, 07-02-8, Hazard Summary; Arsenic Compounds, Revised in December (2012);1-4 <http://www.epa.gov/ttnatw01/hlthef/arsenic.html>
- [101] T. Agusa, T. Kunito, T. Binh Minh, Pham T. Kim Trang, H. Iwata, Pham Hung Viet, Shinsuke Tanabe, Relationship of urinary arsenic metabolites to intake estimates in residents of the Red River Delta, Vietnam, *Environmental Pollution* 157 (2009) 396-403.
- [102] Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. (ATSDR), Reseña toxicológica del cadmio, Departamento de salud y servicios humanos de EE. UU., Servicio de salud pública 1999.
- [103] T. Ishihara, E. Kobayashi, Y. Okubo, Y. Suwazono, T. Kido, M. Nishijyo, H. Nakagawa, K. Nogawa, Association between cadmium concentration in rice and mortality in the Jinzu River basin, Japan, *Toxicology* 163 (2001) 23-28
- [104] C. Rubio, D. González Weller, R. E. Martín Izquierdo, C. Revert, I. Rodríguez y A. Hardisson, Zinc: an essential oligoelement, *Nutr. Hosp.* 22-1 (2002) 101-107.

- [105] National Research Council. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. Institute of Medicine/Food and Nutrition Board. National Academy Press. Washington DC, 2001.
- [106] H. Gaete, F. Aránguiz, G. Cienfuegos, M. Tejos, Heavy metals and toxicity of waters of the Aconcagua River in Chile, *Quím. Nova*, 30-4 (2007) 885-891.
- [107] G. Liu, X. Chai, Y. Shao, L. Hu, Q. Xie, H. Wu, Toxicity of copper, lead, and cadmium on the motility of two marine microalgae *Isochrysis Galbana* and *Tetraselmis*, *Journal of Environmental Sciences*, 23(2) (2011) 330-335.
- [108] Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades., (ATSDR)., *Reseña toxicológica del cobre*, Departamento de salud y servicios humanos de EE. UU., Servicio de salud pública (2004).
- [109] M.A. Scelzo, Toxicidad del cobre en larvas nauplii del camarón comercial *Artemesia longinaris* Bate (Crustacea, Decapoda, Penaeidae), *Investig. 25* (1997) 177-185
- [110] Copper's, antibacterial properties, (<http://www.cobrebactericida.org/proyecto/registro-epa>)
- [111] A. K. Mishra, B. Mohanty, Acute toxicity impacts of hexavalent chromium on behavior and histopathology of gill, kidney and liver of the freshwater fish, *Channa punctatus* (Bloch), *Environmental Toxicology and Pharmacology* 26 (2008) 136-141.
- [112] G. Papanikolaou, K. Pantopoulos Iron metabolism and toxicity, *Toxicology and Applied Pharmacology* 202 (2005) 199-211.
- [113] M.I Olivares, G.T. Walter Consequences of iron deficiency, *Rev. chil. nutr.* 30 (2003) 226-233.

- [114] M. Leermakers, W. Baeyens, P. Quevauviller, M. Horvat, Mercury in environmental samples: Speciation, artifacts and validation, *Trends in Analytical Chemistry*, 24-5, (2005) 383-393.
- [115] A. Cain, R. Vannela, L. K. Woo, Cyanobacteria as a biosorbent for mercuric ion, *Bioresource Technology* 99 (2008) 6578-6586.
- [116] D.D Siciliano, N O'Driscoll, R.D. Lean. Microbial reduction and oxidation of mercury in freshwater lakes. *Environ Sci Technol* 2002 36 (2002) 3064-8.
- [117] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Productos químicos. Evaluación mundial sobre el Hg. Ginebra, Suiza. Dic. 2002. Pág. III.
- [118] H.Z. Tian, L. Lu, K. Cheng, J.M. Hao, D. Zhao, Y. Wang, W.X. Jia, P.P. Qiu, Anthropogenic atmospheric nickel emissions and its distribution characteristics in China, *Science of the Total Environment* 417-418 (2012) 148-157.
- [119] C. Rubio, A. Gutierrez, R. Martín-Izquierdo, Rev. El Plomo como contaminante Alimentario, *Toxicol.* 21 (2004) 72-80.
- [120] Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades., (ATSDR)., Reseña toxicológica del plomo, Departamento de salud y servicios humanos de EE. UU., Servicio de salud pública 2004
- [121] M.S. El-Shahawi A. Hamza, A.S. Bashammakh, W. T. Al-Saggaf, An overview on the accumulation, distribution, transformations, toxicity and analytical methods for the monitoring of persistent organic pollutants, *Atlanta* 80 (2010) 1587-1597.
- [122] M.H. Wong, A.O. Leung, J. K. Chan, M.P. Choi, A review on the usage of POP pesticides in China, with emphasis on DDT loadings in human milk, *Chemosphere* 60 (2005) 740-752.

-
- [123] H. Fiedler, E. Abad, B. van Bavel, J. de Boer, C. Bogdal, The need for capacity building and first results for the Stockholm Convention Global Monitoring Plan, Article in Press (2013).
- [124] X.P. Wang, J.J. Sheng, P. Gong, Y.Y. Xue, T-dong Yao, K.C. Jones, Persistent organic pollutants in the Tibetan surface soil: Spatial distribution, air-soil exchange and implications for global cycling, *Environmental Pollution* 170 (2012) 145-151.
- [125] F.S. Quéguine, L.M. Genon, Y. Roustan, P. Ciffroy, Contribution of atmospheric emissions to the contamination of leaf vegetables by persistent organic pollutants (POPs): Application to Southeastern, *Atmospheric Environment* 44 (2010) 958-967.
- [126] R. Kallenborn, Persistent organic pollutants (POPs) as environmental risk factors in remote high-altitude ecosystems, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 63 (2006) 100-107
- [127] C.A. de Wit, D.k Muir, Levels and trends of new contaminants, temporal trends of legacy contaminants and effects of contaminants in the Arctic: Preface; *Science of the Total Environment* 408 (2010) 2852-2853.
- [128] J. Klanova, N Matykiewiczova, Z. Macka, Pavel Prosek, K. Laska, P Klan., Persistent organic pollutants in soils and sediments from James Ross Island, Antarctica., *Environmental Pollution* 152 (2008) 416-423.
- [129] C. Miller Pérez, E. Sánchez Islas, S. Mucio Ramírez, J. Mendoza Sotelo, M. León Olea, Los contaminantes ambientales bifenilos policlorinados (PCB) y sus efectos sobre el Sistema Nervioso y la salud; *Salud Ment* 32-4 (2009) 1-10.
- [130] W. Tiewu, L. Yonglong, Z. Hong, S. Yajuan, Contamination of persistent organic pollutants (POPs) and relevant management in China, *Environment International* 31 (2005) 813-821.

- [131] A. Polder, T.N. Savinova, A. Tkache, K.B. Løken, J.O. Odland, J.U. Skaare
Levels and patterns of Persistent Organic Pollutants (POPS) in selected food items
from Northwest Russia (1998-2002) and implications for dietary exposure,
Science of the Total Environment 408 (2010) 5352-5361.
- [132] A.J. Hedley, L.L. Hui, K. Kypke, R. Malisch F.X.R. van Leeuwen, G. Moy, T.W.
Wong, E.A.S. Nelson, Residues of persistent organic pollutants (POPs) in human
milk in Hog Kong, *Chemosphere* 79 (2010) 259-265.
- [133] A.J. Hedley, L.L. Hui, K. Kypke, R. Malisch, F.X.R. van Leeuwen, G. Moy, T.W.
Wong, E.A.S. Nelson Estudios realizados en España sobre concentraciones en
humanos de compuestos tóxicos persistentes, *Gac. Sanit.* 22 (2008) 248-66.
- [134] S.J. Suna, J.H. Zhaoa, M. Kogae, Y.X Mab, D.W. Liub, M. Nakamuraf, L.H Jun.
Horiguchia, G.C. Clarkg, F. Kayama., Persistent organic pollutants in human milk
in women from urban and rural areas in northern China., *Environmental Research*
99 (2005) 285-293.
- [135] G. Charnley, J. Doull. Human exposure to dioxins from food, 1999-2002, *Food
and Chemical Toxicology* 43 (2005) 671-679.
- [136] L.S. Birnbaum, Developmental effects of dioxins and related endocrine
disrupting, *Chemicals Toxicology Letters* 82/83 (1995) 743-750.
- [137] F.P. Carvalho, Agriculture, pesticides, food security and food safety,
Environmental science & policy 9 (2006) 685-692.
- [138] F. Konradsen, W. Van der Hoek, D.C. Cole, G. Hutchinson, H. Daisley, S. Singh,
M. Eddleston, Reducing acute poisoning in developing countries-options for
restricting the availability of pesticides, *Toxicology* 192 (2003) 249-261.

-
- [139] F.G. Wijnands, Integrated crop protection and environment exposure to pesticides: methods to reduce use and impact of pesticides in arable farming ambientales, agronómicos y ecológicos, *European Journal of Agronomy* 7 (1997) 251-260.
- [140] C. Sattlera, H. Kachele, G. Verch, Assessing the intensity of pesticide use in agriculture, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119 (2007) 299-304.
- [141] N. Ghimire, R.T. Woodward, Under- and over-use of pesticides: An international analysis; *Ecological Economics* 89 (2013) 73-81.
- [142] S. Mostafalou, M. Abdollahi, Pesticides and human chronic diseases: Evidences, mechanisms, and perspectives, *Toxicology and Applied Pharmacology* 268 (2013) 157-177.
- [143] M.G. Hayo, M.G. Van der Werf, Sessing the impact of pesticides on the environment., *Agriculture, Ecosystems and Environment* 60 (1996) 81-96.
- [144] J.L. Acero, F.J. Benítez, F.J. Real, M. González, Chlorination of organophosphorus pesticides in natural waters, *Journal of Hazardous Materials* 153 (2008) 320-328.
- [145] Montaña, Proyecto GEF/2732-02-4456; Informe “Inventario plaguicidas COPs en el Ecuador, Ministerio del Ambiente, (2004) 19-20.
- [146] Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador
[[http://www.croplifeecuador.org/pdf/ Plaguicidas Prohibidos.pdf](http://www.croplifeecuador.org/pdf/PlaguicidasProhibidos.pdf)]
- [147] D.C. Cole, F. Carpio, and N. León, Economic burden of illness from pesticide poisonings in highland Ecuador, *Panam. Salud Publica* vol. 8 n.3 Washington Sep. 2000 196-201.

-
- [148] C. Gattini y P. Ruiz, Salud en las Américas; Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la salud (2012) 20-65.
- [149] G.W. Ware y D.M. Whitacre Introducción a los Insecticidas The Pesticide Book, 6th ed. (2004)
- [150] C. Batista Prates, S. Soler Gebara, N. Ré-Poppi, Analysis of organochlorine pesticides in water using headspace solid phase microextraction with gas chromatography and mass spectrometry, Quím. Nova, 34-7 (2011) 1260-1264
- [151] E.B. Jaramillo, M.P. Marrugo and E. Duarte, Monitoring of organochlorine pesticides residues in shrimp (*penaeus vannamei*) from the coastal area of Cartagena bay Colombia Rev. Bio Agro 8-2 Popayán (2010) 1-8
- [152] S.K. Sarkar, B.D. Bhattacharya, A. Bhattacharya, M. Chatterjee, A. Alam, K.K. Satpathy, M.P. Jonathan, Occurrence, distribution and possible sources of organochlorine pesticide residues in tropical coastal environment of India, Environment International 34 (2008) 1062-1071.
- [153] M.J. Cerejeira, P. Viana, S. Batista, T. Pereira, E. Silva, M.J. Valerio, A. Silva, M. Ferreira, A.M. Silva. Pesticides in Portuguese surface and ground waters, Water Research 37 (2003) 1055-1063.
- [154] Y.F. Guana, J.Z. Wanga, H.G. Nia, E.Y. Zeng, Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in riverine runoff of the Pearl River Delta, China: Assessment of mass loading, input source and environmental fate, Environmental Pollution 157 (2009) 618-624.
- [155] Z. Tang, Q. Huang, Y. Yang, X. Zhu, H. Fu, Organochlorine pesticides in the lower reaches of Yangtze River: Occurrence, ecological risk and temporal trends, Ecotoxicology and Environmental Safety 87 (2013) 89-97.

-
- [156] S.R. Rissato, M.S. Galhiane, V.F. Ximenes, J.L.B. Talamoni, M. Libani, M. V. de Almeida, B.M. Apon, A.A. Cavalari Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in soil and water samples in the Northeastern part of Sao Paulo State, Brazil, *Chemosphere* 65 (2006) 1949-1958.
- [157] C. Turgu, The contamination with organochlorine pesticides and heavy metals in surface water in Kucük Menderes River in Turkey, 2000-2002, *Environment International* 29 (2003) 29-32.
- [158] M.A. Pedlowski, M.C. Canela, M.A. da Costa Terra, R.M.R. de Faria, Modes of pesticides utilization by Brazilian smallholders and their implications for human health and the environment, *Crop Protection*, (2012) 113-118.
- [159] Ministerio del Medio Ambiente en EL Libro VI Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, 2003.
- [160] G.A. Jones, Persistent Bioaccumulative and Toxic (PBT) Chemical, Fact Sheet, *Environmental Technology* (2011) 1-12.
- [161] A. Setyo Purnomo, T. Morib, I. Kameic, R. Kondo, Basic studies and applications on bioremediation of DDT: A review, *International Biodeterioration & biodegradation* 65 (2011) 921-930.
- [162] Brown-Rot Fungi, A. Setyo Purnomo, I. Kamei, and R. Kondo. Degradation of 1,1,1-Trichloro-2,2-Bis (4-Chlorophenyl) Ethane (DDT), *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 105 (6) (2008) 614-621.
- [163] M.A. Nuñez, I. Estrada, S. Calderon Aranda, DDT inhibits the functional activation of murine macrophages and decreases resistance to infection by *Mycobacterium microti*, *Toxicology* 174 (2002) 201-210.

- [164] M.H. Wong, A.O.W. Leung, J.K.Y. Chan, M.P.K. Choi, A review on the usage of POP pesticides in China, with emphasis on DDT loadings in human milk, *Chemosphere* 60 (2005) 740-752.
- [165] EPA DDT -A Brief History and Status 2012.
- [166] R.M. Oliveira; L.H. Pinto, A.E. Oliveira, Residual concentration of hexachlorocyclohexane in a contaminated site in Cidade dos Meninos, Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Brazil, *Cad. Saúde Pública*, 19-2 (2003) 447-453.
- [167] Programa conjunto FAO/PNUMA para la aplicación del principio de información y consentimiento previos (ICP) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Roma-Ginebra, (1991) 1-7.
- [168] I.V, Robles, E. Ríos, J. Galíndez, S. Caffarel, Comportamiento adsorptivo-desorptivo del lindano en suelo agrícola, *INCI* 31-4 (2006) 1-4.
- [169] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes Perfil de Riesgos del Lindano noviembre 2006.
- [170] M.B. Zubero, J.J. Aurrekoetxea, J.M. Ibarluzea, F. Goñi, R. López, A. Etxeandia, C. Rodríguez y J.R. Saenz, Plaguicidas organoclorados en población general adulta de Bizkaia, *Gaceta Sanitaria* 24-4 (2010) 274-281.
- [171] M. Jiménez, A. Rivas , F. Olea, N. Olea, Pesticidas organoclorados en suero y tejido adiposo de mujeres del sureste español, *Ecosistemas*, XIII, 3 (2004) 1-8
- [172] J. Falandysza, B. Strandbergb, L. Strandberga, P. A. Bergqvistb, C. Rappas, Concentrations and spatial distribution of chlordanes and some other cyclodiene pesticides in Baltic plankton, *Environment* 215 (1998) 253-259.

- [173] Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, Breve perfil de las sustancias COP incluidas en el Convenio de Estocolmo y el Reglamento (CE) No 850 2004 .
- [174] Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España- Instituto Nacional en el Trabajo http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_512.pdf
- [175] M. Tankiewicz, J. Fenik, M. Biziuk Determination of organophosphorus and organonitrogen pesticides in water samples, Trends in Analytical Chemistry, 29-9, (2010) 1050-1053.
- [176] E. Carod Benedico, Los Insecticidas organofosforados. “De la guerra química al riesgo laboral y doméstico” MEDIFAM, 12-5 (2002); 12: 333-340
- [177] [176] Ma. A. Perez, A. Segura, R. Garcia, T. Colinas, M. Perez, A. Vazquez y H. Navarro, Organophosphate pesticide residues in broccoli (Brassica oleracea) heads determined by gas chromatography, Rev. Int. Contam. Ambient 25 (2) (2009) 103-110.
- [178] D.J. Ecobichon, R.M. Roy, Pesticide and neurological disease, CRC Press. Inc. (1982) 151-203.
- [179] P. Wang, Y. Tian, X. J. Wang, Y. Gao, R. Shi, G. Q. Wang, G. H. Hue, X. M. Shen, Organophosphate pesticide exposure and perinatal outcomes in Shanghai, China, Environment International 42 (2012) 100-104.
- [180] A. Cecchi M.G. Rovedatti, G. Sabino, G.G. Magnarell, Environmental exposure to organophosphate pesticides: Assessment of endocrine disruption and hepatotoxicity in pregnant women, Ecotoxicology and Environmental Safety 80 (2012) 280-287.

-
- [181] M. Qiao, C. Wang, S. Huang, D. Wang, Z. Wang, Composition, sources, and potential toxicological significance of PAHs in the surface sediments of the Meiliang Bay, Taihu Lake, China; *Environment International* 32 (2006) 28-33.
- [182] Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades (ATSDR), Hidrocarburos aromáticos policíclico (HAP), 1995
- [183] [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs69.html]
- [184] M. Nadal, M. Schuhmacher, and J.L. Domingo, Levels of metals, PCBs, PCNs and PAHs in soils of a highly industrialized chemical/petrochemical area: temporal trend. *Chemosphere* 66 (2007) 267-276.
- [185] Y.F. Jiang, X.T. Wang, F. Jia, M.H. Wu, G.Y. Sheng, and J.M. Fu, Levels, composition profiles and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soil of Shanghai, China, *Chemosphere* 75 (2009) 1112-1118.
- [186] J.J. Liu, X.C. Wang, B. Fan, Characteristics of PAHs adsorption on inorganic particles and activated sludge in domestic wastewater treatment, *Bioresource Technology* 102 (2011) 5305-5311.
- [187] Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Canadian Council of Ministers of the Environment, (2008) 1-19.
- [188] W. Wang, M. J. Huang, Y. Kang, H. S. Wang, Leung, K. Ch. Cheung, M. H. Wong; Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban surface dust of Guangzhou, China: Status, sources and human health risk assessment; *Science of the Total Environment* 409 (2011) 4519-4527.
- [189] I. Martorell, A. Nieto, Martí Nadal, G. Perelló, Rosa M. Marcé, José L. Domingo; Human exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using data from a

- duplicate diet study in Catalonia, Spain; *Food and Chemical Toxicology* 50 (2012) 4103-4108.
- [190] S. Gupta, K. Kumar, A. Srivastava, A. Srivastava, V. K. Jain, Size distribution and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in aerosol particle samples from the atmospheric environment of Delhi, India; *Science of the Total Environment* 409 (2011) 4674-4680.
- [191] M. Liua, S. B. Chenga, D.N. Oua, L.J. Houb, L. Gaoa, L.L. Wanga, Y.S. Xiea, Y. Yangc, S.Y. Xu, Characterization, identification of road dust PAHs in central Shanghai areas, China, *Atmospheric Environment* 41 (2007) 8785-8795.
- [192] M. Amodio, M. Caselli, G. de Gennaro, M. Tutino, Particulate PAHs in two urban areas of Southern Italy: Impact of the sources, meteorological and background conditions on air quality; *Environmental Research* 109 (2009) 812-820.
- [193] T.T. Trang, D. Byeong Kyu Le, Característicos, toxicity, and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Ulsan, Korea; *Chemosphere* 74 (2009) 1245-1253.
- [194] M. Adonis, V. Martínez, R. Riquelme, P. Ancic, G. González, R. Tapia, M. Castro, D. Lucas, F. Berthou, L. Gil; Susceptibility and exposure biomarkers in people exposed to PAHs from diesel exhaust; *Toxicology Letters* 144 (2003) 3-15.
- [195] Y. Wang, P.H. Li, H.L. Li, X.H. Liu, W.X. Wang; PAHs distribution in precipitation at Mount Taishan China. Identification of sources and meteorological influences; *Atmospheric Research* 95 (2010) 1-7.
- [196] D. Ollivon, H. Blanchoud, A. Motelay Massei, B. Garban; Atmospheric deposition of PAHs to and urban site, Paris, France, *Atmospheric Environment* 36 (2002) 2891-2900

- [197] N. Qin, W. He, X. Z. Kong, W. X. Liu, Q. S. He, B. Yang, H.L. Ouyang, Q. M. Wang, F. L. Xu, Ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the water from a large Chinese lake based on multiple indicators, *Ecological Indicators* 24 (2013) 599-608.
- [198] M. K. Songa, H. S. Choia, Y. J. Kimc, Y. K. Parkb, J. C. Ryua, Identification of molecular signatures predicting the carcinogenicity of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs); *Toxicology Letters* 212 (2012)18-28.
- [199] B.A. Hatjian, J.W. Edwards, J.Harrison, F.M. Williams, P.G. Blain; Ambient, biological, and biological effect monitoring of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), *Toxicology Letters* 77 (1995) 271-279.
- [200] M. Engraffa, C. Solereb, E.C. Kilian, M. Smithb, P. Mayer, I. Dahllöf; Aquatic toxicity of PAHs and PAH mixtures at saturation to benthic amphipods: Linking toxic effects to chemical activity; *Aquatic Toxicology* 102 (2011) 142-149.
- [201] J.M. Llobeta, R. Mart, V. Castell, J.L. Domingo; Significant decreasing trend in human dietary exposure to PCDD/PCDFs and PCBs in Catalonia, Spain; *Toxicology Letters* 178 (2008) 117-126.
- [202] G.H. Xing, S.C. Wu, M.H. Wong, Dietary exposure to PCBs based on food consumption survey and food basket analysis at Taizhou, China -The World's major site for recycling transformers, *Chemosphere* 81 (2010) 1239-1244.
- [203] S. Safe, K. Washburn, T. Zacharewski and Timothy Phillips, Synthesis and Characterization of Hydroxylated Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Identified in Human Serum, *Chemosphere*, 31- 4 (1995) 3017-3023.
- [204] J.D. Fitzsimons, A Critical Review of the Effects of Contaminants on Early Life Stage (ELS) Mortality of Lake Trout in The Great Lakes, (1995) 267-276.

- [205] X.S. Miao, G.H. Balazsb, K.K. Shawn, Q.X. Murakawa, Congener-specific profile and toxicity assessment of PCBs in green turtles *Chelonia mydas*/ from the Hawaiian Islands; *The Science of the Total Environment* 281 (2001) 247-253.
- [206] Y. Masuda Behavior and toxic effects of PCBs and PCDFs in Yusho patients for 35 years on behalf of the Study Group for Yusho *Journal of Dermatological Science Supplement* 1 (2005) 11-20.
- [207] H. Hung, R. Kallenborn, K. Breivik, Y. Su, E. Brorström Lundén, K. Olafsdottir, J. M. Thorlacius, S Leppänen, R Bossi, H Skov, S Manø, G. W. Patton, G. Stern, E. Sverko, P. Fellin, Atmospheric monitoring of organic pollutants in the Arctic under the Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP): 1993–2006 *Science of the Total Environment* 408 (2010) 2854-2873.
- [208] X.P. Wang, T.D. Yao, Z.Y. Cong, X.L. Yan, S. Ch. Kang, Y. Zhang; Gradient distribution of persistent organic contaminants along northern slope of central-Himalayas, China; *Science of the Total Environment* 372 (2006) 193-202.
- [209] E.S. Choya, L.E. Kimpea, M.L. Malloryb, J.P. Smolc, J.M. Blais, Contamination of and Arctic terrestrial food web with marine-derived persistent organic pollutants transported by breeding seabirds; *Environmental Pollution* 158 (2010) 3431-3438.
- [210] T. Meyera, F. Wania; What environmental fate processes have the strongest influence on a completely persistent organic chemical's accumulation in the Arctic?, *Atmospheric Environment* 41 (2007) 2757–2767.
- [211] Turgeon, M.J. Rodriguez, M. Thériault, P. Levallois, Perception of drinking water in the Quebec City region (Canada): the influence of water quality and consumer location in the distribution system, *Journal of Environmental Management* 70 (2004) 363-373.

-
- [212] Informe Progress on Drinking Water and Sanitation Ginebra/Nueva York OMS/UNICEF 2012.
- [213] G. Kim, J. Hur, Mortality rates of pathogen indicator microorganisms discharged from point and non-point sources in an urban area, *Journal of Environmental Sciences*, 22(6) (2010) 929-933.
- [214] D. Schoenen, Role of disinfection in suppressing the spread of pathogens with drinking water: possibilities and limitation, *Water Research* 36 (2002) 3874-3888.
- [215] Microbial Aspects chapter 7 peg 117-149 Guidelines for Drinking-water Quality; FOURTH EDITION, World Health Organization 2011.
- [216] M.J. Lehtola, I.T. Miettinen, A. Hirvonen, T. Vartiainen, P.J. Martikainen, Estimates of microbial quality and concentration of copper in distributed drinking water are highly dependent on sampling strategy, *Int. J. Hyg. Environ. Health* 210 (2007) 725-732.
- [217] S. Völker, C. Schreiber, T Kistemann, Drinking water quality in household supply infrastructure-A survey of the current situation in Germany, *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 213 (2010) 204–209.
- [218] O.A. Olaoye, A.A. Onilude, Assessment of microbiological quality of sachet-packaged drinking water in Western Nigeria and its public health significance, *Public Health* 123 (2009) 729–734.
- [219] C. Levantesi, L. Bonadonna, R. Briancesco, E. Grohmann, S. Toze, V. Tandoi Salmonella in surface and drinking water: Occurrence and water-mediated transmission, *Food Research International* 45 (2012) 587-602.
- [220] L.J. Cerda, G.C. Valdivia, J. Snow The cholera epidemic and the foundation of modern epidemiology, *Rev. chil. Infectol.* 24 (4) (2007) 331-334.

- [221] L. Fewtrell and J. Bartram, Excreta-related infections and the role of sanitation in the control of transmission; Richard Carr; World Health Organization (WHO). Water Quality: Guidelines, Standards and Health. Edited by Published by IWA Publishing, London, UK Page. 89-113.
- [222] EPA, Basic Information about E. coli 0157:H7 in Drinking Water (<http://water.epa.gov/drink/contaminants/basicinformation/ecoli.cfm>)
- [223] Chapter 7, microbial Aspects, Guidelines for Drinking-water Quality; 3Th EDIT, World Health Organization (2006) 105-126.
- [224] J. Passerat, N. Koffi Ouattara, Jean-Marie Mouchel, V. Rocher, P. Servais, Impact of and intense combined sewer overflow event on the microbiological water quality of the Seine River, water research 45 (2011) 893-903.
- [225] A. K.T. Kirschner, G.G. Kavka, B. Velimiro, R.T. L. Machd, R. Sommer, A.H. Farnleitner, Microbiological water quality along the Danube River, Integrating data from two whole-river surveys and a transnational monitoring network, water research 43 (2009) 3673-3684.
- [226] G. Won, T.R. Kline, J.T. Le Jeune, Spatial-temporal variations of microbial water quality in surface reservoirs and canals used for irrigation, Agricultural Water Management 116 (2013) 73-78.
- [227] A. Wales and J. Bartram, Water Quality; Guidelines, Standards and Health, (OMS) Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease, Edited by Lorna Fewtrell Centre for Research into Environment and Health, World Health Organization, Geneva, Switzerland (2001).
- [228] Enfermedades comunes relacionadas con el agua y el saneamiento.http://www.unicef.org/spanish/wash/index_wes_related.html

- [229] J.F. Schijven, P.F.M. Teunis, S.A. Rutjes, M. Bouwknecht, A.M. de Roda, QMRASpot: A tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from surface water to potable water *Water Research* 45 (2011) 5564-5576.
- [230] Comité de Microbiología Clínica Sociedad Chilena de Infectología, Laboratorio de Referencia de Bacteriología, Instituto de Salud Pública, Instituto de Ciencias Biomédicas, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Síndrome diarreico agudo: Recomendaciones para el diagnóstico microbiológico, *rev. chil. Infectol* 19-2 (2002) 1-7.
- [231] N.J. Ashbolt, Willie O.K. Grabow and Mario Snozzi, Indicators of microbial water quality, World Health Organization (WHO). *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*. Edited by and Jamie Bartram, UK (2001) 290-300.
- [232] N. J. Ashbolt, Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions, *Toxicology* 198 (2004) 229-238.
- [233] Y. Solarte, M. Peña, C. Madera, Colomb, Transmisión de protozoarios patógenos a través del agua para consumo humano, *Med.* 37-1 (2006) 1-9
- [234] J. D. Plummer, S. C. Long Monitoring source water for microbial contamination: Evaluation of water quality measures; ; *Water Research* 41 (2007) 3716-3728.
- [235] A.K.T. Kirschner, G.G. Kavka, B. Velimiro, L. Robert, Machd, R. Sommer, H. Andreas, Farnleitner Microbiological water quality along the Danube River: Integrating data from two whole-river surveys and a transnational monitoring network, ; *water research* 43 (2009) 3673-3684).
- [236] H. Cabrera, M. Garcés y P. Paredes, Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, WHO, UNEP, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID), Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en el Ecuador, , Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Ministerio de Salud, Pública, Quito Ecuador, EMAPAG-EP, Guayaquil, Ecuador

- [237] M. García Flores, J.A. Maza Álvarez, Origen y Propiedades de los Sedimentos, del manual de Ingenieros de Ríos, : Elaborado por la Comisión Nacional del Agua por el Instituto de Ingeniería UNAM 7 (1996) 56-73.
- [238] Ch. Ted Yang, R. Marsooli, and M. Taghi Aalami, Evaluation of total load sediment transport formulas using ANN, *International Journal of Sediment Research* 24 (2009) 274-286.
- [239] B. Wu, D.S. van Maren, and L. Li, Predictability of sediment transport in the Yellow River using selected transport formulas, *International Journal of Sediment Research* 23 (2008) 283-298.
- [240] E. Ruiz, A. Echeandía, F. Romero Relaciones entre Agua y Sedimento en Ríos de origen Torrencial, *Limnética*, 10 (1) (1994) 101-107.
- [241] Juan P. Martín Vide, Ediciones de la Universitat Poltecnic de Catalunya; Ingeniería de Ríos, segunda edición, (2006) 61-62.
- [242] A. Kontas, E. Can, Sediment concentrations of heavy metals in the Homa Lagoon (Eastern Aegean Sea): Assessment of contamination and ecological risks, *Esin Uluturhan*, *Marine Pollution Bulletin* 62 (2011) 1989–1997.
- [243] L. Zhang, X. Ye, H. Feng, Y. Jing, Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China, *Marine Pollution Bulletin* 54 (2007) 974-982.
- [244] L. Zhu, J. Xu, F. Wang, Ben Lee, An assessment of selected heavy metal contamination in the surface sediments from the South China Sea before 1998, *Journal of Geochemical Exploration* 108 (2011) 1-14.

- [245] S. Silva, P. Pestana, A. Rodrigues, V. Quintino, Sediment disturbance off the Tagus Estuary, Western Portugal: chronic contamination, sewage outfall operation and runoff events, *Marine Pollution Bulletin* 49 (2004) 154-162.
- [246] E. Garnacho, J.M. Bayona, J. Albaigés, Assessment of the Mediterranean sediments contamination by persistent organic pollutants, Anna Gómez Gutiérrez, *Environmental Pollution* 148 (2007) 396-408.
- [247] L. Placidina da Luz, P.J. Sanches Filho, E.E. Hasse de Sousa, T. Kerstner, E. Bastos Caramão, Evaluation of surface sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in colony Z3-(Patos Lagoon, Brazil), *Microchemical Journal* 96 (2010) 161-166.
- [248] W.I. Zheng, J. Lichwa, T. Yan, Impact of different land uses on polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in coastal stream sediments, *Chemosphere* 84 (2011) 376-382.
- [249] S. Sakan, D. Đorđević, G. Dević, D. Relić, I. Anđelković, J. Đuričić, A study of trace element contamination in river sediments in Serbia using microwave-assisted aqua regia digestion and multivariate statistical analysis, *Microchemical Journal* 99 (2011) 492-502.
- [250] A.I. Tuikka, C. Schmittb, S. Höss, N. Bandow, P.C. Von der Ohe, D. de Zwart, Toxicity assessment of sediments from three European river basins using a sediment contact test battery, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74 (2011) 123-131.
- [251] R. Llansó, B. Betts, *Programas de Gestión de Sedimentos Contaminados: ejemplo de aplicación en el Estado de Washington (EE. UU)*; Ediciones Madrid; Instituto Geológico y minero de España (2001) 10-20.
- [252] Stanley E. Manahan; *Introducción a la Química Ambiental*; Editorial Reverte, S.A. Barcelona; primera edición (2007) 293-294.

- [253] <http://www.epa.gov/triexplorer>
- [254] W.A. House, F.H. Denison, Total phosphorus content of river sediments in relationship to calcium, iron and organic matter concentrations, *The Science of the Total Environment* 282 (2002) 341-351.
- [255] Prevención de la Contaminación del agua por agricultura y Actividades Afines, *Anales de la Consulta de Expertos por la FAO*; 1993. Chile paginas 65-70.
- [256] D.E. Walling, Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems, *Science of the Total Environment* 344 (2005) 159-184.
- [257] Z.H. Shi, L. Ai, N.F. Fang, H.D. Zhu, Modeling the impacts of integrated small watershed management on soil erosion and sediment delivery: A case study in the Three Gorges Area, China, *Journal of Hydrology* 438–439 (2012) 156-167.
- [258] Ch.Ch. Hung, G.Ch. Gong, H.Y. Chen, Relationships between pesticides and organic carbon fractions in sediments of the Danshui River estuary and adjacent coastal areas of Taiwan, *Environmental Pollution* 148 (2007) 546-554.
- [259] E. Tessier, C. Garnier, J.U. Mullot, V. Lenoble, M. Arnaud, M. Raynaud, S. Mounier, Study of the spatial and historical distribution of sediment inorganic contamination in the Toulon bay (France), *Marine Pollution Bulletin* 62 (2011) 2075-2086.
- [260] Y. Yang, F. Chen, L Shang, J. Liu, S Wu, M. Kang, Comprehensive assessment of heavy metal contamination in sediment of the Pearl River Estuary and adjacent shelf, *Marine Pollution Bulletin* 64 (2012) 1947-1955.
- [261] D. E. Walling, Organización de las naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, *Gestión de Sedimentos y sus problemas en las Cuencas de los Ríos Asiáticos-Actas del Taller llevado a cabo en Hyderabad*, 349 (2009) 2-5.

-
- [262] A. Collins, M. Eismas, H. Glindemann, S. Hoornstra, H. Kothe, J. Quinton, K. Taylor; B. Westrichn, S. White and H. Wilkinson, Outcomes Sediment Management at the River Basin Scale WP2 Outcomes; Philip N. Owens, S. Apitz, R. Batalla, *JSS-J Soils & Sediments* 4 (4) (2004) 219-222.
- [263] M. Alvarez Guerra, J.R. Viguri, N. Voulvoulis, A multicriteria-based methodology for site prioritisation in sediment management, *Environment International* 35 (2009) 920-930.
- [264] L. Canis, N. Voulvoulis, J.R. Viguri, I. Linkov, Prioritization of sediment management alternatives using stochastic multicriteria acceptability análisis, *Science of the Total Environment* 408 (2010) 4354-4367.
- [265] V. Kapsimalis, I. Panagiotopoulos, T. Kanellopoulos, I. Hatzianestis, P. Antoniou, C. Anagnostou, A multi-criteria approach for the dumping of dredged material in the Thermaikos Gulf, Northern Greece, *Journal of Environmental Management* 91 (2010) 2455-2465.
- [266] M.C. Casado-Martínez, J.M. Forja, T.A. DelValls, A multivariate assessment of sediment contamination in dredged materials from Spanish ports, *Journal of Hazardous Materials* 163 (2009) 1353-1359.
- [267] N. Montero, M.J. Belzunce-Segarra, J-L. Gonzalez, I. Menchaca, J.M. Garmendia, N. Etxebarria, O. Nieto, J. Franco, Application of Toxicity Identificación Evaluación (TIE) procedures for the characterization and management of dredged harbor sediments, *Marine Pollution Bulletin* 71 (2013) 259-268.
- [268] R.C. Newell, L. J. Seiderer, D.R. Hitchcock, The Impact of Dredging Works in Coastal Waters: A Review of the Sensitivity to Disturbance and Subsequent Recovery of Biological Resources on the Sea Bed, *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 36 (1998) 127-78.

- [269] M. Valent Raymond, Response of benthic infauna and epifauna to ocean disposal of red clay dredged material in the New York Bight: A study using sediment-profile imaging, surface imaging and traditional methods, *Journal of Marine Systems* 62 (2006) 173-188.
- [270] M. Miraoui, R. Zentar, Nor-Edine Abriak, Road material basis in dredged sediment and basic oxygen furnace steel slag, *Construction and Building Materials* 30 (2012) 309-319.
- [271] V. Dubois, N. E. Abriak, Mechanical behaviour and environmental impacts of a test road built with marine dredged sediments, *Resources, Conservation and Recycling* 52 (2008) 947-954.
- [272] Organización Marítima Internacional, Impreso en el Reino Unido por Bookcraft (Bath) Ltda. 2002.
- [273] Recommendations for the management of dredged material in the port of Spain, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente-CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas); Madrid 1994.
- [274] S. McCreedy, F. Gavin, E.R. Long, Metallic and organic contaminants in sediments of Sydney Harbour, Australia and vicinity-A chemical dataset for evaluating sediment quality guidelines, *Environment International* 32 (2006) 455-465.
- [275] C. Casado Martínez, Caracterización de material de dragado optimizando un método integrado de evaluación de la calidad ambiental, Universidad de Cádiz (2006) 20
- [276] J. Bellas, O. Nieto, R. Beiras, Integrative assessment of coastal pollution: Development and evaluation of sediment quality criteria from chemical

-
- contamination and ecotoxicological data, *Continental Shelf Research* 31 (2011) 448-456.
- [277] G.F. Birch, T.D. Hogg, Sediment quality guidelines for copper and zinc for filter-feeding estuarine oysters? , *Environmental Pollution* 159 (2011) 108-115
- [278] D.M. Di Toro, C.S. Zarba, D.J. Hansen, W.J. Berry, R.C. Swartz, C.E. Cowen, S.P. Pavlou, H.E. Allen, N.A Thomas, P.R. Paquin (1991) Technical basis for establishing sediment quality criteria for nonionic organic chemicals by using equilibrium partitioning. *Environ Toxicol Chem* 12 (1991) 1541-1583.
- [279] T.P. O'Connor, and J.F. Paul, Misfit between sediment toxicity and chemistry. *Marine Pollution Bulletin* 40 (1) (2000) 59-64.
- [280] S.L. Simpson, G.E. Batley, I.L. Hamilton, D.A. Spadaro, Guidelines for copper in sediments with varying properties, *Chemosphere* 85 (2011) 1487-1495.
- [281] G.A. Burton, Jr, Sediment quality criteria in use around the world; *Limnology* 3 (2002) 65-75.
- [282] A. Eatherall, M.S Warwick, S. Tolchard, Identifying sources of dissolved organic carbon on the River Swale, Yorkshire, *The Science of the Total Environment* 251/252 (2000) 173-190.
- [283] Scientific Criteria Document for the Development of the Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Nitrate Ion, Canadian Council of Ministers of the Environment, (2012).
- [284] C. Neal, H. Davies, Margaret Neal, Water quality, nutrients and the water framework directive in an agricultural region: The lower Humber Rivers, northern England, *Journal of Hydrology* 350 (2008) 232-245.

-
- [285] D.A. Livingstone, Chemicals Composition of Rivers and Lakes. U.S. Geol. Surv. Prof. (1963), 63.
- [286] A.I. Laraque, J. S. Moquet, R. Alkattan, J. S. Abrahan, G. Adèle, B. Castellanos, C. Lagane, J. L. Lopez, J. Perez, M. Rodriguez, J. Rosales, Seasonal variability of total dissolved fluxes and origin of major dissolved elements within a large tropical river: The Orinoco, Venezuela, *Journal of South American Earth Sciences* 44 (2013) 4-17.
- [287] F. Yuan, S. Miyamoto, S. Anand, Changes in major element hydrochemistry of the Pecos River in the American Southwest since 1935, *Applied Geochemistry* 22 (2007) 1798–1813.
- [288] D.M. Bonotto, J.L. Nepomuceno de Lima, Hydrochemistry and weathering rates on Corumbataí River basin, São Paulo State, Brazil, *Journal of Hydrology* 383 (2010) 291–306
- [289] A.R.C. Ovalle, C.F. Silva, C.E. Rezende, C.E.N. Gatts, M.S. Suzuki a, R.O. Figueiredo, Long-term trends in hydrochemistry in the Paraíba do Sul River, southeastern Brazil , *Journal of Hydrology* 481 (2013) 191-203.

Tablas y Anexos

Tablas de datos físico químicos

Tabla No. 1: Datos de temperatura del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Temperatura (°C) | | | | | | |
|--------------------|------------------|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 26,40 | 26,40 | 27,40 | 27,00 | 27,80 | 28,60 | 28,70 |
| 07/07/11 | 26,10 | 26,10 | 27,80 | 27,70 | 27,80 | 27,50 | 28,50 |
| 08/03/11 | 26,30 | 26,30 | 27,30 | 27,20 | 27,20 | 27,40 | 27,40 |
| 09/08/11 | 26,40 | 26,40 | 27,80 | 27,70 | 28,40 | 28,60 | 28,20 |
| 09/16/11 | 26,00 | 25,90 | 27,00 | 26,80 | 27,70 | 27,70 | 27,60 |
| 09/27/11 | 27,30 | 27,40 | 27,40 | 27,90 | 28,20 | 28,40 | 28,60 |
| 10/13/11 | 27,30 | 27,40 | 28,40 | 28,40 | 28,60 | 28,40 | 28,60 |
| 10/29/11 | 26,10 | 26,00 | 27,50 | 27,20 | 27,50 | 27,30 | 27,30 |
| 11/10/11 | 25,50 | 25,50 | 26,90 | 26,60 | 27,70 | 28,20 | 28,50 |
| 11/22/11 | 25,50 | 25,50 | 26,40 | 26,70 | 26,90 | 26,90 | 27,10 |
| 12/20/11 | 25,80 | 26,00 | 27,30 | 27,80 | 28,40 | 28,20 | 27,90 |
| 01/17/12 | 25,40 | 25,40 | 26,10 | 26,10 | 26,40 | 26,30 | 26,50 |
| 03/16/12 | 26,00 | 26,00 | 27,20 | 26,90 | 27,20 | 28,00 | 28,50 |
| 04/25/12 | 26,10 | 26,10 | 26,70 | 27,00 | 27,80 | 27,80 | 28,00 |
| 05/08/12 | 26,30 | 26,30 | 27,30 | 27,00 | 27,50 | 28,00 | 27,70 |
| 06/07/12 | 26,00 | 26,00 | 27,00 | 27,40 | 28,20 | 28,30 | 29,00 |

Tabla No. 2: Datos del potencial de hidrógeno del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Potencial de Hidrógeno (Unidades de pH) | | | | | | |
|--------------------|---|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 6,72 | 6,81 | 6,96 | 7,10 | 7,18 | 8,06 | 6,66 |
| 07/07/11 | 6,66 | 6,61 | 6,82 | 6,26 | 6,78 | 7,17 | 6,75 |
| 08/03/11 | 6,52 | 6,84 | 6,64 | 6,65 | 7,59 | 7,11 | 6,89 |
| 09/08/11 | 6,23 | 6,34 | 6,21 | 6,37 | 6,52 | 7,22 | 7,41 |
| 09/16/11 | 6,12 | 6,69 | 6,07 | 6,38 | 7,02 | 7,67 | 7,07 |
| 09/27/11 | 6,19 | 6,39 | 6,12 | 6,50 | 7,10 | 5,98 | 5,90 |
| 10/13/11 | 5,89 | 6,10 | 6,12 | 6,21 | 6,23 | 6,34 | 6,41 |
| 10/29/11 | 6,51 | 6,33 | 6,62 | 6,84 | 7,72 | 7,10 | 7,22 |
| 11/10/11 | 6,57 | 6,71 | 6,99 | 7,04 | 7,67 | 8,15 | 7,80 |
| 11/22/11 | 6,28 | 6,33 | 6,31 | 5,96 | 5,89 | 6,52 | 6,46 |
| 12/20/11 | 6,41 | 6,62 | 6,70 | 6,70 | 6,68 | 7,79 | 7,79 |
| 01/17/12 | 6,87 | 7,17 | 7,14 | 7,08 | 7,62 | 7,04 | 7,43 |
| 03/16/12 | 6,27 | 6,32 | 6,66 | 6,76 | 6,64 | 6,84 | 7,23 |
| 04/25/12 | 6,33 | 6,98 | 6,60 | 6,85 | 6,55 | 6,65 | 6,66 |
| 05/08/12 | 6,37 | 6,05 | 6,33 | 6,56 | 6,00 | 5,87 | 5,90 |
| 06/07/12 | 6,52 | 6,51 | 6,90 | 6,46 | 6,48 | 6,61 | 6,90 |

Tabla No. 3: Datos de la conductividad de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Conductividad ($\mu\text{s.cm}^{-1}$) | | | | | | |
|--------------------|---|----------|-----------|-------------|--------|--------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 93,80 | 93,90 | 140,20 | 143,80 | 157,10 | 170,70 | 178,40 |
| 07/07/11 | 92,00 | 92,00 | 125,40 | 129,20 | 137,40 | 180,00 | 182,60 |
| 08/03/11 | 93,70 | 93,70 | 125,20 | 126,70 | 135,00 | 142,20 | 143,00 |
| 09/08/11 | 95,20 | 95,30 | 102,40 | 104,40 | 130,20 | 123,90 | 126,50 |
| 09/16/11 | 95,30 | 95,30 | 101,60 | 103,10 | 116,20 | 117,60 | 124,40 |
| 09/27/11 | 98,25 | 98,30 | 105,05 | 115,50 | 118,90 | 112,35 | 127,00 |
| 10/13/11 | 89,00 | 89,30 | 93,10 | 93,20 | 102,00 | 109,00 | 293,80 |
| 10/29/11 | 87,80 | 87,80 | 89,10 | 91,20 | 101,60 | 104,60 | 133,00 |
| 11/10/11 | 88,15 | 88,50 | 91,20 | 93,00 | 104,20 | 106,70 | 135,50 |
| 11/22/11 | 86,20 | 86,20 | 89,20 | 90,80 | 105,00 | 112,00 | 105,40 |
| 12/20/11 | 84,30 | 84,30 | 83,70 | 85,60 | 91,90 | 88,50 | 93,80 |
| 01/17/12 | 90,80 | 90,99 | 118,50 | 118,35 | 117,00 | 121,50 | 126,90 |
| 03/16/12 | 84,73 | 88,50 | 142,10 | 147,58 | 150,00 | 178,10 | 220,60 |
| 04/25/12 | 83,95 | 87,80 | 129,70 | 130,80 | 97,35 | 138,40 | 193,10 |
| 05/08/12 | 88,30 | 88,40 | 140,50 | 131,90 | 111,60 | 134,55 | 286,50 |
| 06/07/12 | 75,00 | 74,00 | 148,00 | 147,20 | 140,00 | 151,00 | 160,00 |

Tabla No. 4: Datos de oxígeno disuelto de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Oxígeno Disuelto (mg.L^{-1}) | | | | | | |
|--------------------|---|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 3,36 | 3,43 | 6,20 | 6,37 | 7,38 | 8,12 | 8,40 |
| 07/07/11 | 3,18 | 3,37 | 5,66 | 5,89 | 7,11 | 6,59 | 8,69 |
| 08/03/11 | 6,40 | 6,62 | 7,14 | 7,56 | 8,13 | 8,44 | 7,43 |
| 09/08/11 | 2,85 | 3,01 | 5,28 | 5,93 | 6,03 | 7,42 | 9,50 |
| 09/16/11 | 2,99 | 2,85 | 5,85 | 6,38 | 8,26 | 8,32 | 7,55 |
| 09/27/11 | 2,65 | 2,66 | 3,10 | 6,38 | 6,96 | 8,88 | 8,07 |
| 10/13/11 | 2,98 | 2,85 | 6,46 | 7,15 | 9,45 | 9,23 | 6,48 |
| 10/29/11 | 2,60 | 2,56 | 4,90 | 5,94 | 8,98 | 9,23 | 7,70 |
| 11/10/11 | 2,33 | 2,27 | 5,16 | 6,25 | 8,79 | 9,29 | 8,50 |
| 11/22/11 | 1,90 | 1,86 | 4,76 | 5,40 | 5,87 | 8,98 | 8,03 |
| 12/20/11 | 1,85 | 1,95 | 4,15 | 5,08 | 6,32 | 8,92 | 9,58 |
| 01/17/12 | 2,13 | 2,12 | 2,93 | 4,95 | 5,50 | 6,48 | 5,90 |
| 03/16/12 | 4,42 | 4,05 | 4,30 | 4,81 | 5,89 | 5,65 | 6,06 |
| 04/25/12 | 3,32 | 3,56 | 3,94 | 4,91 | 5,82 | 6,40 | 5,14 |
| 05/08/12 | 2,88 | 3,13 | 3,67 | 4,85 | 5,37 | 6,47 | 6,04 |
| 06/07/12 | 3,23 | 3,54 | 3,87 | 4,89 | 5,98 | 6,01 | 6,21 |

Tabla No. 5: Datos de la concentración de cloruros de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Cloruros (mg.L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 06/23/11 | 2,24 | 2,00 | 2,89 | 2,21 | 2,78 | 2,54 | 3,03 |
| 07/07/11 | 2,02 | 2,34 | 2,01 | 2,45 | 2,37 | 2,45 | 3,30 |
| 08/03/11 | 2,12 | 2,02 | 2,12 | 2,32 | 2,48 | 2,54 | 3,86 |
| 09/08/11 | 2,18 | 2,56 | 2,34 | 2,31 | 2,43 | 2,74 | 3,56 |
| 09/16/11 | 2,26 | 2,31 | 2,25 | 2,45 | 2,18 | 2,94 | 3,48 |
| 09/27/11 | 2,09 | 1,97 | 2,12 | 2,56 | 2,45 | 2,76 | 3,23 |
| 10/13/11 | 1,79 | 2,13 | 2,32 | 2,46 | 2,31 | 2,72 | 3,78 |
| 10/29/11 | 2,06 | 2,31 | 2,82 | 2,43 | 2,45 | 2,76 | 3,94 |
| 11/10/11 | 1,83 | 2,27 | 2,05 | 2,52 | 2,14 | 2,98 | 4,12 |
| 11/22/11 | 1,95 | 2,19 | 2,24 | 2,37 | 2,03 | 2,78 | 3,79 |
| 12/20/11 | 1,85 | 2,34 | 2,09 | 2,42 | 2,28 | 2,65 | 3,93 |
| 01/17/12 | 2,25 | 2,34 | 2,31 | 2,39 | 2,56 | 2,97 | 4,36 |
| 03/16/12 | 1,98 | 2,13 | 2,10 | 2,48 | 2,31 | 2,85 | 3,96 |
| 04/25/12 | 1,96 | 3,20 | 2,65 | 2,41 | 2,63 | 2,72 | 3,28 |
| 05/08/12 | 2,94 | 2,94 | 1,98 | 1,98 | 2,94 | 3,21 | 3,78 |
| 06/07/12 | 1,68 | 1,52 | 1,97 | 1,85 | 2,07 | 2,24 | 3,38 |

Tabla No. 6: Datos del contenido de carbono orgánico total de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Carbón Orgánico Total (mg.L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|---|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 06/23/11 | 2,37 | 2,17 | 2,45 | 2,76 | 1,98 | 2,62 | 2,39 |
| 07/07/11 | 2,91 | 3,38 | 2,90 | 2,21 | 3,67 | 3,64 | 2,86 |
| 08/03/11 | 3,23 | 3,63 | 3,35 | 3,25 | 2,98 | 3,12 | 3,05 |
| 09/08/11 | 3,16 | 2,98 | 3,02 | 2,78 | 3,25 | 3,44 | 3,36 |
| 09/16/11 | 2,30 | 2,35 | 3,41 | 3,15 | 3,31 | 2,65 | 3,38 |
| 09/27/11 | 2,43 | 2,87 | 3,42 | 3,27 | 3,47 | 3,89 | 3,35 |
| 10/13/11 | 2,35 | 2,63 | 2,65 | 2,92 | 3,50 | 3,54 | 2,62 |
| 10/29/11 | 2,86 | 2,85 | 3,38 | 2,82 | 3,42 | 2,73 | 3,65 |
| 11/10/11 | 3,04 | 3,43 | 3,25 | 3,03 | 2,47 | 2,78 | 2,59 |
| 11/22/11 | 3,02 | 2,30 | 3,03 | 3,24 | 2,49 | 2,15 | 3,31 |
| 12/20/11 | 1,86 | 1,98 | 1,93 | 1,82 | 1,76 | 1,83 | 2,06 |
| 01/17/12 | 2,99 | 2,76 | 3,28 | 3,12 | 2,89 | 2,64 | 2,76 |
| 03/16/12 | 2,72 | 3,26 | 3,14 | 3,06 | 2,97 | 2,33 | 3,26 |
| 04/25/12 | 2,06 | 2,84 | 3,12 | 2,65 | 2,72 | 3,05 | 2,96 |
| 05/08/12 | 2,52 | 2,86 | 2,45 | 2,69 | 3,21 | 3,56 | 3,21 |
| 06/07/12 | 2,44 | 2,89 | 3,37 | 2,96 | 3,28 | 3,56 | 3,14 |

Tabla No. 7: Datos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg O ₂ .L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|---|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 12,00 | 10,00 | 14,00 | 12,00 | 23,00 | 23,00 | 28,00 |
| 07/07/11 | 37,00 | 12,00 | 17,00 | 28,00 | 28,00 | 25,00 | 35,00 |
| 08/03/11 | 25,00 | 10,00 | 9,00 | 21,00 | 34,00 | 29,00 | 37,00 |
| 09/08/11 | 7,00 | 12,00 | 15,00 | 15,00 | 26,00 | 26,00 | 32,00 |
| 09/16/11 | 20,00 | 18,00 | 21,00 | 20,00 | 17,00 | 28,00 | 29,00 |
| 09/27/11 | 21,00 | 6,00 | 6,00 | 1,00 | 6,00 | 12,00 | 14,00 |
| 10/13/11 | 37,00 | 34,00 | 25,00 | 26,00 | 34,00 | 40,00 | 42,00 |
| 10/29/11 | 48,00 | 39,00 | 39,00 | 45,00 | 46,00 | 51,00 | 57,00 |
| 11/10/11 | 12,00 | 21,00 | 21,00 | 15,00 | 23,00 | 23,00 | 34,00 |
| 11/22/11 | 32,00 | 34,00 | 35,00 | 42,00 | 31,00 | 37,00 | 37,00 |
| 12/20/11 | 31,00 | 17,00 | 28,00 | 20,00 | 37,00 | 21,00 | 35,00 |
| 01/17/12 | 34,00 | 25,00 | 21,00 | 20,00 | 25,00 | 21,00 | 35,00 |
| 03/16/12 | 28,00 | 18,00 | 25,00 | 28,00 | 31,00 | 35,00 | 40,00 |
| 04/25/12 | 57,00 | 51,00 | 48,00 | 45,00 | 50,00 | 54,00 | 51,00 |
| 05/08/12 | 60,00 | 57,00 | 43,00 | 39,00 | 46,00 | 31,00 | 40,00 |
| 06/07/12 | 14,00 | 21,00 | 20,00 | 19,00 | 13,00 | 13,00 | 19,00 |

Tabla No. 8: Datos del contenido de fosfatos de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Fosfatos (mg PO ₄ ³ .L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|--|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 0,17 | 0,19 | 0,37 | 0,38 | 0,33 | 0,41 | 0,37 |
| 07/07/11 | 0,21 | 0,22 | 0,35 | 0,38 | 0,35 | 0,41 | 0,62 |
| 08/03/11 | 0,14 | 0,17 | 0,32 | 0,33 | 0,39 | 0,47 | 0,54 |
| 09/08/11 | 0,17 | 0,21 | 0,28 | 0,32 | 0,25 | 0,42 | 0,40 |
| 09/16/11 | 0,18 | 0,19 | 0,28 | 0,30 | 0,35 | 0,44 | 0,60 |
| 09/27/11 | 0,29 | 0,21 | 0,33 | 0,27 | 0,33 | 0,47 | 0,47 |
| 10/13/11 | 0,22 | 0,21 | 0,26 | 0,29 | 0,36 | 0,32 | 0,50 |
| 10/29/11 | 0,39 | 0,19 | 0,24 | 0,25 | 0,32 | 0,32 | 0,51 |
| 11/10/11 | 0,12 | 0,10 | 0,21 | 0,14 | 0,61 | 0,35 | 0,43 |
| 11/22/11 | 0,19 | 0,20 | 0,27 | 0,27 | 0,08 | 0,27 | 0,36 |
| 12/20/11 | 0,08 | 0,02 | 0,08 | 0,07 | 0,00 | 0,05 | 0,15 |
| 01/17/12 | 0,65 | 0,65 | 0,50 | 0,80 | 1,00 | 0,43 | 0,85 |
| 03/16/12 | 0,56 | 0,80 | 0,72 | 1,18 | 1,11 | 1,85 | 1,07 |
| 04/25/12 | 0,33 | 0,36 | 0,59 | 0,72 | 0,25 | 0,95 | 1,07 |
| 05/08/12 | 0,45 | 0,46 | 0,59 | 0,44 | 0,98 | 0,49 | 1,00 |
| 06/07/12 | 0,05 | 0,07 | 0,24 | 0,23 | 0,14 | 0,26 | 0,22 |

Tabla No. 9: Datos del contenido de sulfatos de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Sulfatos (mg.L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 06/23/11 | 3,91 | 5,63 | 10,39 | 12,32 | 8,94 | 11,45 | 18,34 |
| 07/07/11 | 3,59 | 3,84 | 22,92 | 25,40 | 12,86 | 21,03 | 16,44 |
| 08/03/11 | 3,72 | 3,79 | 19,79 | 18,93 | 12,03 | 19,32 | 20,24 |
| 09/08/11 | 3,52 | 3,18 | 17,56 | 19,82 | 17,35 | 25,87 | 32,65 |
| 09/16/11 | 3,59 | 3,24 | 21,04 | 19,48 | 19,45 | 23,56 | 35,76 |
| 09/27/11 | 2,89 | 3,03 | 6,96 | 14,98 | 21,03 | 26,56 | 34,79 |
| 10/13/11 | 2,96 | 3,04 | 9,65 | 16,47 | 19,42 | 27,52 | 29,87 |
| 10/29/11 | 2,46 | 3,05 | 18,57 | 18,05 | 12,43 | 19,80 | 17,51 |
| 11/10/11 | 3,57 | 3,46 | 17,63 | 17,52 | 14,53 | 18,78 | 18,16 |
| 11/22/11 | 3,86 | 4,17 | 22,18 | 19,45 | 18,43 | 21,45 | 36,98 |
| 12/20/11 | 4,34 | 4,02 | 13,94 | 18,45 | 16,42 | 27,59 | 32,14 |
| 01/17/12 | 5,69 | 5,20 | 16,45 | 23,56 | 19,56 | 23,58 | 35,32 |
| 03/16/12 | 3,27 | 3,38 | 11,75 | 40,25 | 6,72 | 13,15 | 36,84 |
| 04/25/12 | 6,42 | 5,96 | 12,50 | 12,23 | 6,57 | 13,54 | 19,90 |
| 05/08/12 | 3,79 | 3,89 | 22,92 | 25,42 | 12,86 | 21,03 | 16,53 |
| 06/07/12 | 3,77 | 3,98 | 19,80 | 19,68 | 12,03 | 19,24 | 20,24 |

Tabla No. 10: Datos de turbidez de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Turbidez (NTU) | | | | | | |
|--------------------|----------------|----------|-----------|----------------|--------|--------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 06/23/11 | 52,40 | 50,30 | 126,00 | 102,00 | 99,50 | 314,00 | 263,00 |
| 07/07/11 | 22,10 | 32,90 | 87,20 | 63,00 | 102,40 | 236,00 | 311,00 |
| 08/03/11 | 32,60 | 34,50 | 39,00 | 49,80 | 62,60 | 65,30 | 69,40 |
| 09/08/11 | 26,80 | 28,30 | 68,90 | 73,10 | 74,20 | 102,40 | 93,40 |
| 09/16/11 | 41,40 | 39,80 | 43,00 | 47,70 | 48,30 | 40,20 | 48,30 |
| 09/27/11 | 13,70 | 10,20 | 31,00 | 36,40 | 49,00 | 62,50 | 73,90 |
| 10/13/11 | 15,00 | 14,20 | 17,00 | 20,00 | 22,30 | 66,00 | 151,00 |
| 10/29/11 | 33,70 | 28,80 | 26,70 | 33,70 | 35,10 | 194,60 | 333,00 |
| 11/10/11 | 23,40 | 23,80 | 29,00 | 84,50 | 306,00 | 265,80 | 294,00 |
| 11/22/11 | 123,00 | 94,30 | 67,90 | 46,10 | 79,60 | 249,00 | 461,00 |
| 12/20/11 | 148,50 | 176,90 | 138,80 | 190,50 | 212,30 | 348,40 | 395,20 |
| 01/17/12 | 60,70 | 64,80 | 60,70 | 136,00 | 126,00 | 327,40 | 342,20 |
| 03/16/12 | 87,60 | 93,40 | 165,70 | 149,50 | 180,40 | 283,50 | 198,40 |
| 04/25/12 | 102,30 | 129,60 | 112,50 | 148,30 | 187,30 | 256,90 | 356,40 |
| 05/08/12 | 118,00 | 127,00 | 277,00 | 261,00 | 306,00 | 273,00 | 289,00 |
| 06/07/12 | 17,40 | 23,60 | 29,34 | 32,40 | 39,80 | 45,30 | 49,50 |

Tabla No. 11: Datos de amonio de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Amonio (mg N-NH ₃ .L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|---|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 0,44 | 0,37 | 0,42 | 0,41 | 0,37 | 0,58 | 0,88 |
| 07/07/11 | 0,19 | 0,25 | 0,25 | 0,26 | 0,26 | 0,54 | 0,90 |
| 08/03/11 | 0,17 | 0,11 | 0,26 | 0,23 | 0,30 | 0,51 | 0,68 |
| 09/08/11 | 1,68 | 1,77 | 1,84 | 1,70 | 1,71 | 1,77 | 2,19 |
| 09/16/11 | 1,80 | 1,62 | 1,49 | 1,44 | 1,92 | 1,81 | 2,29 |
| 09/27/11 | 0,33 | 0,33 | 0,40 | 0,31 | 0,37 | 0,65 | 0,70 |
| 10/13/11 | 0,22 | 0,32 | 0,26 | 0,12 | 0,30 | 0,35 | 1,03 |
| 10/29/11 | 0,42 | 0,37 | 0,36 | 0,25 | 0,44 | 0,65 | 0,95 |
| 11/10/11 | 0,24 | 0,21 | 0,20 | 0,25 | 0,23 | 0,42 | 0,81 |
| 11/22/11 | 0,37 | 0,30 | 0,33 | 0,24 | 0,26 | 0,41 | 0,75 |
| 12/20/11 | 0,26 | 0,33 | 0,27 | 0,27 | 0,19 | 0,35 | 0,61 |
| 01/17/12 | 0,93 | 1,47 | 1,08 | 1,62 | 0,50 | 1,29 | 1,76 |
| 03/16/12 | 1,58 | 2,16 | 0,19 | 1,00 | 2,09 | 1,38 | 1,75 |
| 04/25/12 | 0,61 | 0,51 | 0,81 | 0,75 | 1,09 | 1,62 | 1,68 |
| 05/08/12 | 1,17 | 1,27 | 1,74 | 1,84 | 1,86 | 0,38 | 2,12 |
| 06/07/12 | 0,29 | 0,65 | 0,26 | 0,34 | 0,38 | 0,33 | 0,61 |

Tabla No. 12: Datos del contenido de nitratos de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Nitratos (mg N-NO ₃ .L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|---|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 0,12 | 0,23 | 0,31 | 0,21 | 0,22 | 0,30 | 0,38 |
| 07/07/11 | 0,14 | 0,11 | 0,24 | 0,29 | 0,30 | 0,37 | 0,23 |
| 08/03/11 | 0,12 | 0,19 | 0,18 | 0,14 | 0,12 | 0,21 | 0,22 |
| 09/08/11 | 0,56 | 0,38 | 0,43 | 0,47 | 0,47 | 0,33 | 0,33 |
| 09/16/11 | 0,30 | 0,29 | 0,32 | 0,33 | 0,35 | 0,26 | 0,19 |
| 09/27/11 | 0,20 | 0,16 | 0,40 | 0,19 | 0,24 | 0,25 | 0,24 |
| 10/13/11 | 0,13 | 0,17 | 0,19 | 0,17 | 0,19 | 0,08 | 0,20 |
| 10/29/11 | 0,21 | 0,17 | 0,29 | 0,30 | 0,26 | 0,18 | 0,27 |
| 11/10/11 | 0,20 | 0,16 | 0,24 | 0,29 | 0,25 | 0,12 | 0,19 |
| 11/22/11 | 0,13 | 0,12 | 0,40 | 0,30 | 0,34 | 0,27 | 0,21 |
| 12/20/11 | 0,10 | 0,10 | 0,27 | 0,26 | 0,29 | 0,25 | 0,27 |
| 01/17/12 | 1,07 | 1,09 | 1,02 | 0,84 | 0,91 | 0,95 | 0,74 |
| 03/16/12 | 0,39 | 0,35 | 0,41 | 0,40 | 0,47 | 0,40 | 0,28 |
| 04/25/12 | 0,28 | 0,29 | 0,09 | 0,45 | 0,37 | 0,33 | 0,43 |
| 05/08/12 | 0,37 | 0,34 | 0,76 | 0,67 | 0,32 | 0,44 | 0,26 |
| 06/07/12 | 0,32 | 0,25 | 0,30 | 0,45 | 0,33 | 0,43 | 0,45 |

Tabla No. 13: Datos del contenido de nitritos de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Nitritos (mg N-NO ₂ .L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|---|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,08 |
| 07/07/11 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,07 | 0,16 |
| 08/03/11 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,07 | 0,11 |
| 09/08/11 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,08 | 0,08 |
| 09/16/11 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,09 | 0,15 |
| 09/27/11 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| 10/13/11 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,04 |
| 10/29/11 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,07 |
| 11/10/11 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,11 |
| 11/22/11 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,06 |
| 12/20/11 | 0,01 | 0,06 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,07 |
| 01/17/12 | 0,65 | 0,65 | 0,50 | 0,28 | 0,36 | 0,43 | 0,33 |
| 03/16/12 | 0,34 | 0,31 | 0,72 | 0,18 | 0,11 | 0,15 | 0,41 |
| 04/25/12 | 0,00 | 0,01 | 0,06 | 0,09 | 0,09 | 0,19 | 0,09 |
| 05/08/12 | 0,15 | 0,16 | 0,59 | 0,44 | 0,26 | 0,49 | 0,32 |
| 06/07/12 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |

Tabla No. 14: Datos de alcalinidad de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Alcalinidad (mg HCO ₃ .L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|---|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 45,34 | 48,78 | 52,34 | 59,34 | 63,34 | 65,18 | 64,36 |
| 07/07/11 | 32,15 | 36,78 | 43,77 | 49,56 | 53,24 | 62,21 | 64,34 |
| 08/03/11 | 39,43 | 37,67 | 42,12 | 53,56 | 47,89 | 58,54 | 61,26 |
| 09/08/11 | 43,45 | 39,45 | 54,67 | 56,94 | 58,48 | 60,19 | 64,24 |
| 09/16/11 | 48,24 | 45,78 | 52,12 | 54,87 | 59,34 | 60,23 | 64,37 |
| 09/27/11 | 37,54 | 34,67 | 48,54 | 57,45 | 59,34 | 59,98 | 63,27 |
| 10/13/11 | 45,34 | 45,89 | 61,74 | 52,56 | 57,23 | 58,35 | 64,36 |
| 10/29/11 | 39,95 | 43,45 | 42,14 | 48,54 | 59,36 | 62,14 | 62,56 |
| 11/10/11 | 34,87 | 39,40 | 52,67 | 62,46 | 58,45 | 61,25 | 64,73 |
| 11/22/11 | 39,32 | 45,34 | 45,34 | 62,12 | 57,34 | 62,23 | 68,45 |
| 12/20/11 | 39,67 | 42,05 | 56,87 | 60,12 | 56,78 | 58,57 | 63,23 |
| 01/17/12 | 41,07 | 54,29 | 45,67 | 56,34 | 53,14 | 59,63 | 62,97 |
| 03/16/12 | 47,25 | 42,00 | 64,75 | 64,75 | 50,75 | 68,25 | 61,25 |
| 04/25/12 | 44,62 | 33,80 | 56,26 | 41,04 | 48,50 | 60,14 | 59,10 |
| 05/08/12 | 39,02 | 43,75 | 61,25 | 63,00 | 56,00 | 61,14 | 54,25 |
| 06/07/12 | 47,25 | 42,00 | 64,75 | 64,75 | 50,75 | 68,25 | 61,25 |

Tabla No. 15: Datos de sólidos suspendidos de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Sólidos Suspendidos Totales (mg.L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|---|----------|-----------|----------------|--------|--------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 06/23/11 | 33,00 | 28,00 | 26,00 | 24,00 | 24,00 | 70,00 | 74,00 |
| 07/07/11 | 13,00 | 13,00 | 13,00 | 13,00 | 20,00 | 69,00 | 67,00 |
| 08/03/11 | 24,00 | 16,00 | 21,00 | 17,00 | 56,00 | 91,00 | 72,00 |
| 09/08/11 | 11,00 | 7,00 | 18,00 | 15,00 | 17,00 | 48,00 | 56,00 |
| 09/16/11 | 16,00 | 11,00 | 4,00 | 12,00 | 35,00 | 127,00 | 128,00 |
| 09/27/11 | 12,00 | 12,00 | 20,00 | 15,00 | 16,00 | 154,00 | 82,00 |
| 10/13/11 | 16,00 | 14,00 | 18,00 | 19,00 | 34,00 | 84,00 | 124,00 |
| 10/29/11 | 7,00 | 9,00 | 12,00 | 14,00 | 52,00 | 82,00 | 83,00 |
| 11/10/11 | 10,00 | 8,00 | 10,00 | 10,00 | 18,00 | 89,00 | 68,00 |
| 11/22/11 | 42,00 | 30,00 | 22,00 | 26,00 | 18,00 | 78,00 | 87,00 |
| 12/20/11 | 16,00 | 18,00 | 16,00 | 20,00 | 24,00 | 34,00 | 80,00 |
| 01/17/12 | 196,00 | 212,00 | 237,00 | 114,00 | 188,00 | 204,00 | 170,00 |
| 03/16/12 | 162,00 | 143,00 | 436,00 | 114,00 | 489,00 | 564,00 | 223,00 |
| 04/25/12 | 30,00 | 52,00 | 162,00 | 152,00 | 100,00 | 171,00 | 217,00 |
| 05/08/12 | 124,00 | 176,00 | 346,00 | 432,00 | 164,00 | 314,00 | 144,00 |
| 06/07/12 | 23,00 | 67,00 | 22,00 | 28,00 | 222,00 | 65,00 | 89,00 |

Tabla No. 16: Datos de sólidos disueltos totales de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Sólidos Disueltos Totales (mg.L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|---|----------|-----------|----------------|--------|--------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 06/23/11 | 70,29 | 68,73 | 87,82 | 98,49 | 108,13 | 116,07 | 122,17 |
| 07/07/11 | 53,39 | 64,48 | 92,34 | 95,96 | 99,91 | 116,99 | 118,85 |
| 08/03/11 | 67,15 | 62,45 | 87,94 | 95,21 | 97,01 | 112,54 | 117,30 |
| 09/08/11 | 64,36 | 70,10 | 74,07 | 68,61 | 95,19 | 84,37 | 83,17 |
| 09/16/11 | 74,72 | 71,63 | 79,40 | 76,42 | 79,97 | 80,42 | 89,49 |
| 09/27/11 | 65,39 | 63,27 | 81,20 | 87,61 | 91,96 | 90,47 | 87,49 |
| 10/13/11 | 70,71 | 71,41 | 73,12 | 71,94 | 82,14 | 83,71 | 148,50 |
| 10/29/11 | 68,84 | 79,29 | 69,57 | 76,22 | 70,26 | 76,65 | 82,13 |
| 11/10/11 | 62,93 | 66,60 | 63,40 | 67,17 | 68,24 | 71,32 | 83,11 |
| 11/22/11 | 63,87 | 64,82 | 65,81 | 64,70 | 81,78 | 82,46 | 81,99 |
| 12/20/11 | 67,8 | 69,81 | 73,82 | 72,10 | 76,21 | 78,24 | 81,36 |
| 01/17/12 | 72,06 | 69,34 | 84,83 | 88,55 | 85,77 | 97,45 | 95,42 |
| 03/16/12 | 65,73 | 67,12 | 103,67 | 106,00 | 88,70 | 114,13 | 129,80 |
| 04/25/12 | 75,67 | 65,27 | 97,20 | 80,85 | 79,76 | 106,00 | 118,51 |
| 05/08/12 | 64,14 | 70,35 | 102,92 | 101,45 | 97,01 | 106,07 | 105,14 |
| 06/07/12 | 61,06 | 68,27 | 102,87 | 100,35 | 94,80 | 109,40 | 114,05 |

Tabla No. 17: Datos de sólidos totales de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Sólidos Totales (mg.L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|---------------------------------------|----------|-----------|----------------|--------|--------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 06/23/11 | 103,30 | 96,70 | 112,90 | 122,40 | 132,10 | 186,04 | 196,15 |
| 07/07/11 | 73,40 | 77,40 | 105,30 | 108,46 | 119,41 | 185,69 | 185,40 |
| 08/03/11 | 91,20 | 78,05 | 108,44 | 112,18 | 153,10 | 203,44 | 139,20 |
| 09/08/11 | 75,20 | 77,10 | 92,10 | 83,57 | 112,14 | 132,14 | 139,10 |
| 09/16/11 | 91,10 | 82,60 | 83,30 | 87,34 | 114,67 | 207,40 | 217,29 |
| 09/27/11 | 77,30 | 74,06 | 101,10 | 102,10 | 87,84 | 243,79 | 181,35 |
| 10/13/11 | 86,70 | 85,04 | 90,90 | 90,84 | 116,10 | 167,52 | 272,24 |
| 10/29/11 | 75,80 | 79,21 | 80,80 | 90,13 | 122,13 | 158,46 | 165,10 |
| 11/10/11 | 72,90 | 73,60 | 73,10 | 76,89 | 86,01 | 160,30 | 241,10 |
| 11/22/11 | 105,80 | 94,89 | 97,63 | 90,54 | 99,64 | 160,34 | 168,67 |
| 12/20/11 | 83,89 | 87,31 | 89,50 | 92,10 | 95,10 | 112,14 | 171,28 |
| 01/17/12 | 268,10 | 280,89 | 321,47 | 201,76 | 273,46 | 301,16 | 265,40 |
| 03/16/12 | 225,73 | 209,90 | 539,49 | 219,87 | 577,60 | 678,02 | 332,01 |
| 04/25/12 | 105,67 | 117,13 | 259,16 | 232,56 | 179,36 | 276,90 | 335,24 |
| 05/08/12 | 188,10 | 245,89 | 448,47 | 533,40 | 260,89 | 420,10 | 249,10 |
| 06/07/12 | 83,06 | 134,67 | 123,77 | 128,24 | 316,12 | 174,31 | 202,97 |

Tabla No. 18: Datos de contenido de arsénico de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Arsénico (µg.L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 11/10/11 | 1,60 | 1,70 | 1,50 | 1,70 | 2,60 | 2,60 | 1,80 |
| 11/22/11 | 1,30 | 1,40 | 1,50 | 1,80 | 1,90 | 1,90 | 2,00 |
| 12/20/11 | 0,50 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 1,60 | 0,90 | 1,50 |
| 01/17/12 | 0,90 | 0,80 | 1,30 | 0,90 | 1,10 | 1,40 | 1,50 |
| 03/16/12 | 1,90 | 2,60 | 2,00 | 3,10 | 3,00 | 0,40 | 2,50 |
| 04/25/12 | 0,30 | 0,40 | 0,60 | 0,60 | 0,40 | 0,60 | 0,40 |
| 05/08/12 | 0,20 | 0,60 | 0,90 | 1,10 | 1,00 | 1,10 | 1,20 |
| 05/23/12 | 0,20 | 0,20 | 1,00 | 0,60 | 0,40 | 0,50 | 0,50 |
| 05/29/12 | 0,30 | 1,10 | 1,70 | 1,40 | 1,60 | 1,60 | 1,50 |
| 05/31/12 | 0,50 | 0,70 | 1,20 | 1,40 | 1,40 | 0,70 | 1,30 |
| 06/05/12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 0,80 | 1,00 |
| 06/07/12 | 0,40 | 0,10 | 1,20 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 0,00 |
| 06/13/12 | 0,80 | 0,80 | 1,40 | 0,90 | 1,30 | 1,10 | 1,20 |
| 06/19/12 | 1,00 | 1,30 | 1,70 | 2,10 | 1,20 | 1,80 | 1,30 |
| 06/26/12 | 0,70 | 0,40 | 0,00 | 0,40 | 1,40 | 0,80 | 1,10 |
| 07/28/12 | 0,00 | 0,30 | 2,20 | 1,20 | 0,70 | 0,40 | 0,60 |

Tabla No. 19: Datos de contenido de cadmio de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Cadmio ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | | | | | | |
|--------------------|---------------------------------|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 11/10/11 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| 11/22/11 | 0,00 | 0,00 | 0,4 | 0,00 | 0,68 | 0,00 | 0,12 |
| 12/20/11 | 0,07 | 0,08 | 0,12 | 0,25 | 1,17 | 0,03 | 0,49 |
| 01/17/12 | 1,58 | 5,41 | 6,70 | 2,25 | 1,13 | 1,6 | 2,34 |
| 03/16/12 | 0,02 | 0,00 | 0,19 | 0,04 | 0,37 | 0,00 | 0,00 |
| 04/25/12 | 2,71 | 0,00 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 05/08/12 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,59 |
| 05/23/12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 05/29/12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 05/31/12 | 0,00 | 0,00 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,00 |
| 06/05/12 | 0,00 | 0,57 | 0,00 | 0,00 | 0,35 | 0,00 | 0,58 |
| 06/07/12 | 3,81 | 0,00 | 0,68 | 0,00 | 0,00 | 4,06 | 4,25 |
| 06/13/12 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 06/19/12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| 06/26/12 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,82 | 0,05 | 0,17 |
| 07/28/12 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,11 | 0,04 | 0,06 |

Tabla No. 20: Datos de contenido de cobre de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Cobre ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 11/10/11 | 1,41 | 2,00 | 2,16 | 2,26 | 6,08 | 5,51 | 6,04 |
| 11/22/11 | 9,91 | 6,20 | 19,11 | 8,74 | 31,12 | 10,02 | 12,00 |
| 12/20/11 | 9,85 | 25,80 | 2,40 | 5,23 | 4,56 | 2,43 | 2,07 |
| 01/17/12 | 1,77 | 23,80 | 11,64 | 7,76 | 9,15 | 9,68 | 9,47 |
| 03/16/12 | 9,05 | 6,92 | 16,12 | 15,70 | 22,67 | 4,64 | 9,33 |
| 04/25/12 | 3,15 | 2,69 | 7,40 | 2,94 | 3,79 | 3,23 | 0,97 |
| 05/08/12 | 4,80 | 5,72 | 9,30 | 5,79 | 8,54 | 5,22 | 18,05 |
| 05/23/12 | 2,38 | 1,37 | 1,02 | 2,13 | 0,45 | 2,02 | 0,64 |
| 05/29/12 | 5,45 | 3,43 | 2,88 | 4,17 | 3,83 | 3,58 | 2,08 |
| 05/31/12 | 4,83 | 6,53 | 6,02 | 5,44 | 6,65 | 8,11 | 7,84 |
| 06/05/12 | 3,20 | 5,62 | 3,96 | 2,88 | 3,51 | 3,73 | 10,94 |
| 06/07/12 | 4,47 | 4,67 | 7,70 | 4,71 | 4,84 | 2,38 | 3,13 |
| 06/13/12 | 9,25 | 9,10 | 4,80 | 4,06 | 8,84 | 4,39 | 5,39 |
| 06/19/12 | 1,62 | 1,36 | 2,99 | 2,53 | 2,14 | 2,79 | 1,18 |
| 06/26/12 | 3,94 | 2,53 | 1,98 | 3,28 | 6,63 | 6,13 | 13,62 |
| 07/28/12 | 5,64 | 6,01 | 7,04 | 5,35 | 14,93 | 21,99 | 12,95 |

Tabla No. 21: Datos de contenido de cromo de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio.

| Fecha/ Estación | Cromo ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 11/10/11 | 2,92 | 2,58 | 2,42 | 2,19 | 5,55 | 3,26 | 6,50 |
| 11/22/11 | 2,93 | 3,75 | 2,74 | 2,13 | 2,57 | 2,92 | 8,99 |
| 12/20/11 | 3,31 | 2,28 | 0,00 | 2,12 | 1,21 | 0,81 | 0,92 |
| 01/17/12 | 0,92 | 7,82 | 8,07 | 5,07 | 7,21 | 6,66 | 7,43 |
| 03/16/12 | 6,50 | 5,19 | 12,40 | 10,07 | 15,85 | 4,09 | 6,69 |
| 04/25/12 | 3,56 | 3,56 | 4,56 | 3,08 | 2,53 | 2,87 | 2,97 |
| 05/08/12 | 3,38 | 3,46 | 3,07 | 2,68 | 4,68 | 3,37 | 2,45 |
| 05/23/12 | 2,65 | 2,37 | 2,84 | 2,58 | 2,23 | 2,04 | 1,69 |
| 05/29/12 | 2,50 | 2,17 | 2,52 | 2,77 | 3,18 | 2,13 | 5,63 |
| 05/31/12 | 3,73 | 4,20 | 6,18 | 8,83 | 6,07 | 2,05 | 6,69 |
| 06/05/12 | 1,37 | 0,93 | 2,27 | 0,98 | 4,53 | 1,32 | 9,74 |
| 06/07/12 | 2,78 | 1,77 | 5,20 | 1,61 | 2,70 | 0,00 | 1,90 |
| 06/13/12 | 4,90 | 2,70 | 1,83 | 3,65 | 3,02 | 2,18 | 3,04 |
| 06/19/12 | 1,91 | 2,54 | 2,86 | 3,88 | 2,58 | 3,76 | 1,50 |
| 06/26/12 | 7,23 | 4,19 | 5,73 | 4,97 | 6,89 | 4,99 | 0,00 |
| 07/28/12 | 2,88 | 5,24 | 6,82 | 4,43 | 4,49 | 5,12 | 5,39 |

Tabla No. 22: Datos de contenido de mercurio de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio

| Fecha/ Estación | Mercurio ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | | | | | | |
|--------------------|-----------------------------------|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 11/10/11 | 0,03 | 0,06 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,03 |
| 11/22/11 | 0,03 | 0,00 | 0,12 | 0,06 | 0,03 | 0,02 | 0,10 |
| 12/20/11 | 0,02 | 0,03 | 0,06 | 0,00 | 0,03 | 0,08 | 0,09 |
| 01/17/12 | 0,05 | 0,11 | 0,05 | 0,09 | 0,04 | 0,14 | 0,12 |
| 03/16/12 | 0,02 | 0,22 | 0,06 | 0,10 | 0,08 | 0,11 | 0,03 |
| 04/25/12 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,07 | 0,14 | 0,00 | 0,04 |
| 05/08/12 | 0,04 | 0,03 | 0,00 | 0,04 | 0,07 | 0,03 | 0,05 |
| 05/23/12 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,04 | 0,06 | 0,16 | 0,00 |
| 05/29/12 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,07 |
| 05/31/12 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,03 | 0,10 | 0,09 |
| 06/05/12 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,04 |
| 06/07/12 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,11 | 0,02 | 0,05 | 0,08 |
| 06/13/12 | 0,07 | 0,09 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,09 |
| 06/19/12 | 0,06 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,15 | 0,08 |
| 06/26/12 | 0,04 | 0,17 | 0,19 | 0,00 | 0,12 | 0,03 | 0,21 |
| 07/28/12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,07 | 0,05 | 0,00 | 0,07 |

Tabla No. 23: Datos de contenido de níquel de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio

| Fecha/ Estación | Níquel ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | | | | | | |
|--------------------|---------------------------------|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 11/10/11 | 0,90 | 0,78 | 0,71 | 0,70 | 1,33 | 2,26 | 3,17 |
| 11/22/11 | 2,81 | 0,00 | 4,49 | 1,14 | 11,31 | 8,49 | 5,36 |
| 12/20/11 | 4,21 | 3,39 | 0,00 | 1,78 | 1,73 | 1,10 | 0,73 |
| 01/17/12 | 0,83 | 8,61 | 8,56 | 4,84 | 6,15 | 5,74 | 4,81 |
| 03/16/12 | 4,56 | 2,11 | 11,06 | 9,30 | 14,17 | 1,36 | 5,49 |
| 04/25/12 | 0,52 | 0,72 | 2,55 | 1,31 | 0,10 | 0,44 | 0,37 |
| 05/08/12 | 0,91 | 2,98 | 6,09 | 2,46 | 1,78 | 5,08 | 4,46 |
| 05/23/12 | 2,06 | 1,66 | 2,31 | 1,98 | 2,04 | 1,39 | 1,46 |
| 05/29/12 | 1,13 | 1,61 | 1,76 | 1,25 | 2,17 | 0,84 | 3,00 |
| 05/31/12 | 1,41 | 1,62 | 2,87 | 1,71 | 1,84 | 1,74 | 1,13 |
| 06/05/12 | 0,00 | 0,43 | 0,69 | 0,25 | 1,50 | 0,67 | 1,35 |
| 06/07/12 | 0,48 | 1,93 | 2,34 | 2,58 | 1,04 | 0,41 | 0,00 |
| 06/13/12 | 0,62 | 1,04 | 0,48 | 1,69 | 1,66 | 1,18 | 1,27 |
| 06/19/12 | 0,00 | 0,00 | 0,58 | 0,87 | 1,18 | 1,01 | 0,58 |
| 06/26/12 | 2,45 | 1,84 | 2,81 | 3,14 | 2,98 | 1,39 | 0,07 |
| 07/28/12 | 5,06 | 1,58 | 2,63 | 2,27 | 4,40 | 3,11 | 2,54 |

Tabla No. 24: Datos de contenido de plomo de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio

| Fecha/ Estación | Plomo ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 11/10/11 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 0,30 | 0,02 |
| 11/22/11 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,44 |
| 12/20/11 | 0,86 | 4,93 | 0,65 | 0,11 | 0,51 | 0,00 | 0,00 |
| 01/17/12 | 0,00 | 2,96 | 2,77 | 1,42 | 1,34 | 0,90 | 0,84 |
| 03/16/12 | 1,75 | 1,38 | 1,25 | 0,94 | 2,11 | 0,65 | 0,49 |
| 04/25/12 | 2,15 | 0,43 | 0,90 | 0,15 | 0,41 | 0,20 | 1,50 |
| 05/08/12 | 0,14 | 0,60 | 0,21 | 0,37 | 0,88 | 0,20 | 1,40 |
| 05/23/12 | 1,42 | 0,43 | 0,11 | 3,34 | 0,01 | 1,53 | 0,00 |
| 05/29/12 | 0,40 | 0,05 | 0,18 | 5,06 | 1,91 | 0,00 | 0,11 |
| 05/31/12 | 0,76 | 0,43 | 0,40 | 0,47 | 0,58 | 0,39 | 0,59 |
| 06/05/12 | 0,43 | 4,28 | 2,29 | 0,02 | 2,04 | 0,17 | 1,37 |
| 06/07/12 | 1,41 | 0,33 | 0,15 | 0,75 | 2,66 | 0,00 | 0,07 |
| 06/13/12 | 0,00 | 0,06 | 0,12 | 0,10 | 0,16 | 0,00 | 0,80 |
| 06/19/12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,14 | 0,00 |
| 06/26/12 | 0,54 | 1,05 | 0,29 | 0,86 | 1,55 | 0,67 | 0,42 |
| 07/28/12 | 0,00 | 0,31 | 1,14 | 0,65 | 0,99 | 0,37 | 0,65 |

Tabla No. 25: Datos de contenido de calcio de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio

| Fecha/ Estación | Calcio (mg.L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|------------------------------|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 6,00 | 6,00 | 12,00 | 12,00 | 10,50 | 12,00 | 13,50 |
| 07/07/11 | 7,00 | 7,50 | 11,50 | 10,50 | 11,00 | 10,50 | 12,00 |
| 08/03/11 | 6,50 | 6,00 | 13,50 | 12,00 | 15,00 | 10,50 | 10,50 |
| 09/08/11 | 7,50 | 9,00 | 10,50 | 12,50 | 11,50 | 12,00 | 12,50 |
| 09/16/11 | 6,50 | 6,00 | 9,50 | 10,50 | 9,00 | 12,00 | 13,00 |
| 09/27/11 | 8,00 | 7,50 | 9,50 | 10,50 | 11,50 | 12,50 | 13,50 |
| 10/13/11 | 6,00 | 6,00 | 10,00 | 13,50 | 9,00 | 12,75 | 10,50 |
| 10/29/11 | 6,00 | 6,00 | 8,00 | 9,50 | 11,50 | 8,00 | 10,50 |
| 11/10/11 | 7,00 | 7,50 | 12,00 | 10,50 | 8,00 | 10,00 | 11,00 |
| 11/22/11 | 8,00 | 7,50 | 9,50 | 12,00 | 12,50 | 12,50 | 12,50 |
| 12/20/11 | 8,00 | 7,50 | 9,50 | 11,50 | 11,50 | 8,50 | 12,50 |
| 01/17/12 | 7,50 | 6,80 | 9,50 | 12,00 | 10,50 | 9,50 | 11,50 |
| 03/16/12 | 6,50 | 7,00 | 11,00 | 10,00 | 9,25 | 10,50 | 13,50 |
| 04/25/12 | 6,00 | 7,50 | 10,50 | 9,00 | 7,50 | 7,50 | 12,50 |
| 05/08/12 | 6,00 | 6,00 | 7,50 | 10,50 | 9,00 | 12,00 | 13,50 |
| 06/07/12 | 6,50 | 6,00 | 9,00 | 10,50 | 9,00 | 10,50 | 9,00 |

Tabla No. 26: Datos de contenido de potasio de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio

| Fecha/ Estación | Potasio (mg.L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|-------------------------------|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 3,12 | 3,43 | 3,30 | 3,87 | 3,85 | 4,12 | 4,86 |
| 07/07/11 | 3,00 | 3,15 | 2,80 | 3,45 | 4,60 | 5,00 | 5,25 |
| 08/03/11 | 3,15 | 2,55 | 4,20 | 2,85 | 4,65 | 3,45 | 4,95 |
| 09/08/11 | 2,70 | 4,20 | 2,85 | 3,00 | 3,25 | 3,75 | 4,25 |
| 09/16/11 | 2,85 | 3,30 | 3,00 | 3,30 | 3,15 | 3,45 | 2,70 |
| 09/27/11 | 2,75 | 3,15 | 3,30 | 2,85 | 3,30 | 3,75 | 4,15 |
| 10/13/11 | 3,00 | 3,15 | 3,30 | 3,50 | 3,75 | 3,50 | 3,30 |
| 10/29/11 | 3,75 | 3,30 | 2,85 | 2,85 | 3,00 | 4,20 | 2,85 |
| 11/10/11 | 3,15 | 3,30 | 2,70 | 4,95 | 2,85 | 3,60 | 6,15 |
| 11/22/11 | 2,70 | 4,20 | 2,85 | 3,00 | 3,00 | 3,75 | 4,25 |
| 12/20/11 | 3,15 | 2,55 | 4,20 | 2,85 | 4,65 | 3,45 | 4,95 |
| 01/17/12 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,00 | 3,00 | 4,20 | 3,30 |
| 03/16/12 | 2,70 | 3,45 | 3,00 | 3,75 | 3,00 | 3,30 | 3,00 |
| 04/25/12 | 3,75 | 1,95 | 3,30 | 3,30 | 2,40 | 3,45 | 2,85 |
| 05/08/12 | 4,35 | 2,55 | 3,30 | 3,75 | 3,30 | 3,73 | 4,80 |
| 06/07/12 | 3,15 | 3,30 | 2,70 | 4,95 | 2,85 | 3,60 | 6,15 |

Tabla No. 27: Datos de contenido de magnesio de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio

| Fecha/ Estación | Magnesio (mg.L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 3,00 | 2,25 | 3,40 | 6,15 | 4,05 | 5,25 | 5,25 |
| 07/07/11 | 2,84 | 4,89 | 3,75 | 4,12 | 4,73 | 4,28 | 5,27 |
| 08/03/11 | 2,40 | 2,70 | 4,95 | 5,10 | 4,35 | 4,50 | 4,80 |
| 09/08/11 | 2,70 | 2,25 | 5,85 | 4,80 | 3,00 | 5,10 | 4,65 |
| 09/16/11 | 2,50 | 1,95 | 3,90 | 3,75 | 4,20 | 4,35 | 3,90 |
| 09/27/11 | 2,55 | 2,85 | 3,15 | 3,75 | 4,90 | 4,50 | 5,40 |
| 10/13/11 | 2,50 | 3,00 | 3,75 | 4,85 | 4,25 | 4,35 | 4,25 |
| 10/29/11 | 3,00 | 3,20 | 3,80 | 5,80 | 4,00 | 4,20 | 3,80 |
| 11/10/11 | 3,20 | 3,00 | 4,40 | 5,20 | 3,80 | 5,00 | 6,20 |
| 11/22/11 | 2,80 | 3,00 | 4,20 | 4,20 | 5,00 | 3,80 | 4,20 |
| 12/20/11 | 3,00 | 3,40 | 5,60 | 4,80 | 3,80 | 4,80 | 6,00 |
| 01/17/12 | 2,80 | 3,60 | 4,50 | 4,00 | 4,40 | 4,40 | 3,20 |
| 03/16/12 | 3,00 | 3,25 | 3,50 | 5,20 | 3,50 | 3,20 | 5,40 |
| 04/25/12 | 2,70 | 3,45 | 2,25 | 3,60 | 2,85 | 3,75 | 5,80 |
| 05/08/12 | 2,70 | 2,55 | 2,75 | 4,35 | 3,75 | 3,90 | 6,15 |
| 06/07/12 | 2,55 | 2,85 | 3,90 | 3,75 | 4,95 | 4,05 | 4,50 |

Tabla No. 28: Datos de contenido de sodio de las aguas del río Daule en las estaciones de estudio

| Fecha/ Estación | Sodio (mg.L ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|-----------------------------|----------|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 06/23/11 | 10,95 | 6,85 | 11,40 | 9,60 | 13,75 | 14,24 | 11,20 |
| 07/07/11 | 8,25 | 7,40 | 9,75 | 8,55 | 10,20 | 10,20 | 10,50 |
| 08/03/11 | 9,40 | 7,25 | 10,50 | 9,75 | 9,80 | 12,50 | 11,25 |
| 09/08/11 | 6,90 | 7,10 | 9,75 | 9,75 | 9,75 | 12,20 | 11,40 |
| 09/16/11 | 6,50 | 6,95 | 8,50 | 9,25 | 9,85 | 11,75 | 12,50 |
| 09/27/11 | 8,75 | 8,50 | 9,50 | 9,75 | 11,50 | 12,00 | 12,50 |
| 10/13/11 | 8,55 | 7,50 | 8,50 | 9,75 | 9,80 | 12,50 | 11,40 |
| 10/29/11 | 10,60 | 8,25 | 10,50 | 8,25 | 7,50 | 14,40 | 12,50 |
| 11/10/11 | 8,75 | 7,20 | 11,25 | 9,60 | 14,40 | 11,00 | 12,60 |
| 11/22/11 | 8,55 | 6,80 | 9,50 | 9,75 | 12,80 | 12,00 | 10,50 |
| 12/20/11 | 7,35 | 7,50 | 11,00 | 12,80 | 11,50 | 10,50 | 11,25 |
| 01/17/12 | 6,80 | 8,60 | 10,50 | 14,00 | 10,20 | 10,50 | 14,50 |
| 03/16/12 | 7,50 | 7,60 | 9,25 | 11,00 | 9,50 | 12,25 | 12,75 |
| 04/25/12 | 9,00 | 8,25 | 8,25 | 7,35 | 7,60 | 12,00 | 11,90 |
| 05/08/12 | 7,35 | 6,60 | 8,13 | 10,50 | 10,00 | 9,75 | 12,75 |
| 06/07/12 | 6,75 | 7,65 | 14,60 | 8,85 | 12,30 | 9,75 | 12,50 |

Tablas de datos microbiológicos

Tabla No. 29: Datos de coliformes totales en las aguas del río Daule en las estaciones de estudio

| Fecha/ Estación | Coliformes Totales (NMP.100ml ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|---|----------|-----------|----------------|----------|----------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 09/06/11 | 4,30E+03 | 4,30E+03 | 4,30E+03 | 4,30E+03 | 9,30E+03 | 9,30E+03 | 9,30E+03 |
| 06/23/2011 | 2,30E+03 | 9,30E+03 | 2,40E+04 | 4,30E+03 | 1,10E+05 | 9,30E+03 | 2,40E+04 |
| 07/07/11 | 4,30E+03 | 2,40E+04 | 4,80E+04 | 9,30E+03 | 2,40E+04 | 2,40E+04 | 1,10E+05 |
| 03/08/11 | 3,00E+02 | 1,10E+06 | 4,80E+05 | 2,40E+05 | 4,80E+05 | 2,40E+05 | 2,40E+05 |
| 08/09/11 | 4,00E+02 | 9,30E+03 | 2,30E+03 | 3,90E+03 | 2,30E+03 | 2,40E+04 | 1,10E+05 |
| 09/16/2011 | 4,30E+03 | 4,30E+03 | 1,50E+04 | 1,50E+04 | 1,50E+04 | 2,30E+03 | 4,80E+04 |
| 10/13/2011 | 4,00E+02 | 3,00E+02 | 1,50E+04 | 1,20E+04 | 2,40E+04 | 1,50E+04 | 4,80E+05 |
| 10/11/11 | 4,30E+03 | 7,50E+03 | 4,30E+03 | 1,50E+03 | 9,30E+03 | 4,30E+03 | 4,80E+04 |
| 11/22/2011 | 1,50E+04 | 4,80E+04 | 4,30E+03 | 9,30E+03 | 4,80E+04 | 2,10E+03 | 1,50E+04 |
| 12/20/2011 | 4,00E+02 | 4,30E+03 | 3,00E+02 | 9,00E+02 | 1,50E+03 | 2,10E+03 | 2,40E+04 |
| 01/17/2012 | 4,80E+05 | 4,80E+04 | 4,80E+05 | 9,30E+03 | 7,50E+03 | 4,30E+03 | 9,30E+03 |
| 04/25/2012 | 2,30E+03 | 2,30E+03 | 4,30E+03 | 2,30E+03 | 4,80E+04 | 9,30E+03 | 3,90E+03 |
| 08/05/12 | 1,50E+04 | 9,30E+03 | 4,80E+04 | 4,80E+04 | 4,80E+04 | 4,80E+04 | 3,90E+03 |

Tabla No. 30: Datos de coliformes fecales en las aguas del río Daule en las estaciones de estudio

| Fecha/ Estación | Coliformes Fecales (NMP.100ml ⁻¹) | | | | | | |
|--------------------|---|----------|-----------|----------------|----------|----------|-----------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 09/06/11 | 2,30E+03 | 9,00E+02 | 9,00E+02 | 2,30E+03 | 2,30E+03 | 4,30E+03 | 4,30E+03 |
| 06/23/2011 | 3,00E+02 | 7,00E+02 | 4,00E+02 | 4,00E+02 | 4,30E+03 | 7,00E+02 | 2,10E+03 |
| 07/07/11 | 1,10E+03 | 1,50E+03 | 9,00E+02 | 2,30E+03 | 9,30E+03 | 2,30E+03 | 9,30E+03 |
| 03/08/11 | 3,00E+02 | 1,50E+03 | 4,30E+03 | 1,50E+03 | 2,30E+03 | 7,00E+02 | 4,50E+03 |
| 08/09/11 | 3,00E+02 | 2,30E+03 | 9,00E+02 | 9,00E+02 | 4,00E+02 | 3,00E+02 | 4,80E+04 |
| 09/16/2011 | 9,00E+02 | 7,00E+02 | 3,00E+02 | 9,00E+02 | 4,00E+02 | 4,00E+02 | 4,30E+03 |
| 10/13/2011 | 3,00E+02 | 3,00E+02 | 9,30E+03 | 7,50E+03 | 4,30E+03 | 4,30E+03 | 1,10E+05 |
| 10/11/11 | 4,00E+02 | 2,30E+03 | 2,30E+03 | 4,00E+02 | 4,30E+03 | 2,30E+03 | 2,40E+04 |
| 11/22/2011 | 2,30E+03 | 9,00E+02 | 2,30E+03 | 2,30E+03 | 2,00E+03 | 1,50E+03 | 2,30E+03 |
| 12/20/2011 | 3,00E+02 | 1,50E+03 | 3,00E+02 | 4,00E+02 | 4,00E+02 | 1,50E+03 | 1,40E+03 |
| 01/17/2012 | 2,40E+05 | 7,50E+03 | 2,40E+05 | 4,30E+03 | 2,30E+03 | 2,30E+03 | 4,30E+03 |
| 04/25/2012 | 9,00E+02 | 7,00E+02 | 2,30E+03 | 9,00E+02 | 9,30E+03 | 9,00E+02 | 2,30E+03 |
| 08/05/12 | 2,30E+03 | 9,30E+03 | 1,50E+04 | 4,30E+03 | 4,30E+03 | 9,30E+03 | 2,10E+03 |

**Tablas de datos de concentraciones de compuestos orgánicos
persistentes**

Tabla No. 31: Contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas del río Daule- 03-06-2011

| Contenido de HAP's Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (03-06-2011) | | | | | | |
|--|----------------------------------|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | - | - | 0,005 | - | - | - | - |
| Benzo(a)Antraceno | - | 0,009 | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Criseno | 0,012 | 0,011 | - | - | - | - | - |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | - | - | 0,014 | - | - |
| Fluoranteno | - | - | 0,028 | - | - | - | - |
| Fluoreno | - | - | 0,052 | - | 0,019 | - | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Naftaleno | 0,186 | - | 0,215 | - | 0,209 | - | - |
| Fenantreno | 0,078 | - | 0,382 | 0,014 | 0,140 | - | 0,094 |
| Pireno | - | - | 0,040 | - | 0,028 | - | - |

Tabla No. 32: Contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas del río Daule-14-07-2011

| Contenido de HAP's Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (14-07-2011) | | | | | | |
|--|----------------------------------|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | - | - | - | - | - | 0,024 | - |
| Benzo(a)Antraceno | 0,013 | - | - | - | 0,011 | 0,01 | - |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Criseno | - | - | 0,013 | 0,013 | 0,012 | 0,014 | - |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | 0 | - | - | - | - |
| Fluoranteno | 0,017 | 0,017 | 0,025 | 0,025 | 0,028 | 0,024 | - |
| Fluoreno | - | 0,024 | 0,018 | 0,022 | 0,019 | 0,037 | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Antraceno | 0,000 | 0,000 | 0,000 | - | - | - | - |
| Naftaleno | 0,189 | 0,067 | 0,051 | 0,052 | 0,101 | 0,124 | - |
| Fenantreno | 0,218 | 0,197 | 0,174 | 0,238 | 0,165 | 0,182 | - |
| Pireno | 0,031 | 0,032 | 0,034 | 0,033 | 0,042 | 0,034 | - |

Tabla No. 33: Contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas del río Daule-03-08-2011.

| Contenido de HAP's Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (03-08-2011) | | | | | | |
|--|----------------------------------|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | - | - | - | - | - | - | 0,001 |
| Benzo(a)Antraceno | 0,011 | 0,009 | - | 0,009 | 0,018 | - | 0,014 |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Criseno | 0,01 | 0,013 | - | 0,014 | - | - | 0,012 |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoranteno | 0,01 | 0,014 | 0,006 | 0,014 | 0,011 | - | 0,008 |
| Fluoreno | 0,009 | 0,013 | - | 0,010 | 0,015 | - | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Naftaleno | 0,072 | 0,086 | 0,277 | 0,052 | 0,072 | 0,064 | 0,085 |
| Fenantreno | 0,068 | 0,101 | 0,053 | 0,091 | 0,089 | 0,050 | 0,069 |
| Pireno | - | 0,017 | 0,012 | 0,016 | 0,011 | - | 0,013 |

Tabla No. 34: Contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas del río Daule-08-09-2011.

| Contenido de HAP's Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (08-09-2011) | | | | | | |
|--|----------------------------------|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | 0,003 | - | 0,009 | - | - | - | - |
| Benzo(a)Antraceno | 0,012 | - | 0,010 | - | 0,028 | - | - |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | 0,031 | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | 0,016 | - | - | - | - |
| Criseno | 0,013 | - | 0,014 | - | 0,012 | - | - |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoranteno | 0,016 | - | 0,024 | - | 0,015 | - | - |
| Fluoreno | 0,048 | - | 0,077 | - | 0,029 | - | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | 0,005 | - | 0,556 | - | - | - | - |
| Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Naftaleno | 0,081 | - | 0,090 | - | 0,076 | - | - |
| Fenantreno | 0,298 | 0,040 | - | 0,042 | 0,242 | 0,004 | 0,004 |
| Pireno | 0,028 | - | 0,034 | - | 0,028 | - | - |

Tabla No. 35: Contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas del río Daule-16-09-2011.

| Contenido de HAP's Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (16-09-2011) | | | | | | |
|--|----------------------------------|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Antraceno | 0,013 | - | 0,009 | 0,014 | - | - | - |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | 0,014 | 0,017 | - | - | - |
| Criseno | 0,01 | 0,015 | 0,013 | 0,013 | - | 0,001 | - |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoranteno | 0,013 | 0,02 | 0,022 | - | - | - | - |
| Fluoreno | - | 0,021 | - | - | - | - | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | - | - | - | 0,011 | - | - | - |
| Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Naftaleno | - | 0,054 | 0,032 | 0,081 | - | - | - |
| Fenantreno | 0,109 | 0,186 | 0,085 | 0,101 | 0,004 | 0,003 | - |
| Pireno | 0,019 | 0,027 | 0,024 | 0,03 | - | - | - |

Tabla No. 36: Contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas del río Daule-27-09-2011.

| Contenido de HAP's Individual | Estaciones/Muestreo (27-09-2011) | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|----------|-----------|-------------|--------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Criseno | - | - | - | - | - | - | - |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoranteno | 1,560 | 1,375 | 1,362 | 1,447 | 1,425 | 1,266 | 5,046 |
| Fluoreno | - | - | - | - | - | - | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Naftaleno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fenantreno | 15,849 | 9,105 | 13,227 | 23,642 | 19,253 | - | 25,682 |
| Pireno | 6,486 | 5,427 | 6,370 | 7,879 | 6,492 | 5,629 | 7,041 |

Tabla No. 37: Contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas del río Daule-13-10-2011.

| Contenido de HAP's Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (13-10-2011) | | | | | | |
|--|----------------------------------|----------|-----------|-------------|--------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Criseno | - | - | - | - | - | - | - |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoranteno | 0,856 | 0,905 | 1,168 | - | 1,543 | 0,936 | 0,923 |
| Fluoreno | - | - | - | - | - | - | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Naftaleno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fenantreno | - | - | - | - | 18,359 | - | - |
| Pireno | 1,844 | 2,084 | 2,348 | 2,002 | 7,325 | 1,559 | 1,775 |

Tabla No. 38: Contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas del río Daule-29-09-2011.

| Contenido de HAP's Individual | Estaciones/Muestreo (29-09-2011) | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|----------|-----------|-------------|--------|--------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Criseno | - | - | - | - | - | - | - |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoranteno | 11,275 | 1,425 | 12,235 | 7,065 | - | 1,573 | - |
| Fluoreno | - | - | - | - | - | - | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Naftaleno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fenantreno | - | 22,411 | 45,331 | - | - | 24,507 | 1,673 |
| Pireno | 16,561 | 7,687 | 17,999 | 12,081 | 11,721 | 6,186 | 1,452 |

Tabla No. 39: Contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas del río Daule-10-11-2011.

| Contenido de HAP's Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (10-11-2011) | | | | | | |
|--|----------------------------------|----------|-----------|-------------|-------|--------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Criseno | - | - | - | - | - | - | - |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoranteno | 5,573 | - | 1,599 | 1,560 | - | - | 4,854 |
| Fluoreno | - | - | - | - | - | 2,125 | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Naftaleno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fenantreno | 29,143 | - | 18,434 | - | - | 74,027 | 18,267 |
| Pireno | 9,308 | - | 7,016 | 6,739 | - | 14,622 | 6,779 |

Tabla No. 40: Contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas del río Daule-20-12-2011.

| Contenido de HAP's Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (20-12-2011) | | | | | | |
|--|----------------------------------|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Criseno | - | - | - | - | - | - | - |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoranteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoreno | - | - | - | - | - | - | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Antraceno | - | - | - | 5,763 | 5,972 | 7,682 | - |
| Naftaleno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fenantreno | 1,807 | 1,389 | 4,121 | 5,771 | 5,977 | 7,636 | 1,685 |
| Pireno | 1,986 | 1,884 | - | - | - | - | - |

Tabla No. 41: Contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas del río Daule-17-01-2012.

| Contenido de HAP's Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (17-01-2012) | | | | | | |
|--|----------------------------------|----------|-----------|-------------|-------|--------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Criseno | - | - | - | - | - | - | - |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoranteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoreno | - | - | - | - | - | - | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Antraceno | - | - | - | - | 6,306 | 6,568 | - |
| Naftaleno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fenantreno | 1,015 | 2,494 | 0,883 | 1,932 | 6,806 | 65,381 | 1,371 |
| Pireno | 1,726 | - | 1,698 | - | 3,876 | - | 1,893 |

Tabla No. 42: Contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas del río Daule-25-04-2012.

| Contenido de HAP's Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (25-04-2012) | | | | | | |
|--|----------------------------------|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Criseno | - | - | - | 6,905 | - | - | - |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoranteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoreno | - | - | - | - | - | - | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Antraceno | - | - | - | 6,957 | 6,377 | 6,568 | - |
| Naftaleno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fenantreno | 2,415 | - | 1,500 | 6,941 | 6,380 | 6,575 | 1,675 |
| Pireno | 2,507 | - | 2,110 | 0,495 | - | - | 2,215 |

Tabla No. 43: Contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas del río Daule-16-03-2012 y 08-04-2012.

| Contenido de HAP's Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (16-03-2012) | | | | | | |
|--|----------------------------------|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Criseno | - | - | - | - | - | - | - |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoranteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoreno | - | - | - | - | - | - | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Antraceno | - | - | - | 6,123 | - | 8,851 | 4,835 |
| Naftaleno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fenantreno | - | 1,411 | 1,346 | 6,127 | - | 8,040 | 4,867 |
| Pireno | 1,834 | 1,737 | 1,808 | - | - | 1,089 | 2,103 |

| Contenido de HAP's Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (08-04-2012) | | | | | | |
|--|----------------------------------|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| Acenafteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pirileno | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Criseno | - | - | - | - | - | - | - |
| Dibenzo(ah)Antraceno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoranteno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoreno | - | - | - | - | - | - | - |
| Indeno (1,2,3-cd) Pireno | - | - | - | - | - | - | - |
| Antraceno | - | - | - | - | 9,346 | 6,640 | - |
| Naftaleno | - | - | - | - | - | - | - |
| Fenantreno | 1,470 | 1,506 | 4,895 | 1,011 | 9,299 | 6,711 | - |
| Pireno | 1,983 | 0,694 | 3,020 | 1,884 | - | 0,345 | - |

Tabla No. 44 Contenido de Pesticidas Organoclorados en las aguas del río Daule.

| Contenido Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (13-06-2011) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | | | | | | |
|---|---|----------|-----------|-------------|-------|-------|--------------|
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 1,2-dichloro-4-isocyanato-benzene | 0.240 | 0.618 | 0.205 | 0.287 | 0.631 | - | - |
| Aldrin | - | 0.049 | - | - | - | - | 0.057 |
| 4,4,-DDD | - | 0.055 | - | - | - | - | 0.270 |
| Contenido Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (23-06-2011) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | | | | | | |
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 1,2-dichloro-4-isocyanato-benzene | 0.265 | - | - | - | 0.288 | 0.486 | 0.572 |
| 4,4,-DDD | - | - | - | - | 0.053 | - | - |
| Contenido Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (14-07-2011) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | | | | | | |
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 1,2-dichloro-4-isocyanato-benzene | 0.482 | 0.425 | 0.713 | 0.502 | 0.489 | 0.569 | 0.626 |
| 4,4,-DDD | 0.056 | 0.056 | 0.132 | 0.061 | 0.056 | 0.056 | 0.117 |
| Methychlor | - | - | 0.320 | - | - | - | - |
| Contenido Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (03-08-2011) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | | | | | | |
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 1,2-dichloro-4-isocyanato-benzene | 2.429 | 0.556 | 1.410 | 1.385 | 0.645 | 1.773 | 1.167 |
| 4,4,-DDD | - | 0.058 | - | - | 0.068 | - | 0.713 |
| Methychlor | - | - | - | - | - | - | 1.870 |
| Heptachlor | - | - | - | - | - | - | 0.105 |
| Fenamiphos | - | - | - | - | - | - | 0.517 |
| Endosulfan-sulfate | - | - | - | - | 1.870 | - | 1.474 |
| Contenido Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (08-09-2011) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | | | | | | |
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 1,2-dichloro-4-isocyanato-benzene | 0.031 | 1.623 | 0.341 | 0.794 | 0.550 | 0.229 | 1.240 |
| 4,4,-DDD | 0.064 | - | - | - | 0.083 | - | - |
| Contenido Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (16-09-2011) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | | | | | | |
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 1,2-dichloro-4-isocyanato-benzene | 0.330 | 0.484 | 0.460 | 0.616 | 0.281 | 0.542 | 0.900 |
| 4,4,-DDD | 0.206 | 0.057 | 0.067 | 0.147 | 0.095 | - | 0.170 |
| HCH-Delta | 0.135 | - | - | 0.083 | - | - | 0.114 |
| Dieldrin | - | 0.190 | - | - | - | - | - |
| Contenido Individual ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Estaciones/Muestreo (16-11-2011) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | | | | | | |
| | Balzar 1 | Balzar 2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 4,4,-DDD | 1.707 | - | - | - | - | - | - |

**Tablas de datos de metales pesados
y toxicidad en sedimentos**

Tabla No. 45: Contenido de cadmio en sedimentos del río Daule.

| Fecha/ Estación | Cadmio (mg.Kg ⁻¹) | | | | | |
|--------------------|-------------------------------|-----------|-------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 12/21/11 | 1,30 | 1,37 | 1,50 | 4,38 | 1,02 | 2,22 |
| 01/17/12 | 1,18 | 1,37 | 1,20 | 1,18 | 2,88 | 1,19 |
| 02/09/12 | 2,31 | 1,41 | 1,15 | 2,50 | 2,98 | 1,45 |
| 03/19/12 | 2,00 | 0,99 | 0,51 | 1,52 | 3,12 | 3,29 |
| 04/25/12 | 1,83 | 1,64 | 0,50 | 0,68 | 1,12 | 0,51 |
| 05/08/12 | 2,46 | 2,30 | 1,46 | 1,59 | 3,64 | 1,90 |

Tabla No. 46: Contenido de cobre en sedimentos del río Daule.

| Fecha/ Estación | Cobre (mg.Kg ⁻¹) | | | | | |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 12/21/11 | 74,33 | 17,71 | 35,00 | 34,85 | 39,30 | 23,30 |
| 01/17/12 | 33,65 | 49,54 | 39,00 | 36,49 | 24,26 | 37,21 |
| 02/09/12 | 46,27 | 31,94 | 45,53 | 40,00 | 18,25 | 10,16 |
| 03/19/12 | 26,71 | 49,93 | 15,33 | 45,77 | 40,40 | 38,87 |
| 04/25/12 | 37,41 | 57,35 | 3,68 | 22,73 | 23,95 | 38,24 |
| 05/08/12 | 25,68 | 18,89 | 53,21 | 19,69 | 22,46 | 20,84 |

Tabla No. 47: Contenido de cromo en sedimentos del río Daule.

| Fecha/ Estación | Cromo (mg.Kg ⁻¹) | | | | | |
|--------------------|------------------------------|-----------|-------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 12/21/11 | 51,95 | 36,83 | 35 | 63,5 | 20,45 | 43,3 |
| 01/17/12 | 62,19 | 19,17 | 35,95 | 20,66 | 38,76 | 23,88 |
| 02/09/12 | 42,98 | 28,15 | 23,02 | 37,5 | 42,6 | 21,71 |
| 03/19/12 | 43,23 | 49,93 | 17,58 | 0,00 | 38,2 | 48,59 |
| 04/25/12 | 37,22 | 40,95 | 22,12 | 42,61 | 51,05 | 28,07 |
| 05/08/12 | 54,74 | 50,38 | 42,15 | 38,87 | 48,52 | 25,42 |

Tabla No. 48: Contenido de mercurio en sedimentos del río Daule.

| Fecha/ Estación | Mercurio (mg.Kg ⁻¹) | | | | | |
|--------------------|---------------------------------|-----------|-------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 12/21/11 | 0,11 | 0,03 | 0,15 | 0,21 | 0,08 | 0,14 |
| 01/17/12 | 0,26 | 0,19 | 0,19 | 0,17 | 0,08 | 0,19 |
| 02/09/12 | 0,08 | 0,2 | 0,07 | 0,13 | 0,13 | 0,12 |
| 03/19/12 | 0,07 | 0,09 | 0,16 | 0,09 | 0,47 | 0,25 |
| 04/25/12 | 0,15 | 0,19 | 0,07 | 0,19 | 0,16 | 0,06 |
| 05/08/12 | 0,05 | 0,21 | 0,24 | 0,23 | 0,09 | 0,17 |

Tabla No. 49: Contenido de níquel en sedimentos del río Daule.

| Fecha/ Estación | Níquel (mg.Kg ⁻¹) | | | | | |
|--------------------|-------------------------------|-----------|-------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 12/21/11 | 12,90 | 12,35 | 18,32 | 12,45 | 0,00 | 28,87 |
| 01/17/12 | 11,52 | 13,69 | 8,92 | 14,76 | 9,22 | 13,88 |
| 02/09/12 | 13,41 | 32,69 | 0,00 | 25,00 | 66,38 | 0,00 |
| 03/19/12 | 17,35 | 24,96 | 17,88 | 25,00 | 13,10 | 24,30 |
| 04/25/12 | 12,45 | 18,11 | 20,14 | 18,25 | 16,38 | 40,83 |
| 05/08/12 | 11,30 | 37,78 | 18,32 | 23,30 | 0,00 | 20,08 |

**Tablas de datos de caudales
del río Daule**

Tabla No. 50: Caudales medios mensuales del río Daule (1964-1988)

| AÑO | CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m ³ /s) | | | | | | | | | | | |
|------|---|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
| 1964 | 278,66 | 521,59 | 1120,43 | 1320,77 | 193,66 | 89,75 | 52,77 | 36,49 | 26,21 | 23,61 | 18,81 | 16,30 |
| 1969 | 51,62 | 52,79 | 419,84 | 870,20 | 661,35 | 417,04 | 106,97 | 29,83 | 17,95 | 12,49 | 10,86 | 11,80 |
| 1973 | 956,46 | 1019,94 | 971,21 | 1331,61 | 749,39 | 211,94 | 117,16 | 64,50 | 38,85 | 27,76 | 20,06 | 17,84 |
| 1974 | 32,86 | 417,83 | 475,30 | 123,51 | 203,41 | 54,36 | 25,16 | 15,62 | 10,37 | 9,54 | 7,46 | 20,26 |
| 1978 | 78,37 | 453,83 | 510,54 | 646,92 | 326,92 | 95,40 | 42,54 | 25,67 | 18,31 | 13,31 | 11,09 | 10,70 |
| 1980 | 19,18 | 190,01 | 154,14 | 682,87 | 305,97 | 92,28 | 33,71 | 19,03 | 10,76 | 9,14 | 7,69 | 8,14 |
| 1982 | 66,79 | 307,94 | 150,07 | 162,64 | 115,15 | 36,56 | 17,80 | 9,59 | 7,21 | 57,07 | 469,86 | 871,57 |
| 1983 | 1444,51 | 1216,95 | 1343,48 | 1446,10 | 1076,16 | 883,57 | 782,67 | 416,45 | 365,99 | 157,22 | 98,41 | 97,66 |
| 1988 | 154,77 | 643,39 | 420,43 | 151,67 | 422,20 | 33,99 | 49,59 | 56,12 | - | - | - | - |

Tabla No. 51: Caudales medios mensuales del río Daule (1989-2010)

| AÑO | CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m ³ /s) | | | | | | | | | | | |
|------|---|----------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
| 1989 | 106,63 | 649,33 | 630,57 | 0,00 | 404,39 | 396,72 | 427,22 | 115,25 | 55,57 | 51,63 | 51,68 | 84,56 |
| 1990 | 100,01 | 122,06 | 93,54 | 126,84 | 82,85 | 54,87 | 43,46 | 40,67 | 37,41 | 41,92 | 40,79 | 52,78 |
| 1991 | 43,51 | 177,37 | 177,49 | 114,67 | 63,53 | 44,73 | 44,83 | 39,90 | 34,51 | 30,99 | 30,77 | 47,06 |
| 1994 | 144,39 | 384,72 | 391,02 | 646,65 | 621,32 | 258,66 | 111,67 | 80,79 | 68,23 | 59,34 | 50,63 | 82,28 |
| 1995 | 284,98 | 690,44 | 284,93 | 315,32 | 183,86 | 143,45 | 94,99 | 84,66 | 68,43 | 68,89 | 55,47 | 61,17 |
| 1998 | 1.439,11 | 1.339,73 | 1.769,99 | 1.910,76 | 1.454,06 | 1.117,29 | 448,72 | 294,39 | 251,23 | 227,75 | 186,28 | 145,89 |
| 1999 | 135,11 | 604,58 | 863,86 | 1089,99 | 798,16 | 392,24 | 298,66 | 201,54 | 167,59 | 0,00 | 261,28 | 288,75 |
| 2001 | 581,21 | 587,99 | 675,27 | 1.266,53 | 490,61 | 195,11 | 118,13 | 99,13 | 98,25 | 135,81 | 158,98 | 93,66 |
| 2002 | 96,67 | 413,93 | 853,52 | 860,89 | 547,96 | 216,82 | 157,41 | 129,10 | 114,18 | 118,90 | 169,35 | 202,59 |
| 2003 | 266,83 | 471,98 | 362,54 | 175,45 | 133,23 | 107,78 | 98,70 | 94,13 | 89,46 | 89,78 | 137,13 | 137,75 |
| 2004 | 145,63 | 227,78 | 224,63 | 205,07 | 116,12 | 106,48 | 93,76 | 89,37 | 86,67 | 86,71 | 118,11 | 132,04 |
| 2005 | 131,35 | 119,73 | 172,58 | 410,96 | 142,31 | 101,57 | 93,51 | 89,18 | 90,18 | 97,45 | 113,46 | 144,25 |
| 2007 | 152,50 | 143,46 | 329,02 | 410,49 | 156,71 | 117,82 | 103,67 | 100,68 | 91,25 | 101,98 | 97,13 | 126,16 |
| 2008 | 267,11 | 744,72 | 879,78 | 502,59 | 368,41 | 146,51 | 127,53 | 125,61 | 112,12 | 106,93 | 125,62 | 223,02 |
| 2010 | 169,59 | 542,04 | 830,42 | 872,30 | 475,24 | 146,58 | 116,89 | 92,34 | 73,51 | 82,02 | 147,39 | - |

Tabla No. 52: Toxicidad de los sedimentos del río Daule.

| Fecha | Toxicidad | | | | | | | | |
|----------|----------------------|---------------------|---------|---------|-----------|-------------|--------|--------|--------------|
| | Parámetro | Luminosidad Inicial | Balzar1 | Balzar2 | Palestina | Santa Lucía | Daule | Nobol | Puente Lucía |
| 06/28/12 | Luminosidad/Estación | 14.781 | 15.425 | 16.909 | 14.930 | 15.590 | 17.490 | 16.450 | 15.570 |
| | TOC | --- | 2,56 | 2,23 | 2,78 | 3,04 | 2,89 | 3,36 | 2,75 |
| | % I | --- | 4,36 | 14,4 | 1,01 | 5,47 | 18,33 | 11,29 | 5,34 |
| 07/10/12 | Luminosidad/Estación | 5.782 | 7.057 | 6.973 | 6.160 | 6.345 | 6.490 | 6.378 | 7.100 |
| | TOC | --- | 2,02 | 2,22 | 2,78 | 2,45 | 2,3 | 2,44 | 2,56 |
| | % I | --- | 22,05 | 20,6 | 9,24 | 9,74 | 12,24 | 10,31 | 22,79 |
| 07/21/12 | Luminosidad/Estación | 25.492 | 27.495 | 26.810 | 27.562 | 28.932 | 27.673 | 26.233 | 26.490 |
| | TOC | --- | 1,86 | 1,97 | 1,98 | 2,79 | 1,85 | 1,89 | 2,04 |
| | % I | --- | 7,86 | 5,17 | 8,12 | 13,49 | 8,56 | 2,9 | 3,91 |
| 08/17/12 | Luminosidad/Estación | 15.435 | 18.967 | 16.932 | 17.452 | 17.345 | 18.398 | 17.924 | 17.219 |
| | TOC | --- | 2,12 | 2,17 | 1,97 | 2,31 | 2,67 | 2,45 | 2,41 |
| | % I | --- | 22,88 | 9,49 | 13,07 | 12,37 | 19,2 | 16,13 | 11,56 |
| 08/23/12 | Luminosidad/Estación | 32.724 | 35.489 | 36.782 | 36.461 | 33.423 | 34.677 | 33.419 | 34.457 |
| | TOC | --- | 1,93 | 2,17 | 2,28 | 2,42 | 2,42 | 2,15 | 2,14 |
| | % I | --- | 8,45 | 12,4 | 11,42 | 2,14 | 5,97 | 2,12 | 5,3 |
| 09/04/12 | Luminosidad/Estación | 19.458 | 22.765 | 23.465 | 21.984 | 22.457 | 20.451 | 21.458 | 23.126 |
| | TOC | --- | 2,01 | 2,14 | 1,96 | 1,89 | 2,14 | 2,17 | 2,56 |
| | % I | --- | 17 | 20,59 | 12,98 | 15,41 | 5,1 | 10,28 | 18,85 |

Tabla No. 53: Toxicidad de los sedimentos del río Daule.

| Fecha/ Estación | Incremento de la Luminiscencia (% I) | | | | | |
|--------------------|--------------------------------------|-----------|-------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 12/15/11 | 1,17 | 27,31 | 7,19 | 3,15 | 25,14 | 51,33 |
| 12/21/11 | 1,91 | 9,32 | 8,42 | 9,41 | 6,91 | 20,00 |
| 01/17/12 | 5,93 | 9,95 | 8,42 | 6,43 | 4,06 | 11,91 |
| 02/09/12 | 12,89 | 4,05 | 8,84 | 0,41 | 7,21 | 13,28 |
| 03/10/12 | 10,26 | 47,92 | 16,41 | 31,06 | 11,52 | 42,77 |
| 04/25/12 | 15,40 | 6,19 | 14,96 | 22,46 | 13,64 | 19,74 |
| 05/08/12 | 6,36 | 4,91 | 0,39 | 5,16 | 13,24 | 21,56 |

Tabla No. 54: Materia orgánica de los sedimentos del río Daule.

| Fecha/ Estación | Materia Orgánica (%) | | | | | |
|--------------------|----------------------|-----------|-------------|-------|-------|-----------------|
| | Balzar | Palestina | Santa Lucia | Daule | Nobol | Puente Lucia |
| 12/15/11 | 2,95 | 4,21 | 4,46 | 3,67 | 5,12 | 3,67 |
| 12/21/11 | 3,82 | 5,03 | 4,37 | 5,08 | 3,72 | 6,96 |
| 01/17/12 | 4,65 | 3,91 | 3,78 | 2,07 | 4,76 | 5,34 |
| 02/09/12 | 3,96 | 4,81 | 6,18 | 3,88 | 6,44 | 2,78 |
| 03/10/12 | 4,74 | 3,78 | 4,52 | 2,74 | 5,32 | 7,82 |
| 04/25/12 | 6,8 | 2,19 | 3,6 | 4,76 | 2,79 | 4,68 |
| 05/08/12 | 5,18 | 3,89 | 4,59 | 4,72 | 3,76 | 6,18 |

ANEXO 1

De los equipos específicos,
equipos auxiliares
y reactivos.

Equipos específicos:

- Espectrómetro de masa Modelo Saturno 2000.
- Equipo de absorción atómica marca Varían, modelo AA240Z, horno de grafito GTA 120, corrector de fondo Zeeman.
- Equipo determinador de Carbono orgánico, TOC-V_{CSN}; Shimadzu.
- Espectrofotómetro UV-VIS, AquaMate Plus UV/VIS, Thermo Scientific.
- Turbidímetro; HACH 2100 AN.
- Digestor de microondas, START D, Milestone.
- Determinador de toxicidad; OPTOCOMP 1, MGM Instruments. Inc.
- Sonda multiparamétrica, para determinación de oxígeno disuelto, conductividad, pH y temperatura in situ. Orion 5 Star; Thermo Scientific.

Equipos auxiliares:

- Equipo de pH; Orion 3 Star; Thermo Scientific.
- Equipo de ultrasonido; FS60D; Fisher Scientific.
- Bombas de vacío.
- Purificador de agua milli-Q; Millipore.
- Vortex (agitador vibrador).

- Rotaevaporador.
- Microjeringas.
- Micropipetas.
- Placas de calentamiento.
- Estufas.
- Autoclave.
- Incubadoras.
- Equipo de tamizado.
- Material variado de vidrio tipo A y plástico.

Reactivos:

- Estándares de pesticidas organoclorados y organofosforados, Dr. Ehrenstorfer.
- Estándares de bifenilos policlorados (PCBs), Dr. Ehrenstorfer.
- Estándares de hidrocarburos aromáticos policíclicos HAPs, Dr. Ehrenstorfer.
- Estándares de metales: plomo, cadmio, cobre, cromo, níquel, manganeso, hierro, mercurio, arsénico. Atomic absorption Standard (AA), AccuStandar.
- Diclorometano, Grado HPLC, Merck.
- Hexano, supraSolvent, Merck.

- Acetona.
- Hidróxido de sodio.
- Hidróxido de potasio.
- Cloruro de sodio, J.T.Baker.
- Sulfato de sodio anhidro, Fisher Chemical.
- Agua tipo milli-Q.
- Ácido ascórbico.
- Acetona, grado HPLC, Fisher Chemicals.
- Ácido nítrico, Mallinckrodt Chemical.
- Ácido clorhídrico, J.T.Baker.
- Ácido sulfúrico, Mallinckrodt Chemical.
- Dicromato de potasio.
- Ftalato monoácido de potasio, SIGMA-ALDRICH.
- Reactivo de Nessler, Merck.
- Cloruro de bario, J.T.Baker.
- Jabón neutro Extran MA 02.

- Nitrato de plata, Spectrum Chemical.
- Modificador químico de paladio y NH_4NO_3 .
- Borohidruro de sodio.
- Tartrato doble de sodio y potasio.
- Soluciones buffer para calibración del equipo de pH.
- Disoluciones de calibración para pH, oxígeno disuelto y conductividad.
- Caldos MacConkey.

ANEXO 2

De los procedimientos, técnicas y condiciones de
operación

Procedimiento para la ejecución de los análisis de compuestos orgánicos

Extracción líquido-líquido de los compuestos orgánicos.

- Tomar 500 ml de muestra de agua con una probeta para dicha capacidad.
- Transferir la muestra a un embudo de decantación.
- Agregar 40 g de NaCl.
- Agitar a fin que se disuelva el NaCl y la solución sea de carácter polar.
- Agregar 40 ml de diclorometano.
- Tapar el embudo de decantación y agitar vigorosamente por unos 5 minutos y dejar reposar por unos 10 minutos a fin de que se produzca la separación entre las fases.
- Tomar un embudo de vidrio con su filtro, al cual se le agregado unos 10 g de Na_2SO_4 anhidro.
- Abrir la llave del embudo de decantación para separar la acuosa y recogerla en un Erlenmeyer, la fase orgánica es filtrada por el embudo que contiene el Na_2SO_4 anhidro a fin de eliminar la humedad que esta pudiera contener.
- Agregar 30 ml de diclorometano y repetir el proceso de extracción como se ha indicado, anteriormente.
- Proceder a una tercera extracción, adicionando nuevamente 30 ml de diclorometano.

- Lavar el filtro con Na_2SO_4 anhidro, con 5 ml de diclorometano, para tener la certeza que todo el extracto pase a la fase orgánica.
- Rotaevaporar la fase orgánica, para lo cual la muestra es transferida al rotaevaporador, y con vacío destilar a una temperatura de $40\text{ }^\circ\text{C}$, hasta que queden unos tres mililitros.
- Llevar a sequedad la fase orgánica con un flujo de gas nitrógeno.
- Agregar 1 ml de hexano a fin de disolver los compuestos orgánicos y llevar a un vial de cromatografía.
- De un volumen de 500 ml de muestra se llega a 1 ml de extracto, concentrándolo 500 veces, lo cual va a permitir el determinar cantidades a nivel de trazas.

**Parámetros de trabajo espectrómetro de masa Modelo Saturno 2000
procedimientos para la determinación de los compuestos orgánicos.**

Automuestreador.

- Volumen de inyección, 5 μL .
- Penetración de la aguja en el vial, 90%.
- Velocidad de toma de muestra, 2 $\mu\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Velocidad de inyección 4 $\mu\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Tiempo de residencia de la aguja en el inyector 3,50 minutos.
- Técnica utilizada, tipo sándwich.

Condiciones de temperatura del inyector y relación splits para cada grupo de compuestos orgánicos.

Condiciones de operación del inyector y Split para la determinación HAPs

| Tiempo (min) | Temperatura (°C) | Ratio temperatura | Duración (min) | Split | Ratio Split |
|--------------|-------------------------------------|-------------------|----------------|-------|-------------|
| 0 | 280 | - | 0,01 | On | 15 |
| 0,01 | 280 | - | 3,24 | Off | Off |
| 3,25 | 280 | - | 0,25 | On | 50 |
| 3,50 | 280 | - | 40,15 | On | 50 |
| 43,65 | Regreso a las condiciones iniciales | | | | |

Condiciones de operación del inyector y Split en pesticidas organoclorados y bifenilos

| Tiempo (min) | Temperatura (°C) | Ratio temperatura | Duración (min) | Split | Ratio Split |
|--------------|-------------------------------------|-------------------|----------------|-------|-------------|
| 0 | 70 | - | 0,01 | On | 20 |
| 0,01 | 70 | - | 1,49 | On | 5 |
| 1,50 | 280 | 200 | 2,45 | Off | Off |
| 5,00 | 280 | - | 27,55 | On | 50 |
| 32,55 | Regreso a las condiciones iniciales | | | | |

Condiciones de operación del inyector y Split en pesticidas organofosforados

| Tiempo (min) | Temperatura (°C) | Ratio temperatura | Duración (min) | Split | Ratio Split |
|--------------|-------------------------------------|-------------------|----------------|-------|-------------|
| 0 | 70 | - | 0,01 | On | 20 |
| 0,01 | 70 | - | 1,49 | On | 5 |
| 1,50 | 280 | 200 | 2,45 | Off | Off |
| 5,00 | 250 | - | 42,55 | On | 50 |
| 47,55 | Regreso a las condiciones iniciales | | | | |

Condiciones del horno de la Columna, para los diferentes compuestos orgánicos.

| Condiciones del horno para Haps | | | |
|---------------------------------|-------------------|----------------|-------------|
| Temperatura (°C) | Velocidad °C/min) | Duración (min) | Total (min) |
| 80 | - | 3 | 3 |
| 100 | 25 | 3 | 6,8 |
| 200 | 8 | 2 | 21,3 |
| 260 | 8 | 2 | 30,80 |
| 280 | 2 | 2 | 42,80 |
| 300 | 25 | 3 | 48,60 |

| Condiciones del horno para organofosforados | | | |
|---|-------------------|----------------|-------------|
| Temperatura (°C) | Velocidad °C/min) | Duración (min) | Total (min) |
| 50 | - | 5 | 5 |
| 100 | 25 | 3 | 10 |
| 200 | 8 | 2 | 34 |
| 260 | 8 | 2 | 34 |
| 280 | 2 | 2 | 46 |
| 300 | 30 | 5 | 51,67 |

| Condiciones del horno para organoclorados y PCBs | | | |
|--|-------------------|----------------|-------------|
| Temperatura (°C) | Velocidad °C/min) | Duración (min) | Total (min) |
| 50 | - | 5 | 5 |
| 180 | 25 | 1 | 11,20 |
| 260 | 5 | 2 | 29,20 |
| 305 | 30 | 5 | 35,70 |

Parámetros instrumentales para el análisis de pesticidas, bifenilos policlorados y compuestos aromáticos policíclicos por GC/MS

| Compuesto | T.R. | Ión Precursor (m/z) | I.C. (m/z) | E.S.L (m/z) | Amplitud (V) |
|---------------------|-------|---------------------|-------------|-------------|--------------|
| Aldrin | 17,79 | 263 | 191 | 90 | 97 |
| Azinphos Ethyl | 34,47 | 132 | 104 | 60 | 61 |
| Azinphos Methyl | 33,43 | 132 | 104 | 60 | 61 |
| Benfuracarb | 27,48 | 190 | 102+144 | 83 | 50 |
| Bromophos Ethyl | 27,67 | 359 | 303 | 140 | 79 |
| Bromophos Methyl | 26,51 | 331 | 331 | 150 | 99 |
| Cadusafos | 13,54 | 213 | 131+151+185 | 84 | 54 |
| Carbophenothion | 30,69 | 342 | 199+296 | 150 | 71 |
| Carbofuran | 14,32 | 164 | 149 | 70 | 54 |
| Chlofenvinphos A | 26,83 | 267 | 159+203 | 100 | 83 |
| Chlofenvinphos B | 27,16 | 267 | 159+203 | 100 | 83 |
| Chlorpyrifos | 25,77 | 314 | 182 | 172 | 98 |
| Chlorpyrifos Methyl | 24,19 | 286 | 208 | 85 | 73 |
| Diazinon | 22,66 | 304 | 162+179 | 110 | 66 |
| Dichlorfenthion | 23,93 | 279 | 223 | 110 | 83 |
| Dichlorvos | 13,90 | 185 | 93 | 58 | 51 |
| Dieldrin | 21,09 | 277 | 204 | 100 | 93 |
| Endosulfan-Alpha | 20,19 | 339 | 195+267 | 125 | 62 |
| Endosulfan-Beta | 22,23 | 339 | 267 | 125 | 61 |
| Endosulfan-Sulfate | 23,50 | 387 | 254+289 | 71 | 36 |
| Endrin | 21,82 | 281 | 243+245 | 100 | 86 |
| Ethion | 29,95 | 231 | 203 | 100 | 62 |
| Ethoprophos | 13,08 | 158 | 130 | 60 | 37 |
| Etrimpos | 23,15 | 292 | 181 | 70 | 45 |
| Fenamiphos | 20,37 | 303 | 195 | 95 | 56 |
| Fenclorpos | 24,78 | 285 | 240 | 110 | 98 |
| Fenophos | 22,64 | 246 | 137 | 48 | 19 |
| HCH-Alpha | 14,01 | 219 | 181:183 | 100 | 70 |
| HCH-Beta | 14,65 | 219 | 181:183 | 100 | 70 |

| Compuesto | T.R. | Ión Precursor | I.C. | E.S.L | Amplitud |
|-----------------------------------|-------|---------------|-------------|-------|----------|
| HCH-Delta | 15,59 | 219 | 181:183 | 100 | 70 |
| HCH-Gamma | 14,82 | 219 | 181:183 | 100 | 70 |
| Heptachlor | 16,73 | 272 | 237 | 75 | 59 |
| Heptachloro-endo-epoxide | 19,14 | 353 | 252:254+289 | 75 | 50 |
| 1,2-Dichloro-4-Isocyanato-benzene | 10,42 | 187 | 124 | 70 | 70 |

T.R. –tiempo de retención, E.S.L.- nivel de energía de almacenamiento, I.C.-Ión de cuantificación.

| Compuesto | T.R. | Ión Precursor (m/z) | I.C. (m/z) | E.S.L (m/z) | Amplitud (V) |
|-------------------|-------|---------------------|------------|-------------|--------------|
| Malathion | 25,56 | 173 | 99+145 | 75 | 41 |
| Methacrifos | 18,44 | 208 | 180 | 85 | 52 |
| Methoxychlor | 23,53 | 227 | 169 | 90 | 83 |
| Methidathion | 27,86 | 145 | 85 | 70 | 44 |
| Pyrimiphos Ethyl | 26,43 | 318 | 182 | 120 | 85 |
| Pyrimiphos Methyl | 25,15 | 290 | 151 | 85 | 64 |
| Propetamphos | 22,48 | 138 | 110 | 55 | 47 |
| Propyzamide | 14,87 | 254 | 226 | 85 | 70 |
| Sulfotep | 21,05 | 322 | 266 | 75 | 40 |
| Tetrachorvinphos | 27,90 | 331 | 109 | 80 | 64 |
| 4,4'-DDD | 22,33 | 235 | 165 | 75 | 63 |
| 4,4'-DDE | 20,88 | 318 | 246 | 100 | 79 |
| 4,4'-DDT | 23,59 | 235 | 199 | 75 | 63 |

Parámetros Instrumentales para PCBs por CG/MS

| Compuesto | T.R. (min.) | Ión Precursor (m/z) | I.C. (m/z) | E.S.L. (m/z) | Amplitud (V) |
|-----------|-------------|---------------------|------------|--------------|--------------|
| PCB 28 | 16,32 | 253 | 186 | 133 | 1,12 |
| PCB 31 | 16,32 | 258 | 186 | 133 | 1,12 |
| PCB 52 | 17,28 | 292 | 220+222 | 157 | 1,06 |
| PCB 77 | 21,24 | 292 | 220+222 | 120 | 1,10 |
| PCB 101 | 19,95 | 326 | 291 | 145 | 1,20 |
| PCB 105 | 22,88 | 326 | 256 | 145 | 1,20 |
| PCB 118 | 22,05 | 326 | 254+256 | 145 | 1,06 |
| PCB 126 | 24,01 | 326 | 256 | 145 | 1,13 |
| PCB 128 | 24,52 | 360 | 290 | 206 | 1,25 |

| Compuesto | T.R (min.) | Ión Precursor (m/z) | I.C. (m/z) | E.S.L. (m/z) | Amplitud (V) |
|-----------|---------------|------------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| PCB 138 | 23,62 | 360 | 290 | 206 | 1,55 |
| PCB 153 | 22,71 | 360 | 290 | 206 | 1,60 |
| PCB 156 | 25,34 | 360 | 290 | 206 | 1,25 |
| PCB 169 | 26,65 | 360 | 290 | 206 | 1,30 |
| PCB 170 | 26,83 | 394 | 324 | 231 | 1,55 |
| PCB 180 | 25,89 | 396 | 326 | 231 | 1,56 |

Parámetros para la distribución de los analitos en segmentos, método de análisis de PCBs, pesticidas organoclorados y otros

| Segmento | Compuestos | Rango de Trabajo (m/z) | Intervalo de tiempo (min.) | Número μ scan | Tiempo por Scan (s) |
|----------|---------------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | - | - | 0-10,00 | - | - |
| 2 | 1,2-dichloro-isocyanato-benzene | 70-225 | 10-12,30 | 3 | 0,49 |
| 3 | Ethoprophos | 65-225 | 12,30-13,40 | 3 | 0,50 |
| 4 | Cadusafos | 65-250 | 13,40-13,89 | 3 | 0,51 |
| 5 | HCH-alfa, Beta, Gamma | 65-300 | 13,89-15,30 | 2 | 0,40 |
| | Carbofuran | | | | |
| | Propyzamide | | | | |
| 6 | HCH-Delta | 65-275 | 15,30-16,05 | 3 | 0,52 |
| 7 | PCB 28 y 31 | 100-300 | 16,05-16,56 | 3 | 0,52 |
| 8 | Heptachlor | 75-325 | 16,56-17,00 | 3 | 0,54 |
| 9 | PCB 52 | 100-340 | 17,00-17,60 | 3 | 0,54 |
| 10 | Aldrin | 100-315 | 17,60-18,81 | 3 | 0,52 |
| 11 | Heptachlor-endo-epoxide | 100-400 | 18,81-19,69 | 3 | 0,57 |
| 12 | PCB 101 | 100-400 | 19,69-20,70 | 2 | 0,42 |
| | Endosulfan-alpha | | | | |
| | Fenamiphos | | | | |
| 13 | 4,4-DDE | 120-360 | 20,70-21,55 | 2 | 0,41 |
| | Dieldrin | | | | |
| | PCB 77 | | | | |

Distribución de los analitos en segmentos, método de análisis de PCBs, pesticidas organoclorados y otros

| Segmento | Compuestos | Rango de Trabajo (m/z) | Intervalo de tiempo (min.) | Número μ scan | Tiempo por Scan (s) |
|----------|--------------------|------------------------|----------------------------|-------------------|---------------------|
| 14 | Endrin | 120-390 | 21,55-22,50 | 2 | 0,42 |
| | PCB 118 | | | | |
| | Endosulfan-Beta | | | | |
| | 4,4'-DDD | | | | |
| 15 | PCB 153 | 140-410 | 22,50-23,25 | 2 | 0,41 |
| | PCB 105 | | | | |
| 16 | Endosulfan sulfate | 120-430 | 2,25-23,95 | 2 | 0,43 |
| | 44-DDT | | | | |
| | PCB 138 | | | | |
| 17 | PCB 126 | 170-410 | 23,95-24,90 | 2 | 0,41 |
| | PCB 128 | | | | |
| 18 | PCB 156 | 120-440 | 24,90-26,30 | 2 | 0,43 |
| | Methoxychlor | | | | |
| | PCB 180 | | | | |
| 19 | PCB 169 | 200-440 | 26,30-27,20 | 2 | 0,41 |
| | PCB 170 | | | | |
| 20 | Benfuracarb | 80-240 | 27,20-28,00 | 3 | 0,50 |

Distribución de los analitos en segmentos, método de análisis de pesticidas organofosforados

| Segmento | Compuestos | Rango de Trabajo (m/z) | Intervalo de tiempo (min.) | Número μ scan | Tiempo por Scan (s) |
|----------|----------------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | - | - | 0-13,50 | - | - |
| 2 | Dichlorvos | 65-235 | 13,50-16,40 | 2 | 0,38 |
| 3 | Methacriphos | 65-235 | 16,40-19,40 | 1 | 0,26 |
| 4 | Sulfotep | 120-375 | 19,40-21,95 | 2 | 0,41 |
| 5 | Propetamphos | 65-350 | 21,95-22,77 | 1 | 0,28 |
| | Fonofos | | | | |
| | Diazinon | | | | |
| 6 | Etrimfos | 100-340 | 22,77-23,75 | 2 | 0,41 |
| 7 | Dichlofenotion | 100-340 | 23,75-24,55 | 1 | 0,28 |
| | Chlorpyriphos | | | | |
| 8 | Fenclorphos | 100-340 | 24,55-25,40 | 1 | 0,28 |
| | Pyrimiphos Methyl | | | | |
| 9 | Malathion | 65-365 | 25,40-26,15 | 2 | 0,43 |
| | Chlorpyriphos Ethyl | | | | |
| 10 | Pyrimiphos Ethyl | 120-385 | 26,15-26,20 | 1 | 0,28 |
| | Bromophos Methyl | | | | |
| 11 | Chlorfenvinphos A y B | 100-310 | 26,60-27,35 | 2 | 0,40 |
| 12 | Bromophos Ethyl | 70-400 | 27,35-29,00 | 1 | 0,29 |
| | Methidathion | | | | |
| | Tetrachlorvinphos | | | | |
| 13 | Ethion | 100-280 | 29,00-30,50 | 1 | 0,27 |
| 14 | Carbophenthion | 120-400 | 30,50-31,80 | 2 | 0,42 |
| 15 | Azinphos Methyl y Azinphos Ethyl | 65-80 | 31,80-35,75 | 2 | 0,36 |
| | Pyrimiphos Methyl | | | | |

Distribución de los compuestos en segmentos en el método de HAPs

| Segmento | Compuestos | Rango de Trabajo (m/z) | Intervalo de tiempo (min.) | Número μ scan | Tiempo por Scan (s) |
|----------|-------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | - | - | 0-8,50 | - | - |
| 2 | Naphthalene | 65-150 | 8,50-10,50 | 2 | 0,35 |
| 3 | Acenaphthylene | 100-200 | 10,50-14,85 | 2 | 0,37 |
| 4 | Acenaphthene | 100-200 | 14,85-16,20 | 2 | 0,36 |
| 5 | Fluorene | 100-215 | 16,20-19,10 | 2 | 0,37 |
| 6 | Phenanthene | 100-215 | 19,10-22,00 | 2 | 0,41 |
| | Anthracene | | | | |
| 7 | Fluoranthene | 120-250 | 22,00-28,00 | 2 | 0,37 |
| | Pyrene | | | | |
| 8 | Benzo(a)Anthracene | 175-275 | 28,00-31,50 | 2 | 0,38 |
| | Chrysene | | | | |
| 9 | Benzo(a)Fluoranthene | 140-300 | 31,50-37,00 | 2 | 0,38 |
| | Benzo(k)Fluoranthene | | | | |
| | Benzo(a)Pyrene | | | | |
| 10 | Indeno(1,2,3-c,d)Pyrene | 200-325 | 37,00-44,00 | 2 | 0,37 |
| | Dibenzo(a,h)Anthracene | | | | |
| | Benzo(g,h,i)Perylene | | | | |

ANEXO 3

De los procedimientos, técnicas y condiciones de operación de los análisis en las muestras de agua

Tratamiento previo de las muestras de aguas para determinación de metales pesados

- Filtrar las muestras a través de una membrana de fibra de vidrio de 0,45 μm utilizando un equipo de filtración al vacío.
- Tras la filtración se acidifican con HNO_3 a $\text{pH} < 2$, para evitar el intercambio de iones y la precipitación de hidróxidos.
- Guardar las muestras en refrigeración hasta su lectura.
- Filtrar las muestras a través de una membrana de fibra de vidrio de 0,45 μm utilizando un equipo de filtración al vacío.
- Tras la filtración se acidifican con HNO_3 a $\text{pH} < 2$, para evitar el intercambio de iones y la precipitación de hidróxidos.
- Guardar las muestras en refrigeración hasta su lectura.

Parámetros instrumentales de la determinación de los iones metálicos mayoritarios en agua.

| Elemento | Intensidad de lámpara (mA) | λ (nm) | Estándar 1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | Estándar 2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | Estándar 3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | Estándar 4 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ |
|----------|----------------------------|----------------|---|---|---|---|
| Calcio | 12 | 422,7 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 |
| Magnesio | 8 | 285,2 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| Sodio | 15 | 589,0 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 1,0 |
| Potasio | 15 | 766,5 | 0,2 | 0,4 | 1,6 | 2,0 |

Parámetros instrumentales de la determinación de metales pesados en agua.

| Elemento | λ (nm) | Pirólisis ($^{\circ}\text{C}$) | Atomización $^{\circ}\text{C}$ | Intensidad lámpara (mA) | Modificador |
|----------|----------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| As | 193,7 | 1.400 | 2.600 | 10,0 | Pd |
| Cd | 228,8 | 650 | 1.800 | 3,0 | $\text{Pd}+\text{NH}_4\text{NO}_3$ |
| Cr | 357,9 | 1.300 | 2.600 | 6,0 | $\text{Pd}+\text{NH}_4\text{NO}_3$ |
| Cu | 324,8 | 1.200 | 2.100 | 4,0 | $\text{Pd}+\text{NH}_4\text{NO}_3$ |
| Hg | 253,7 | - | Hidruros | 220,0 | - |
| Ni | 232,0 | 1.000 | 2.400 | 8,0 | $\text{Pd}+\text{NH}_4\text{NO}_3$ |
| Pb | 283,3 | 750 | 2.100 | 6,0 | $\text{Pd}+\text{NH}_4\text{NO}_3$ |

Programación de la temperatura del horno de grafito, para la determinación de metales pesados.

| Metal | As | | Cd | | Cr | | Cu | | Ni | | Pb | |
|--------------------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| V.I. (μ L) | 26 | | 21 | | 26 | | 30 | | 41 | | 26 | |
| Etapa | T | t | T | t | T | t | T | t | T | t | T | t |
| 1 | 85 | 5 | 85 | 5 | 85 | 5 | 85 | 5 | 85 | 5 | 85 | 5 |
| 2 | 120 | 50 | 115 | 40 | 95 | 45 | 95 | 50 | 95 | 75 | 120 | 40 |
| 3 | 140 | 10 | 140 | 10 | 120 | 15 | 120 | 15 | 120 | 10 | 150 | 15 |
| 4 | 1.400 | 8 | 650 | 8 | 1.300 | 8 | 1.200 | 8 | 1.000 | 8 | 750 | 8 |
| 5 | 1.400 | 5 | 650 | 10 | 1.300 | 10 | 1.200 | 8 | 1.000 | 10 | 750 | 20 |
| 6 * | 1.400 | 2 | 650 | 5 | 1.300 | 2 | 1.200 | 2 | 1.000 | 2 | 750 | 3,3 |
| 7 | 2.600 | 0,6 | 1.800 | 0,8 | 2.100 | 0,8 | 2.300 | 0,8 | 2.400 | 0,8 | 2.100 | 0,9 |
| 8 | 2.600 | 2 | 1.800 | 2 | 2.600 | 2 | 2.100 | 2 | 2.100 | 2 | 2.100 | 2 |
| 9 ** | 2.600 | 2 | 1.800 | 2 | 2.600 | 2 | 2.100 | 2 | 2.400 | 2 | 2100 | 2 |

Programación de temperatura y volumen (V.I.) inicial para cada metal

Temperatura ($^{\circ}$ C) de la etapa, t tiempo de alcanzar la temperatura (seg.)

* A partir de la etapa se cierra el caudal de argón

** En esta etapa se abre el caudal de argón, para la limpieza de tubo de grafito

ANEXO 4

De los procedimientos para la determinación de los
parámetros microbiológicos y toxicidad

Determinación de los parámetros microbiológicos en muestras de agua.

Procedimiento.

- Disolver 37,0 g del Caldo MacConkey en un litro de agua destilada, distribuir en cantidades de 10 ml en tubos de ensayos, provistos de campanas Durhan de forma invertida.
- Agitar vigorosamente la muestra de agua a ser analizada, a fin de que sea homogénea.
- Preparar las diluciones de la muestras a analizar, para lo cual se toma 1 ml. de muestra y se le agrega 9 ml de agua esteril y obtenemos una solución de 10^{-1} , y a partir de esta ir preparando de manera sucesiva soluciones hasta 10^{-5} .
- Inocular asépticamente con 1 ml de muestra por triplicado, en los tubos de fermentación conteniendo caldo MacConkey, con la campana de Durham.
- Proceder a incubar a 37°C por 24 horas para el caso de los coliformes totales y a 44°C para los coliformes fecales por 24 horas.
- Realización de las lecturas, con la tabla del NMP.

Determinación de la toxicidad en muestras de agua del río Daule.

El mecanismo de la bioluminiscencia bacteriana está ligado al sistema de transporte de electrones en la respiración celular y responde al estado metabólico de la célula, por lo que un decaimiento en la luminiscencia emitida, es un indicativo de que la respiración bacteriana está comprometida por algún daño ocasionado por agentes externos que afectan la suspensión del ensayo como sustancias insolubles, solubles, concentraciones de NaCl mayor a $35\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, por adsorción o dispersión de luz; entre otros.

El ensayo se basa en la diferencia entre la luminiscencia emitida por las bacterias *Vibrio fischeri* en condiciones favorables y la luminiscencia resultante después de exponer las bacterias a las disoluciones problema.

El equipo utilizado para estos bioensayos es el OPTOCOMP de MGM Instruments.

- Todas las muestras tomadas en las diferentes estaciones, deben ser ajustadas a un pH entre 7 y 8.5 para no afectar el estado de la muestra y ocasionar resultados erróneos.
- Las suspensiones de bacterias utilizadas para las medidas de toxicidad se preparan a partir de las bacterias liofilizadas que han sido conservadas en congelación entre -18°C y -20° , por esta razón es necesario reconstituirlas con una disolución salina (NaCl no tóxica al 2% en peso) antes de su uso.
- Previamente se lleva el termobloque o Peltier a 15°C y se lo mantiene a esa temperatura durante todo el ensayo.
- Los datos de la muestra patrón y el blanco construyen la curva de calibración mediante el programa del OPTOCOMP.
- En el Peltier se disponen todos los tubos de ensayos que serán utilizados para la medición completa: 3 para las muestras patrón, 3 para los blancos y 1 tubo por cada muestra problema y 2 tubos para las réplicas de la disoluciones preparadas con la suspensión de bacterias y la muestra problema.
- Una vez alcanzada la temperatura, se prepara 1 mL de cada muestra-problema, tomando 900 μL de la alícuota ($t=0$, $t= n$) y 100 μL de una disolución de NaCl al 20% en peso. Las muestras se agitan ligeramente con un agitador Vortex.
- Todas las disoluciones preparadas (muestras problema) se llevan al Peltier y se las mantiene durante 15 minutos (15°C).

- Mientras tanto se prepara una cantidad suficiente de suspensión de bacterias con una disolución salina al 2% en peso (100 μ L por cada tubo de ensayo) y se la reserva en el Peltier por 15 minutos.

Luego se inicia una secuencia de preparación de muestras problema y medición de la bioluminiscencia que debe mantenerse para reducir los errores en vista de que el ensayo es muy sensible.

1. Tomar 100 μ L de la suspensión de bacterias y llevarla a cada uno de los 3 tubos de ensayos que se constituyen como muestras patrón (mayor luminiscencia) y otros 100 μ L a cada una de las réplicas.
2. Llevar 100 μ L de la disolución salina al 2% en peso a cada uno de los 3 tubos de blanco. Agregar otros 100 μ L de disolución salina en cada tubo de los blancos y en cada tubo de los patrones (suspensión de las bacterias)
3. Luego se toma cada vez 100 μ L de la muestra problema y se la agrega a cada uno de los dos tubos de las réplicas de la respectiva muestra problema.
4. Cada adición de bacterias, disolución salina, muestra problema y lectura debe hacerse con un intervalo de 15 segundos.
5. La medición se realiza en el mismo orden con el que se prepararon las muestras.
6. Finalmente se mide la luminiscencia de las bacterias siguiendo el protocolo del equipo. Los datos se reportan como porcentaje de disminución de luminiscencia vs concentración o COT.

ANEXO 5

De los procedimientos para la determinación de
parámetros en las muestras de sedimento

Determinación de la materia orgánica en sedimentos.

Tratamiento de la muestra de sedimento

- Secar del sedimento, al ambiente por siete días.

- Tamizar del sedimento, en un sistema vibrador provisto de una columna de tamices ASTM de mallas 230, 140, 100 y 50.

Procedimiento de la determinación de materia orgánica en sedimentos.

- Pesar el sedimento entre 0,5 y 0,7 g.

- Eliminar la humedad, por calentamiento en la estufa a 100°C por 24 horas hasta peso constante.

- Proceder a la ignición a 550°C, por tres horas.

- Expresar el resultado en porcentajes.

Metodología para la determinación de los compuestos orgánicos persistentes.

Procedimiento:

- Pesar un gramo de sedimento en tubo de ensayo previamente lavado con jabón neutro.

- Agregar unos 10 ml de hexano

- Poner en el vortex para su agitación por 5 minutos.

- Luego llevar a ultrasonido por 5 minutos.
- Tomar un embudo de vidrio con su filtro, al cual se le agregado unos 10 g de Na_2SO_4 anhidro, para se separarlo de las partículas de sedimentos y eliminar la posible humedad.
- El filtrado, llevarlo a un embudo corazón.
- Rotaevaporar la muestra a 40°C y al vacío, hasta que queden unos tres mililitros.
- Llevar a sequedad con un flujo de gas nitrógeno.
- Agregar 1 ml de hexano para disolver los compuestos orgánicos y llevar a un vial de cromatografía.

Metodología para la determinación de metales pesados en sedimento.

Procedimiento:

- Pesar el vaso de TFM en la balanza y tarar y luego agregar el sedimento cuyo peso debe estar en el rango de 0,2 g que indica el procedimiento, con una incertidumbre de 0,0001 g.
- Realizar la digestión ácida, en HNO_3 y HCl y concentrados, en una relación de 3:1.
- Digerir en el equipo de microondas por 20 minutos a la temperatura de 220°C y 45 bar de presión.
- Enfriar y filtrar.
- El filtrado se lo diluye con agua milli-Q.

➤ Y se procede a realizar la lectura mediante absorción atómica de llama.

Parámetros instrumentales para la determinación de metales pesados en sedimentos.

| Elemento | Intensidad de lámpara (mA) | λ (nm) | Estándar 1 mg.L ⁻¹ | Estándar 2 mg.L ⁻¹ | Estándar 3 mg.L ⁻¹ | Estándar 4 mg.L ⁻¹ |
|----------|----------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Pb | 10 | 217,0 | 2,0 | 4,0 | 8,0 | 12,0 |
| Cd | 8 | 228,8 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 1,0 |
| Cr | 25 | 357,9 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 |
| Cu | 15 | 324,8 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 |
| Ni | 25 | 232,0 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 1,0 |
| Zn | 15 | 213,9 | 0,2 | 0,4 | 1,0 | 2,0 |

Tabla 30, parámetros instrumentales para la determinación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, en sedimentos

ANEXO 6

Limites máximos permisibles para consumo humano y uso doméstico

(TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO
DEL AMBIENTE)

Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran tratamiento convencional

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Límite máximo permisible |
|-----------------------------|---|--------------------|---|
| Amoniaco | N-amoniacal | mg.L ⁻¹ | 1,0 |
| Arsénico (total) | As | mg.L ⁻¹ | 0,05 |
| Cadmio | Cd | mg.L ⁻¹ | 0,01 |
| Cloruro | Cl ⁻ | mg.L ⁻¹ | 250 |
| Cobre | Cu | mg.L ⁻¹ | 1,0 |
| Coliformes totales | NMP.100 ml ⁻¹ | | 3.000 |
| Coliformes fecales | NMP.100 ml ⁻¹ | | 600 |
| Demanda Bioquímica (5 días) | DBO ₅ | mg.L ⁻¹ | 2,0 |
| Bifenilo | Concentración de PCBs totales | µg.l ⁻¹ | 0,0005 |
| Hierro | Fe | mg.L ⁻¹ | 1,0 |
| Mercurio (total) | Hg | mg.L ⁻¹ | 0,001 |
| Nitrato | N-Nitrato | mg.L ⁻¹ | 10,0 |
| Nitrito | N-Nitrito | mg.L ⁻¹ | 1,0 |
| Oxígeno disuelto | O.D | mg.L ⁻¹ | No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg.L ⁻¹ |
| Plomo (total) | Pb | mg.L ⁻¹ | 0,05 |
| Potencial de hidrógeno | pH | | 6-9 |
| Sodio | Na | mg.L ⁻¹ | 200 |
| Sólidos disueltos totales | | mg.L ⁻¹ | 1000 |
| sulfatos | SO ₄ ²⁻ | mg.L ⁻¹ | 400 |
| Temperatura | | °C | Condición natural ± 3°C |
| Turbidez | | UTN | 100 |
| Cinc | Zn | mg.L ⁻¹ | 5,0 |
| Benzo(a)pireno | | µg.L ⁻¹ | 0,01 |
| Organoclorados totales | Concentración de organoclorados totales | mg.L ⁻¹ | 0,01 |
| Organofosforados totales | Concentración de organofosforados totales | mg.L ⁻¹ | 0,1 |

