



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA

Evaluación estacional de la calidad del efluente de la planta de tratamiento de agua residual Rosarito Norte y determinación de alternativas para el reuso

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS

PRESENTA:

ALMA ELIA LEAL OROZCO

TIJUANA, B.C.

DICIEMBRE DE 2010

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	ix
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
Problemática	1
Alternativas de solución	5
Objetivos	7
Metas	8
Alcance	8
CAPITULO II. ANTECEDENTES	9
Situación en México	13
Situación en la región	16
Bioensayos de toxicidad	18
CAPITULO III. SITIO DE ESTUDIO	22
CAPITULO IV. METODOLOGÍA	27
Muestreo	27
Material	29
Análisis de muestras	29
Análisis fisicoquímicos	30
Análisis de compuestos orgánicos	31
Análisis microbiológicos y de parasitología	32
Análisis de toxicidad aguda	32
Cultivo	32
Pruebas	33
CAPITULO V. RESULTADOS	36
Análisis fisicoquímicos	36
Análisis microbiológicos y huevos de Helminto	41
Análisis de compuestos orgánicos	44
Análisis de metales traza	50
Análisis de toxicidad	50
Prueba de sensibilidad	50
Prueba exploratoria	52
Pruebas definitivas	53
CAPITULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
Análisis fisicoquímicos	58
Variación de los parámetros fisicoquímicos por periodo	58
Variación mensual de los parámetros fisicoquímicos	60
Variación estacional de los parámetros fisicoquímicos	65
Variación de parámetros microbiológicos y huevos de Helminto	68

Variación de compuestos orgánicos	69
Variación y correlación de concentraciones de metales traza	69
Variación de la Toxicidad Aguda	73
CAPITULO VII. CONCLUSIONES	82
CAPITULO VIII. BIBLIOGRAFÍA	84
CAPITULO IX. ANEXOS	90
Anexo I. Cálculos completos bioensayos de toxicidad	90
Anexo II. Graficas de comportamiento análisis fisicoquímicos	114
Anexo III. Resultados de análisis estadístico de parámetros fisicoquímicos por estaciones	139
Anexo IV. Resultados análisis regresión Probit	146
Anexo V. Datos del Influyente y Efluente de la PTARRN	150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Extracción, consumo y descarga para diversos usos en el país	2
Tabla 2. Porcentaje de remoción (eficiencia) de la PTARRN.	23
Tabla 3. Resumen de muestreo especial o requerimientos de manejo para muestras.	28
Tabla 4: Parámetros fisicoquímicos por métodos colorimétricos	30
Tabla 5: Parámetros fisicoquímicos diversos	30
Tabla 6: Relación de análisis y métodos	31
Tabla 7: Condiciones ensayos definitivos	34
Tabla 8: Resultados fisicoquímicos periodo 2006 - 2007	36
Tabla 9: Resultados fisicoquímicos periodo 2006 – 2007, continuación	37
Tabla 10: Resultados fisicoquímicos periodo 2006 – 2007, continuación	38
Tabla 11: Resultados fisicoquímicos periodo 2008 – 2009	39
Tabla 12: Resultados fisicoquímicos periodo 2008 – 2009, continuación	40
Tabla 13: Resultados fisicoquímicos periodo 2008 – 2009, continuación	41
Tabla 14: Resultados microbiológicos 2006 – 2007	42
Tabla 15: Resultados huevos de Helminto 2006 – 2007	42
Tabla 16: Resultados microbiológicos 2008	43
Tabla 17: Resultados huevos de Helminto 2008 – 2009	43
Tabla 18. Resultados de parámetros de compuestos orgánicos volátiles	44
Tabla 19. Resultados de parámetros de compuestos orgánicos volátiles (continuación).	45
Tabla 20. Resultados de parámetros de compuestos orgánicos volátiles (continuación).	46
Tabla 21. Resultados de parámetros de compuestos orgánicos volátiles (continuación).	47
Tabla 22. Resultados de parámetros de pesticidas.	48
Tabla 23. Compuestos orgánicos semivolátiles, periodo 2008 – 2009	49
Tabla 24. Resultados de análisis metales del período 2006 – 2007	50
Tabla 25. Resultados de mortalidad prueba de sensibilidad	51
Tabla 26. Datos de probit empírico para la prueba de sensibilidad	51
Tabla 27. Resultados de mortalidad prueba exploratoria	52
Tabla 28. Resultados de mortalidad prueba definitiva	53
Tabla 29. Resultados de probit empírico y calculado	54
Tabla 30. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón	56
Tabla 31. Resultados de bioensayos de toxicidad periodo 2008 – 2009	57
Tabla 32. Análisis estadístico de parámetros fisicoquímicos 2006 - 2007	58
Tabla 33. Análisis estadístico de parámetros fisicoquímicos 2008 - 2009	59
Tabla 34. Promedios mensuales del 2006 del efluente de la PTARRN	61
Tabla 35. Promedios mensuales del 2007 del efluente de la PTARRN	62
Tabla 36. Promedios mensuales del 2008 del efluente de la PTARRN	63
Tabla 37. Promedios mensuales del 2009 del efluente de la PTARRN	64
Tabla 38. Comparación de promedios por estación de parámetros fisicoquímicos	65
Tabla 39. Comparación de promedios por estación y normas mexicanas	67

Tabla 40. Comparación de promedios por estación y cuerpos receptores	68
Tabla 41. Matriz de correlación	70
Tabla 42. Análisis de regresión para cobre y zinc	71
Tabla 43. Análisis de regresión para cobre y níquel	71
Tabla 44. Análisis de regresión para cromo y plomo	72
Tabla 45. Análisis de regresión para cromo y zinc	72
Tabla 46. Resultados de bioensayos de la temporada primavera - verano	73
Tabla 47. Resultados de bioensayos de la temporada otoño - invierno	73
Tabla 48. Coeficiente de correlación. Variable independiente – UTa	75
Tabla 49. Coeficiente de correlación entre variables independientes relevantes	76
Tabla 50. Análisis de regresión lineal método probit 7 parámetros vs. UTa	76
Tabla 51. Análisis de regresión lineal método probit sin SDT, Dureza y TKN	77
Tabla 52. Resultados análisis regresión probit con variables más significativas	78
Tabla 53. Resultados descriptivos obtenido en Eviews de las variables de mayor interés	79
Tabla 54. Resultados de mortalidad prueba definitiva 25 marzo 2008	90
Tabla 55. Resultados de probit empírico y calculado 25 marzo 2008	90
Tabla 56. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 25 marzo 2008	91
Tabla 57. Resultados de mortalidad prueba definitiva 24 abril 2008	91
Tabla 58. Resultados de probit empírico y calculado 24 abril 2008	91
Tabla 59. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 24 abril 2008	92
Tabla 60. Resultados de mortalidad prueba definitiva 09 mayo 2008	93
Tabla 61. Resultados de probit empírico y calculado 09 mayo 2008	93
Tabla 62. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 09 mayo 2008	94
Tabla 63. Resultados de mortalidad prueba definitiva 24 mayo 2008	94
Tabla 64. Resultados de probit empírico y calculado 24 mayo 2008	94
Tabla 65. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 24 mayo 2008	95
Tabla 66. Resultados de mortalidad prueba definitiva 08 junio 2008	96
Tabla 67. Resultados de probit empírico y calculado 08 junio 2008	96
Tabla 68. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 08 junio 2008	97
Tabla 69. Resultados de mortalidad prueba definitiva 08 julio 2008	97
Tabla 70. Resultados de probit empírico y calculado 08 julio 2008	97
Tabla 71. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 08 julio 2008	98
Tabla 72. Resultados de mortalidad prueba definitiva 06 septiembre 2008	99
Tabla 73. Resultados de probit empírico y calculado 06 septiembre 2008	99
Tabla 74. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 06 septiembre 2008	100
Tabla 75. Resultados de mortalidad prueba definitiva 21 septiembre 2008	100
Tabla 76. Resultados de probit empírico y calculado 21 septiembre 2008	100
Tabla 77. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 21 septiembre 2008	101
Tabla 78. Resultados de mortalidad prueba definitiva 06 octubre 2008	102
Tabla 79. Resultados de probit empírico y calculado 06 octubre 2008	102

Tabla 80. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 06 octubre 2008	103
Tabla 81. Resultados de mortalidad prueba definitiva 21 octubre 2008	103
Tabla 82. Resultados de probit empírico y calculado 21 octubre 2008	103
Tabla 83. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 21 octubre 2008	104
Tabla 84. Resultados de mortalidad prueba definitiva 05 noviembre 2008	105
Tabla 85. Resultados de probit empírico y calculado 05 noviembre 2008	105
Tabla 86. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 05 noviembre 2008	106
Tabla 87. Resultados de mortalidad prueba definitiva 19 noviembre 2008	106
Tabla 88. Resultados de probit empírico y calculado 19 noviembre 2008	106
Tabla 89. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 19 noviembre 2008	107
Tabla 90. Resultados de mortalidad prueba definitiva 04 diciembre 2008	108
Tabla 91. Resultados de probit empírico y calculado 04 diciembre 2008	108
Tabla 92. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 04 diciembre 2008	109
Tabla 93. Resultados de mortalidad prueba definitiva 19 enero 2009	109
Tabla 94. Resultados de probit empírico y calculado 19 enero 2009	109
Tabla 95. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 19 enero 2009	110
Tabla 96. Resultados de mortalidad prueba definitiva 03 febrero 2009	111
Tabla 97. Resultados de probit empírico y calculado 03 febrero 2009	111
Tabla 98. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 03 febrero 2009	112
Tabla 99. Resultados de mortalidad prueba definitiva 25 febrero 2009	112
Tabla 100. Resultados de probit empírico y calculado 25 febrero 2009	112
Tabla 101. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 25 febrero 2009	113
Tabla 102. Resultados estación invierno 2006 – 2007	139
Tabla 103. Resultados estación invierno 2006 – 2007, continuación	139
Tabla 104. Resultados estación invierno 2006 – 2007, continuación	139
Tabla 105. Resultados estación primavera - verano 2007	140
Tabla 106. Resultados estación primavera - verano 2007, continuación	140
Tabla 107. Resultados estación primavera - verano 2007, continuación	141
Tabla 108. Resultados estación otoño - invierno 2007	141
Tabla 109. Resultados estación otoño - invierno 2007, continuación	142
Tabla 110. Resultados estación otoño - invierno 2007, continuación	142
Tabla 111. Resultados estación primavera - verano 2008	143
Tabla 112. Resultados estación primavera - verano 2008, continuación	143
Tabla 113. Resultados estación primavera - verano 2008, continuación	144
Tabla 114. Resultados estación otoño - invierno 2008-2009	144
Tabla 115. Resultados estación otoño - invierno 2008-2009, continuación	145
Tabla 116. Resultados estación otoño - invierno 2008-2009, continuación	145
Tabla 117. Influyente PTARRN 2005	150
Tabla 118. Efluente PTARRN 2005	151
Tabla 119. Porcentajes de remoción PTARRN 2005	151
Tabla 120. Influyente PTARRN 2006	152
Tabla 121. Efluente PTARRN 2006	153
Tabla 122. Porcentajes de remoción PTARRN 2006	153
Tabla 123. Influyente PTARRN 2007	154

Tabla 124. Efluente PTARRN 2007	155
Tabla 125. Porcentajes de remoción PTARRN 2007	155
Tabla 126. Influyente PTARRN 2008	156
Tabla 127. Efluente PTARRN 2008	157
Tabla 128. Porcentajes de remoción PTARRN 2008	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de agua en el planeta.	1
Figura 2. Localización de la planta de tratamiento e agua residual Rosarito Norte	20
Figura 3. Vista de la Planta de Tratamiento de Agua residual Rosarito Norte (PTARRN)	21
Figura 4. Localización de las zonas de recarga de los acuíferos de Playas de Rosarito	22
Figura 5. Cultivo de Daphnias en el laboratorio	29
Figura 6. Vista de Daphnia macho y hembra en el cultivo	30
Figura 7. Selección de neonatos de 24 horas	30
Figura 8. Preparación de disoluciones de prueba.	31
Figura 9. Preparación de disoluciones de prueba definitiva	32
Figura 10. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo de sensibilidad	49
Figura 11. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo	52
Figura 12. Calculo serie de probabilidades de UT_{bin} Vs. Amoniaco	73
Figura 13. Función de densidad de probabilidad para UT_{bin} y amoniaco	74
Figura 14. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 25 marzo 2008	90
Figura 15. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 24 abril 2008	92
Figura 16. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 09 mayo 2008	93
Figura 17. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 24 mayo 2008	95
Figura 18. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 08 junio 2008	96
Figura 19. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 08 julio 2008	98
Figura 20. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 06 septiembre 2008	99
Figura 21. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 21 septiembre 2008	101
Figura 22. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 06 octubre 2008	102
Figura 23. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 21 octubre 2008	104
Figura 24. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 05 noviembre 2008	105
Figura 25. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 19 noviembre 2008	107
Figura 26. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 04 diciembre 2008	108
Figura 27. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 19 enero 2009	110
Figura 28. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 03 febrero 2009	111

Figura 29. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 25 febrero 2009	113
Figura 30. Comportamiento de pH	114
Figura 31. Comportamiento de Conductividad eléctrica	115
Figura 32. Comportamiento de Color verdadero	116
Figura 33. Comportamiento de Sólidos Disueltos Totales	117
Figura 34. Comportamiento de Sólidos Suspendidos Totales	118
Figura 35. Comportamiento de Turbidez	119
Figura 36. Comportamiento de Dureza Total	120
Figura 37. Comportamiento de Cloruros	121
Figura 38. Comportamiento de Sulfatos	122
Figura 39. Comportamiento de Cloro total	123
Figura 40. Comportamiento de Cloro libre	124
Figura 41. Comportamiento de Acidez total	125
Figura 42. Comportamiento de Alcalinidad total	125
Figura 43. Comportamiento de Demanda Bioquímica de Oxígeno total	126
Figura 44. Comportamiento de Demanda Química de Oxígeno total	127
Figura 45. Comportamiento de Cianuro total	128
Figura 46. Comportamiento de Fenoles totales	129
Figura 47. Comportamiento de Fenoles totales	130
Figura 48. Comportamiento de Sustancias Activas al Azul de Metileno	131
Figura 49. Comportamiento de Grasas y Aceites	132
Figura 50. Comportamiento de Orto Fosfato (Fósforo reactivo)	133
Figura 51. Comportamiento de Fósforo total	134
Figura 52. Comportamiento de Nitrógeno como Nitratos	135
Figura 53. Comportamiento de Nitrógeno como Nitritos	136
Figura 54. Comportamiento de Nitrógeno como Amoniaco	137
Figura 55. Comportamiento de Nitrógeno Total Kjendalh	138
Figura 56. Calculo serie de probabilidades UTA_{bin} Vs Cloro total	146
Figura 57. Función de densidad de probabilidad para UTA_{bin} y cloro total	146
Figura 58. Calculo serie de probabilidades UTA_{bin} Vs Conductividad.	147
Figura 59. Función de densidad de probabilidad para UTA_{bin} y conductividad.	147
Figura 60. Calculo serie de probabilidades UTA_{bin} Vs Nitritos.	148
Figura 61. Función de densidad de probabilidad para UTA_{bin} y nitritos	148
Figura 62. Calculo serie de probabilidades UTA_{bin} Vs Grasas y Aceites.	149
Figura 63. Función de densidad de probabilidad para UTA_{bin} y Grasas y Aceites.	149

RESUMEN

El presente estudio aborda la problemática del reuso del agua residual tratada en la región Tijuana-Rosarito, mediante la determinación de la calidad fisicoquímica, biológica y toxicológica de la planta de tratamiento de agua residual Rosarito Norte (PTARRN) y la evaluación de las posibles alternativas de reuso.

La calidad del efluente evaluado se comparará con los requeridos para las aplicaciones mencionadas, dependiendo de lo establecido en la normatividad mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997 y NOM-127-SSA1-1994) o requerimientos particulares del usuario. Además se propondrán las limitaciones o tratamientos posteriores que deberán de realizarse para alcanzar la calidad deseada para un uso indirecto por infiltración.

El estudio esta vinculado a las estrategias que se proponen en el Plan Maestro de Agua Potable y Saneamiento en los Municipios de Tijuana y Playas de Rosarito 2003, ya que este menciona la posibilidad de tratar los efluentes de las plantas de tratamiento secundario y aplicar esta agua tratada a los cuerpos de almacenamiento (presa A. L. Rodríguez y presa del Carrizo) mediante infiltración o aportación directa.

En términos de sustentabilidad, el proyecto pretende contribuir al desarrollo de la práctica de reuso de agua tratada, mediante el reuso indirecto o la implementación de tratamiento terciario del efluente de sistemas de tratamiento secundario de agua residual.

Los resultados a corto plazo tendrán impacto en la preservación de la calidad de los cuerpos de agua de la región y al aprovechamiento de este recurso a través de su reuso en acciones de infiltración al subsuelo (Arroyo de las Palmas), almacenamiento (presa Rodríguez y el Carrizo) y descarga a cuerpos de agua de uso público (Parque Morelos, parque de la Amistad) y desarrollo de áreas verdes (UABC, Instituto Tecnológico T. etc.) y espacios de recreación (unidades deportivas etc.).

Otro aspecto importante de la presente investigación, es promover la educación ambiental en materia de conservación y protección los recursos hídricos así como su reuso en la región.

INTRODUCCIÓN

PROBLEMÁTICA

Entre los problemas que amenazan a la humanidad en el siglo XXI, la escasez de agua dulce ocupa el primer lugar de la lista. Las Naciones Unidas declararon que 2,700 millones de personas sufrirían una severa escasez de agua hacia el año 2025 si la tasa de consumo se mantiene en los niveles actuales (CESPT, 2010).

Hoy día, aproximadamente 1,200 millones de personas beben agua no potable y cerca de 2,500 millones carecen de servicios sanitarios o de sistemas de drenaje. Más de cinco millones de personas mueren cada año de enfermedades vinculadas con el agua, como cólera y disentería (CESPT, 2010).

El agua dulce es un recurso importante y lo será aun más en el futuro si la población sigue creciendo al mismo ritmo (Figura 1). Se ha estimado que en los próximos cincuenta años el 40% de la población mundial vivirá en países que sufrirán de estrés al carecer total o parcialmente de agua. De hecho, la cifra puede ser mas alta del 40%, porque este dato es calculado en una base nacional y por lo tanto frecuentemente no toman en consideración la distribución irregular del agua dentro de las fronteras nacionales (Aertgeerts y Angelakis, 2003).

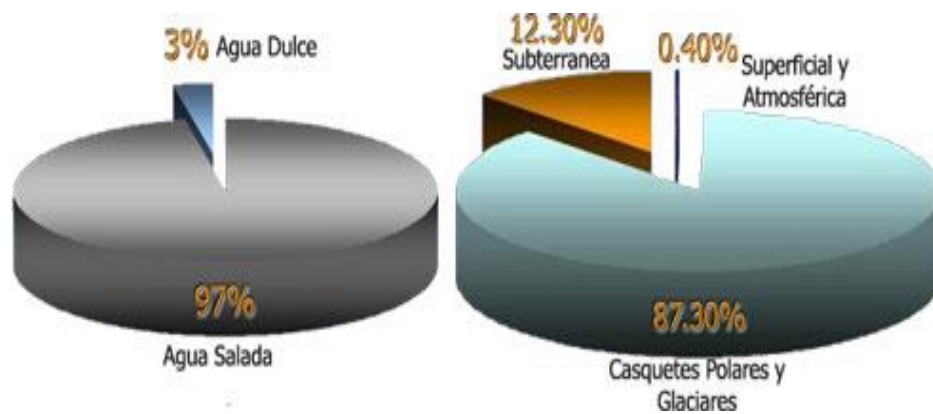


Figura 1. Distribución de agua en el planeta.

(Tomada de www.cespt.gob.mx)

La Republica Mexicana con una superficie de casi dos millones de kilómetros cuadrados, tiene una precipitación media anual de 777 milímetros, equivalente a 1640 kilómetros cúbicos pero que en términos de su distribución espacial es bastante irregular. En el 42 % del territorio, principalmente en el norte del país, las precipitaciones medias anuales son inferiores a los 500 milímetros, y en algunos casos, como en zonas aledañas al río Colorado, son inferiores a 50 milímetros (Arreguín et al, 1999).

Sin embargo, en el 7 % del territorio existen zonas con precipitaciones medias anuales superiores a los 2,000 milímetros, localizándose regiones donde se registran precipitaciones mayores a los 5000 milímetros. En general el 80 % de estas precipitaciones se presentan en el verano (Arreguín et al, 1999).

De las precipitaciones territoriales, el 27 % se transforma en escurrimiento superficial, esto es, se cuenta con 410 kilómetros cúbicos de este líquido en las 320 cuencas del país. Nuevamente, la distribución espacial es muy irregular, el 50 % del escurrimiento superficial se genera en el sureste que representa tan sólo el 20 % del territorio, mientras que en una parte del norte de la república que representa el 30 % del territorio se genera sólo el 4 % (Arreguín et al, 1999).

La República Mexicana cuenta con un volumen promedio anual de 5200 m³ de agua por habitante, cifra que lo ubica teóricamente como un país sin problemas de agua. Sin embargo, al realizar el balance regional aparecen zonas con marcados déficits, donde el reuso podría ser una solución. La tabla 1 muestra los datos de extracción, consumo y descarga para diversos usos a nivel nacional (Arreguín et al, 1999).

Tabla 1: Extracción, consumo y descarga para diversos usos en el país.

Uso	Extracción m³/s	%	Consumo m³/s	%	Descarga m³/s	%
Riego	1760	77	1478	88	282	46
Industria	295	13	117	7	178	26
Usos municipales	235	10	86	5	149	25
Total	2290	100	1681	100	609	100

Tomada de El Reuso del agua en México

En el año 1970 el Estado de Baja California, México, contaba con una población que rebasaba los 870,000 habitantes y crecía anualmente a una tasa de 5.5 puntos porcentuales. De haberse sostenido esa tasa de crecimiento, la entidad hubiera superado los 4.8 millones de pobladores en la actualidad; sin embargo, la cifra real es de 2.7 millones de habitantes en 2002; por otra parte, la tasa de crecimiento anual ha sido de cuatro por ciento en el periodo 1995-2000, significativamente superior a la media nacional de 1.85 por ciento, lo que coloca a la entidad a la fecha en el segundo lugar con mayor tasa de crecimiento poblacional del país (B. C, 2010).

A nivel municipal, la tasa de crecimiento total para Ensenada es de 3.9 %, Mexicali crece a un ritmo del 2.3 %, mientras que Playas de Rosarito lo hace al 7.7 % y los municipios de Tecate y Tijuana registran tasas de 5.2 y 4.9 %, respectivamente (B. C, 2010).

Ante este escenario de crecimiento y de mantenerse la misma tendencia, el municipio de Playas de Rosarito podría duplicar su población en tan sólo nueve años, mientras que Tecate, Tijuana, Ensenada y Mexicali lo lograrían en 13.4, 14.2, 17.9, y 30 años, respectivamente. El reto demográfico del Estado se enmarca en un escenario de casi 3.7 millones de habitantes para el año 2007, que representa un crecimiento anual de más de 100,000 personas, situación que hace patente la necesidad de implementar estrategias y políticas públicas que permitan abatir los rezagos y la desigualdades, para sentar las bases del proceso de desarrollo y bienestar de la población (B. C, 2010).

Baja California posee escasos recursos hídricos, y la presencia de sistemas acuáticos continentales, tanto lacustres (lagos) como potamológicos (ríos, arroyos, manantiales, etc.) es limitada; a lo anterior se suma una baja precipitación pluvial, ya que solo en una pequeña parte del territorio estatal ocurren lluvias que en condiciones normales varían de 200 a 300 mm al año, mientras que en el resto del Estado las precipitaciones disminuyen significativamente, hasta registrar 50 mm al año (B. C, 2010).

El volumen de agua disponible para la entidad es de 3,250 millones de metros cúbicos (Mm^3) anuales, distribuido en las corrientes epicontinentales (ríos y arroyos) y subterráneas que drenan el territorio estatal. De ese volumen, 2,950 Mm^3 se concentran en el Valle de Mexicali, de los cuales 1,850 Mm^3 provienen de aguas superficiales y 1,100 Mm^3 de aguas subterráneas; los 300 Mm^3 restantes provienen de recursos acuíferos subterráneos localizados en el resto del Estado y del almacenamiento en la presas (B. C, 2010).

De esta manera, se tiene que el 88 por ciento del total de los recursos hidrológicos del Estado se localizan en el Valle de Mexicali, aportando a esta proporción el río Colorado el 57 por ciento, equivalente a 1,681.5 Mm³. El 12 por ciento restante se encuentra disperso en el resto del Estado (B. C, 2010).

La ciudad de Tijuana, ubicada en la costa occidental del Estado de Baja California, se encuentra ubicada en una de las zonas del país menos favorecidas con fuentes de agua potable; esto ha llevado a que las instancias de gobierno hagan hincapié en los esfuerzos por solucionar los problemas de su abastecimiento en particular. Por sus condiciones geográficas y climatológicas, así como el continuo crecimiento en el número de habitantes, abastecer a esta ciudad del vital líquido no ha sido una tarea fácil. Una Tijuana relativamente joven, comparada con otras ciudades del país, ha tenido que enfrentar grandes obstáculos para lograr que el agua llegue a los hogares de sus residentes (CESPT, 2010).

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

En Baja California al igual que en muchas áreas del mundo, los acuíferos que abastecen de agua potable son usados más rápidamente de lo que son recargados. Esto no solo representa un problema de abastecimiento, si no también tiene serias implicaciones de salud, ya que enfermedades como la fluorosis, cólera, dengue, hepatitis y arsenicosis son relacionadas por la organización mundial de la salud (OMS) con el agua (OMS, 2010). Además, en las áreas costeras, los acuíferos que contienen agua potable corren el peligro de ser contaminados con agua salina si el agua es retraída mas rápidamente de lo que es naturalmente reemplazada (Metcalf y Eddy, 1996).

Una alternativa considerada en el Plan Maestro de agua potable y saneamiento para los municipios de Tijuana y Playas de Rosarito en el estado de Baja California, es el aprovechamiento del agua residual ya que al sobreexplotar los cuerpos receptores naturales de la región los incrementos en la salinidad harán al agua no apta para beber y también no apta para el servicio de irrigación. Esto representa un reto para las autoridades estatales, que al igual que otras en el mundo deben optar por la recarga artificial de los acuíferos con agua residual tratada, utilizando tanto la infiltración así como en la medida de lo posible la inyección. Debemos considerar que los acuíferos son también recargados de manera pasiva (tanto intencional como no intencionalmente) por fosas sépticas, así como por el agua residual utilizada en irrigación (CESPT, 2003).

Al realizar la recarga de los acuíferos de la región Tijuana – Playas de Rosarito con agua residual tratada se obtendrían beneficios tales como:

- a) Restaurar los niveles agotados de agua subterránea.
- b) Proporcionar una barrera para la intromisión salina en zonas costeras.
- c) Facilitar el almacenamiento de agua durante los tiempos de alta disponibilidad de agua.

En cuanto a los riesgos que se pueden presentar se debe considerar que si la recarga de agua no se realiza de manera cuidadosa o es pobremente planeada, los contaminantes químicos o microbiológicos en el agua podrían tener efectos dañinos en la salud de los consumidores, particularmente cuando una vez extraída es directamente utilizada. El agua

residual puede contener numerosos contaminantes (muchos de ellos pobremente caracterizados) que pueden tener consecuencias en la salud si es introducida a las fuentes de agua para uso potable. Para reducir al máximo los efectos adversos a la salud como consecuencia del uso de agua residual tratada para la recarga de acuíferos, es necesario un enfoque sistemático basado en la ciencia, designado alrededor de puntos críticos de control, como el usado en el enfoque del Punto de Control Crítico de Análisis de Riesgo (HACCP por sus siglas en inglés). (Aertgeerts y Angelakis, 2003)

La Agencia de protección de medio ambiente de los Estados Unidos regula muchos aspectos del tratamiento de aguas negras y la calidad de agua potable, la mayoría de los estados en este país ha establecido criterios o directrices para el empleo beneficioso de agua reciclada. Además, en 2004, EPA desarrolló un documento técnico titulado "Directrices para la Reutilización De agua" que contiene información tal como un resumen de requisitos estatales y directrices para el tratamiento y los empleos de agua reciclada. La supervisión estatal y federal ha proporcionado satisfactoriamente un marco para asegurar la seguridad la seguridad de los muchos proyectos de reciclaje de agua que se han desarrollado en los Estados Unidos (UNEP, 2000).

Por otra parte en México se aplica la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-014-CONAGUA-2003, además la Comisión Nacional del Agua publicó el Manual Técnico para el Uso, Aprovechamiento y Manejo de Aguas Residuales en el Riego Agrícola, en éste los niveles de tratamiento se vinculan con la calidad y uso del agua (Arreguín et al,1999).

La recarga de acuíferos para uso potable de la región Tijuana – Playas de Rosarito requiere de una minuciosa evaluación de prácticas de protección de la salud pública, de consideraciones ambientales y socioculturales.

OBJETIVOS

1. Evaluar la calidad del efluente de una planta de tratamiento secundario de agua residual tipo de la región (PTARRN) considerando como parámetros de referencia los establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997 y NOM-127-SSA1-1994, así como los parámetros particulares establecidos para el reuso en sistemas industriales.
2. Determinar la variación estacional de la calidad físicoquímica del efluente proveniente de la PTARRN, que sirva de referencia para la evaluación de los sistemas de tratamiento de otras plantas de la región.
3. Determinar las alternativas actuales y futuras de reuso de este recurso considerando como prioritarias la recarga de cuerpos de agua superficial y subterránea y uso en agricultura, industria, riego urbano y centros recreativos.
4. Realizar un estudio de toxicidad aguda al efluente de una planta de tratamiento secundario de agua residual tipo de la región (PTARRN) bajo los lineamientos establecidos en la norma mexicana NMX-AA-087-1995-SCFI, utilizando *Daphnia magna* como organismo de prueba.
5. Proponer los procesos de tratamiento terciario, si así se requieren, para el reuso potable indirecto.

METAS

1. Contar con una base de datos que integre los resultados de los análisis de 113 parámetros de calidad (incluyendo los fisicoquímicos, microbiológicos, huevos de helminto, metales traza, compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles, así como plaguicidas organoclorados) para el periodo 2006 a 2009.
2. Contar con una base de datos que integre los resultados de los análisis de 3 parámetros de evaluación toxicológica (toxicidad aguda, dosis letal media y criterio de máxima concentración) para el periodo 2008 a 2009.
3. Contar con criterios de evaluación de la causalidad de los parámetros fisicoquímicos con respecto a las unidades de toxicidad aguda tomando como fundamento el análisis de correlación existente entre ellos, para poder establecer a priori una evaluación de toxicidad aguda.

ALCANCE

El presente estudio se realizó utilizando el efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Rosarito Norte (PTARRN), debido a que esta planta es la primera de 5 proyectadas para la región Tijuana – Playas de Rosarito por el gobierno del estado de Baja California a través de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT), el cual es el organismo operador de dicha planta. El periodo de muestreo y análisis se realizó en las fechas noviembre de 2006 a diciembre de 2007 y de marzo de 2008 a febrero de 2009.

ANTECEDENTES

Mientras el reciclaje es un término generalmente aplicado a las latas de aluminio, los envases de botellas, y los periódicos, el agua también puede ser reciclada (UNEP, 2000).

La recuperación de agua residual es definida como el tratamiento o proceso del agua residual para hacerla reutilizable, y el reuso de agua es el agua residual tratada utilizada para fines específicos tales como riego en la agricultura y el enfriamiento industrial. El agua recuperada es el efluente tratado que es apto para un reuso de agua planeado. Adicionalmente, el reuso directo de agua requiere la existencia de tuberías u otras formas de transporte para entregar el agua reclamada. El reuso indirecto a través de la descarga de un efluente hasta un cuerpo receptor por asimilación y extracción río abajo, aunque es reconocido por ser importante, no constituye el reuso directo de agua planeado. En contraste al reuso directo de agua, el reciclado de agua normalmente involucra un solo uso o usuario y el efluente del usuario es captado y redirigido hacia el sistema. En este contexto, el reciclado de agua es practicado predominantemente por las industrias (Asano, 2001).

Al reciclar agua se obtiene un mejor manejo del líquido para el riego agrícola y del paisaje, uso en el inodoro y reabasteciendo de agua (la llamada recarga de agua subterránea). El agua en ocasiones se recicla y se le da reuso *in situ*; por ejemplo, cuando el agua reciclada industrial es destinada para procesos de enfriamiento (UNEP, 2000).

Un tipo común de agua reciclada es agua que ha sido tratada a partir de agua residual municipal. El término *reciclaje de agua* es sinónimo generalmente de aprovechamiento del agua (UNEP, 2000).

A través del ciclo natural del agua, la tierra ha reciclado y reusado el agua por millones de años, sin embargo, generalmente en la actualidad el término *reciclado* esta relacionado a proyectos que usan tecnología para apresurar la marcha de estos procesos naturales. El reciclar agua es a menudo caracterizado como "imprevisto" o "planificado". Un ejemplo común de reciclado imprevisto ocurre cuando las ciudades obtienen sus abastecimientos de agua de ríos, algo semejante como el Río Colorado y el Río Mississippi, los cuales reciben descargas de agua residual río arriba de esas ciudades. El reciclado planeado es el

realizado con efluentes proveniente de plantas de tratamiento de agua residual (UNEP, 2000).

Años atrás la evacuación de las aguas residuales se llevaba a cabo en la mayoría de los municipios y comunidades de la manera más sencilla posible, sin tener en cuenta las desagradables y nocivas condiciones que se daban en el lugar de vertido. El riego constituyó, probablemente el primer método de evacuación de aguas residuales, aunque fue la dilución el primero en adoptarse de manera generalizada.

El vertido en aguas superficiales continúa siendo el método de evacuación de aguas residuales más común en varias partes del mundo. No obstante, y con el fin de proteger el medio ambiente acuático, cada uno de los gobiernos estatales en coordinación con el gobierno federal han desarrollado un marco normativo para los cuerpos receptores de agua de los Estados Unidos, ya sean corrientes, ríos o aguas costeras y estuarios.

En muchos lugares en los que el abastecimiento de agua no es capaz de satisfacer adecuadamente la demanda, es obvio que se debe cambiar la visión actual que se tiene del agua ya utilizada por la comunidad. Esto es, no se debe considerar como un residuo a eliminar, sino como un potencial recurso. Esta idea será ampliamente aceptada conforme aumenten las zonas que experimentan escasez de agua. También se espera que aumente en el futuro el número de ciudades que empleen sistemas duales como en St. Petersburg (Florida) y Rancho Viejo (California), ciudades en las que los efluentes tratados se emplean para regadío junto a otros usos para aguas no potables.

Después de ser tratada, el agua residual debe ser evacuada al medio ambiente o reutilizada; el método más común para la evacuación de los efluentes tratados se basa en el vertido y dilución en corrientes, ríos, lagos, estuarios o en el mar. Durante muchos años, la evacuación de descargas a cuerpos receptores de agua se llevaba a cabo directamente mediante una tubería. La mezcla y dilución del efluente se daba de manera variable, dependiendo de las características naturales del cuerpo receptor. Un aspecto importante en la evacuación de efluentes consistía en la capacidad de asimilación del cuerpo receptor, representada a menudo por la cantidad de materia orgánica que podía ser vertida sin comprometer la concentración de oxígeno disuelto presente en el agua. En la actualidad, también se está prestando atención a los efectos medioambientales de otros constituyentes

tales como los sólidos en suspensión, nutrientes y componentes tóxicos, y como pueden ser asimilados por el medio ambiente acuático de manera segura.

La evacuación de efluentes se centra en el transporte de contaminantes en el medio ambiente y los procesos de transformación que se dan. En muchos casos es preciso llevar a cabo un riguroso análisis para asegurar que esta actividad se lleva a cabo dentro del marco normativo para la protección del medio ambiente. Para el análisis del transporte se emplean modelos matemáticos que incluyen el uso de balances de materia, mientras que para la descripción de la respuesta del sistema físico se emplean expresiones cinéticas. Adoptando un modelo para los sistemas fluviales y costeros, es posible conocer la capacidad de asimilación de dichos sistemas, lo cual permite predecir el impacto de los vertidos. La oxidación, las transformaciones bacterianas, la fotosíntesis y la respiración son algunas de las importantes transformaciones que se dan durante este proceso.

La composición de los caudales de aguas residuales de una comunidad depende del tipo de sistema de recogida que se emplee, y puede incluir los siguientes componentes:

- **Agua residual doméstica (o sanitaria).** Procedente de zonas residenciales o instalaciones comerciales, públicas y similares.
- **Agua residual industrial.** Agua residual en la cual predominan vertidos industriales.
- **Infiltración y aportaciones incontroladas (II).** Agua que entra tanto de manera directa como indirecta en la red de alcantarillado. La infiltración hace referencia al agua que penetra en el sistema a través de juntas defectuosas, fracturas y grietas, o paredes porosas. Las aportaciones incontroladas corresponden a aguas pluviales que se descargan a la red por medio de alcantarillas pluviales, drenes de cimentaciones, bajantes de edificios y tapas de pozos de registro.
- **Aguas pluviales.** Agua resultante de la escorrentía superficial.

Las zonas residenciales y los centros comerciales constituyen las principales fuentes de generación de aguas residuales domésticas, aunque también debe tenerse en cuenta la importante contribución que representan los edificios institucionales y los espacios recreacionales. El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental de cara

al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recogida como de tratamiento y explotación de las aguas residuales así como para la gestión de la calidad medioambiental.

El tratamiento y el reuso del agua juegan un papel fundamental en la administración y manejo de este recurso en todos los países, especialmente en aquellos que presentan problemas de escasez. En los países industrializados se han desarrollado muchos proyectos e investigaciones para el reuso del agua con los beneficios adicionales de protección del ambiente y prevención de riesgos a la salud. En los países en desarrollo también es necesario cubrir estos aspectos, sólo que se requiere utilizar tecnologías de menor costo.

La Directiva (91/271/EEC) de la Comunidad Económica Europea declara que se debe hacer reuso de las aguas residuales tratadas cada vez que sea apropiado y que las rutas de disposición deben minimizar los efectos adversos en el ambiente y en la salud (Aertgeerts y Angelakis, 2003).

Desde la década de los 70 se ha estudiado en forma intensiva el potencial de los riesgos a la salud asociados con el uso de aguas residuales tratadas, para usos no potables y potables. El número de proyectos aumentan cada día y dan lugar a la evolución de nuevas alternativas.

El uso actual más común del agua reciclada es para propósitos no potables (no para beber), es decir, en la agricultura, jardinería, el estacionamiento público, y el riego de campos de golf. Otras aplicaciones no potables incluyen agua de enfriamiento para centrales eléctricas y refinerías de petróleo, agua de proceso para instalaciones tales como fábricas de papel y alfombras, tintes, inodoros, actividades para prevenir la incrustación de sales, mezclas para cemento, y los lagos artificiales.

Aunque la mayoría de proyectos de reciclaje de agua han sido desarrollados para satisfacer las demandas de agua no potable, un número considerable de proyectos de reciclaje va indirectamente para los propósitos potables. Estos proyectos incluyen recarga de los acuíferos de agua que aumentan los depósitos de agua superficial con agua reciclada.

En los proyectos de recarga del agua subterránea, el agua reciclada puede ser esparcida o inyectada en acuíferos subterráneos de agua para aumentar las aguas subterráneas e impedir intrusión de agua salada en las áreas costeras; por ejemplo, desde 1976, el Proyecto de inyección directa de agua Factory 21, localizado en el Condado de Orange, California (Estados Unidos) ha estado inyectando grandes cantidades de agua reciclada en el acuífero para impedir intrusión de agua salada, mientras tanto se ha aumentado el abastecimiento de agua potable de la tierra.

El aprovechamiento indirecto de agua potable se refiere a los proyectos que descargan agua reciclada a un cuerpo de agua antes del aprovechamiento. El aprovechamiento potable directo es el uso de agua reciclada para beber directamente después del tratamiento. Mientras el aprovechamiento potable directo ha sido en forma segura usado en Namibia (África), no es una práctica generalmente aceptada en Estados Unidos.

Por ejemplo, desde 1978, la autoridad de aguas residuales de Occoquan Superior (Upper Occoquan Sewage Authority) en Virginia del Norte, E.E.U.U. ha estado alimentando o inyectando agua reciclada aguas arriba del reservorio de Occoquan, el cual ha suministrado agua potable al Condado de Fairfax en Virginia (Johnson, 1980). En San Diego, California, el proyecto de Repurificación del Agua está actualmente siendo planificado para aumentar a un depósito de agua potable con 285 520 m³/s (20,000 acre-pie por año) de agua reciclada con un tratamiento avanzado (UNEP, 2000).

Se puede decir que en la actualidad de manera general son muchos los países en donde se practican diferentes tipos de reuso, y que existen muchos estudios que justifican y apoyan esta práctica (OMS, 2010).

Situación del Reuso en México

En México, se tienen problemas de disponibilidad de agua por su distribución fisiográfica y climática, contaminación de aguas superficiales y subterráneas y por el incremento acelerado de las demandas que requieren los diferentes usos. El reuso del agua en la agricultura es una práctica conocida en el país, sin embargo el reuso en la industria,

servicios municipales, usos secundarios y recarga de acuíferos entre otros, solo se práctica en una proporción reducida. Ante la eminente escasez del recurso en algunas zonas del país, el reuso del agua se plantea como una alternativa de abastecimiento. Para el reuso de aguas residuales tratadas y los usuarios potenciales de estas, así como la capacidad de tratar el agua para obtener la calidad requerida para diferentes usos (Harivandi, 2000).

La infraestructura de tratamiento de aguas residuales municipales en 1997 era de 808 plantas de tratamiento, de las cuales operaban 615, y aunque las eficiencias no siempre correspondían a las de diseño: una capacidad instalada de 55 m³ /s y un gasto tratado de 35.3 m³ /s, este último era el caudal que se aprovechaba en reuso de aguas tratadas.¹⁴ Para el año 2008 se contaba con 1 833 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación y 2 082 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales. Estas plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación en 2008 trataron el 40% de los 208 m³/s de aguas residuales recolectados. Se estimo que la industria trató 33.7 m³/s en las 2 082 plantas en operación a nivel nacional durante el mismo año (Arreguín, 1999).

Actualmente las aguas residuales municipales son para reuso en regiones con poca disponibilidad del vital líquido, aún cuando en la mayoría de los casos se hace de manera inapropiada. Las aguas residuales de la Ciudad de México por ejemplo, se utilizan en la agricultura en el distrito de riego 03 (aguas no tratadas). En la industria, se hace uso de aguas residuales tratadas en empresas tales como la papelera de San Cristóbal (Estado de México). En Lechería (Estado de México) y Tula (Hidalgo), se emplean para enfriar los sistemas de generación de energía eléctrica. En recreación se han utilizado aguas residuales tratadas en el llenado de lagos como el de Chapultepec, San Juan de Aragón y Xochimilco (Distrito Federal), entre otros. Además se usan para el riego de áreas verdes (Arreguín, 1999).

El uso de agua residual para riego agrícola tiene sus orígenes en la construcción de una salida para las aguas residuales del Valle de México. En el año 1890 se comenzaron a aprovechar estas aguas en la región del Valle del Mezquital en Tula, para el riego por inundación de cereales, hortalizas y alfalfa. Posteriormente, esta región se estableció como el Distrito de Riego 03, ampliándose a la fecha al Valle de Alfajayucan en el Distrito de Riego 100, también en el estado de Hidalgo (Arreguín, 1999).

Dentro del Valle de México, algunas áreas ubicadas a lo largo del Gran Canal del Desagüe también aprovechan las aguas residuales originadas en la Ciudad de México, principalmente en Chalco y Chiconautla (Estado de México). Otros distritos que utilizan aguas residuales son Valsequillo (Puebla), Tulancingo (Hidalgo), y Ciudad Juárez (Chihuahua) (Arreguín, 1999).

Aunque el riego con aguas residuales es una práctica común y extensa en toda la República Mexicana, técnicamente sólo se han realizado estudios de sus efectos en las zonas aledañas al área metropolitana de la Ciudad de México (Tula, Chiconautla, Lago de Texcoco y Xochimilco) y en General Escobedo (Nuevo León) en donde se utilizan las aguas residuales de la ciudad de Monterrey (Arreguín, 1999).

En 1995 se empleaban 102 m³/s de agua residual para cubrir 256,827 hectáreas, sin diferenciar que cantidad era de origen industrial o municipal, y sin ningún control ni supervisión sanitaria. Esto aunado a la preferencia de los usuarios por las aguas residuales sobre el agua de primer uso, hicieron de su empleo una práctica ordinaria, sin ningún control sanitario, hasta la aparición de la NOM-032 y 033 en su versión de Norma Técnica Ecológica de 1988. La NOM-067 completaba el esquema regulatorio, el cual ahora se incluye en la NOM-001- SEMARNAT-1996 (Arreguín, 1999).

El reuso industrial de las aguas residuales municipales es aún muy restringido, se identifican actualmente sólo dos tipos de prácticas. Una de ellas corresponde a plantas industriales que se abastecen directamente del alcantarillado, y ellas mismas se encargan del tratamiento para cumplir con sus requerimientos de calidad. En este caso están las termoeléctricas del Valle de México y Tula de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la refinería de Pemex en Tula y Altos Hornos de México, en Monclova (Coahuila). La termoeléctrica de Tula, por ejemplo, cuenta con una planta que trata de 850 a 1300 l/s de agua residual del Gran Canal para emplearla en enfriamiento. La otra práctica es el tratamiento y suministro de agua tratada a un reducido grupo de empresas, algunas de ellas localizadas en la ciudad de Monterrey (Nuevo León), y otras en la zona metropolitana del Valle de México (Arreguín, 1999).

El reuso en Monterrey fue la primera experiencia en su tipo en el país y data de 1955. La empresa Agua Industrial de Monterrey opera una planta de 300 l/s y distribuye el agua a

varias industrias. En el estado de México la planta de San Juan Ixhuatepec, S.A. abastece a los socios industriales con 160 l/s de agua tratada que capta del Río de Los Remedios, en la Ciudad de México (Arreguín, 1999).

Situación del tratamiento y reuso de agua residual en la región

El abastecimiento de agua para la ciudad de Tijuana y Playas de Rosarito se realiza en gran medida a través del acueducto Río Colorado-Tijuana que cuenta con una capacidad de 4.0 m³/s (este también aporta agua para la ciudad de Tecate). Con dicha aportación y la que se generará al entrar en funcionamiento la ampliación del acueducto para 1.3 m³/s adicionales, se tiene resuelto el abastecimiento de agua potable aunque solamente para una década más (2017, según lo proyectado en 2007), considerando además los antecedentes de escasez pluvial y por ende la pobre recarga de nuestros mantos acuíferos en la región, que hacen necesario realizar un uso integral de este recurso y por ende buscar otras alternativas para su suministro en el futuro. La rentabilidad en el aprovechamiento de agua residual tratada puede valorarse desde la perspectiva de una planta de tratamiento que produzca y comercialice el agua tratada a diversos usuarios, o bien desde el punto de vista de plantas de tratamiento que aprovechen el gasto producido para el consumo interno dentro de una industria o empresa (CESPT, 2010).

La Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT) ha desarrollado proyectos sobre el reuso del agua, con alcances tales como un reuso de tipo urbano (riego de áreas verdes y actividades industriales), así como para la recarga de nuestras fuentes de abastecimiento de agua a nivel local. Para ello tiene contemplados una serie de estudios necesarios para garantizar la calidad del agua a reusar y la salud de quienes entren en contacto con ella (CESPT, 2010).

A continuación se presenta una reseña de una parte de estos estudios:

- La Agencia de Protección al Ambiente EUA (EPA) - Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) y CESPT desarrollaron el *"Estudio de Factibilidad para el Reuso de Aguas Residuales Tratadas dentro de la Zona Urbana de Tijuana,*

- Baja California*", el cual identifico áreas potenciales para la reutilización del efluente tratado, las necesidades de infraestructura y red de distribución de agua residual tratada (líneas moradas), volumen del efluente tratado que podría ser reutilizado, y las condiciones potenciales de la calidad del agua, determinando los costos estimados (CESPT et al, 2007).
- El Instituto Mexicano de Tecnología de Agua (IMTA) y CESPT, desarrollaron un estudio denominado "*Estudio Geohidrológico de la Zona del Valle de las Palmas, Arroyo de las Palmas y Zona Perimetral de la Presa Abelardo L. Rodríguez*", que tuvo como principal objetivo la evaluación de las condiciones actuales de la zona de recarga en el Acuífero del Valle de las Palmas, Arroyo Las Palmas y sitio probable para una laguna de maduración (ubicada en cercanías del Rancho Santa Anita) con fines de almacenamiento para su posterior reuso, adicionalmente se evaluó la zona perimetral de la Presa Abelardo L. Rodríguez con el fin de revisar sus condiciones para la creación de una zona de forestación y conservación (Mejía et al, 2007).

Por su parte, la Universidad Autónoma de Baja California a través de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, ha realizado varios estudios en la región, entre ellos se encuentra el realizado en 1997 denominado "*Sistema de tratamiento de agua residual del fraccionamiento san Antonio del Mar, evaluación y funcionamiento*" (López, 1997); en el cual se determinaron parámetros tales como DBO₅, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales, nitrógeno amoniacal y fósforo total durante los meses de junio a octubre, llegando a la conclusión de que el efluente de esta planta de tratamiento cumplía con los límites máximos permisibles establecidos en la norma mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

Durante el periodo comprendido de enero de 1993 a mayo de 1994 se realizó un estudio a la planta de tratamiento de agua residual de Punta Bandera denominado: "*Diagnóstico de las condiciones de operación de la planta de tratamiento de agua residual de la ciudad de Tijuana B. C*" (Ramos, 1995), en el cual se evaluaron los parámetros de diseño (DBO₅, DQO, sólidos suspendidos, carga orgánica superficial, flujo, temperatura, etc) contra los obtenidos en ese periodo y así determinar la eficiencia de la planta de tratamiento, llegando a la conclusión de que la planta presentaba una baja eficiencia debido a la presencia de grandes volúmenes de lodos en los sistemas lagunares y por la formación de zonas muertas en las lagunas.

BIOENSAYOS DE TOXICIDAD

Los ensayos de toxicidad proporcionan resultados útiles para la protección de la salud pública y de la vida acuática frente al impacto causado por la descarga de contaminantes a las aguas superficiales (Metcalf y Eddy, 1996).

Estos estudios son empleados para:

- Constatar la aptitud de las condiciones ambientales para el desarrollo de las determinadas formas de vida acuática.
- Establecer las concentraciones aceptables de los diferentes parámetros convencionales en las aguas receptoras (oxígeno disuelto, turbiedad, pH, temperatura, entre otros).
- Estudiar la influencia de los parámetros de calidad del agua sobre la toxicidad de la misma.
- Constatar la toxicidad de las aguas residuales para múltiples variedades de especies de peces marinos y de agua dulce.
- Establecer la sensibilidad relativa de un conjunto de organismos acuáticos determinado a los efluentes y a los contaminantes habituales.
- Determinar el nivel de tratamiento de las aguas residuales necesario para alcanzar los límites establecidos por la legislación relativa al control de la contaminación de aguas.
- Determinar la efectividad de los procesos de tratamiento de aguas residuales.
- Establecer los límites autorizados de descargas de efluentes.

- Corroborar el cumplimiento de la legislación relativa a la conservación de la calidad del agua.

Durante las últimas décadas, las medidas de control de contaminación se han circunscrito principalmente a contaminantes convencionales identificados como los principales causantes de la degradación de la calidad del agua (materiales responsables de la demanda de oxígeno, sólidos en suspensión, etc.). Recientemente, se ha prestado mayor atención al control de sustancias tóxicas especialmente a aquellas presentes en los vertidos de las plantas de tratamiento de agua residuales. Los primeros procedimientos empleados para la detección y control de los vertidos tóxicos estuvieron basados en criterios químico-específicos. Esta forma de enfocar el problema está sujeta a muchas limitaciones, entre las cuales cabe destacar la imposibilidad de identificar fenómenos de sinergismo o la biodisponibilidad del compuesto tóxico. El estudio de los efluentes como unidades globales para abordar el problema del control de la toxicidad involucra el uso de ensayos de toxicidad para la medición de la misma en las descargas de aguas residuales tratadas. El ensayo del efluente global se emplea para determinar el aumento en la toxicidad de las aguas receptoras producido por el vertido del efluente no alterado. El único parámetro a medir es la toxicidad (Metcalf y Eddy, 1996).

Debido a que no es económicamente factible determinar la toxicidad específica de cada una de las miles de sustancias potencialmente tóxicas que aparecen en efluentes complejos, el ensayo del efluente global en el que intervienen organismos acuáticos constituye un modo directo y económicamente rentable. Para realizar el ensayo, se utilizan acuarios con diferentes concentraciones del efluente a los que se introducen organismos adecuados para el bioensayo, y se observa la respuesta (Metcalf y Eddy, 1996).

Los ensayos de toxicidad se clasifican en función de:

- La duración del ensayo: Corto, mediano y largo plazo.
- El mecanismo de adición de las soluciones a ensayar: Estático, recirculación, renovación o flujo en pistón.
- Los objetivos del ensayo: Cumplimiento de normatividad y/o otorgamiento de permisos, estudio de interrelación entre zonas, etc.

Estos ensayos han demostrado su eficacia en los últimos años a pesar de que los organismos presentan diferentes o variadas sensibilidades frente a la toxicidad de los efluentes. Estudios o investigación realizada por la Agencia de Protección al Ambiente (*Environmental Protection Agency* o EPA) han podido comprobar que:

1. Existe correlación entre la toxicidad de los efluentes y las mediciones de la toxicidad presente en los cuerpos de agua receptores en aquellos casos en los que se ha registrado la dilución del efluente, y
2. Las predicciones de los impactos causados por la toxicidad, tanto de efluentes como de los cuerpos de agua receptores, hechas a partir de los resultados obtenidos en los ensayos, se corresponden razonablemente con las respuestas de la comunidad ecológica de los cuerpos receptores.

La EPA ha realizado campañas de ensayos en ecosistemas marinos, estuarios y de agua dulce en todo el territorio de los Estados Unidos. Los métodos incluyen tanto exposiciones puntuales como crónicas (Metcalf y Eddy, 1996).

Evaluación de los resultados de los ensayos de toxicidad. Para la expresión de los resultados de los ensayos de toxicidad se emplea cierto número de términos.

- *Toxicidad Aguda.* Es como se denomina a la toxicidad suficientemente alta como para producir una respuesta rápida (respuesta observada en el plazo de 48 a 96 horas). El término aguda viene referido al concepto de ser una respuesta corta, y no implica necesariamente la muerte de la especie.
- *LC50.* Se denomina a la concentración del efluente que produce una mortalidad del 50% de la población de ensayo, mientras que
- *EC50* es la concentración del efluente que produce efectos negativos apreciables en el 50% de la población.
- *NEANO* (nivel de efectos agudos no observados) es la mayor concentración del efluente para la cual la mortalidad registrada es del 10% o inferior.

- *Toxicidad Crónica*. Es el efecto de la toxicidad que se mantiene durante un periodo mas o menos largo de tiempo, a menudo del orden de la decima parte de la vida media de la especie o incluso superior. Los efectos crónicos incluyen la muerte, la reducción en el crecimiento o la reducción de la reproducción.
- CENO (concentración de efectos no observables) es la mayor concentración continua medida de un efluente para la cual no se observa reacción crónica alguna en las especies ensayadas.
- MCEO (menor concentración que produce efectos observables) definida como la menor concentración del efluente para la que puede observarse algún efecto sobre la especie ensayada. Se determina con técnicas de análisis de varianzas (ANOVA).

Los datos de toxicidad se analizan empleando los procedimientos desarrollados por Stephan. Los valores de la LC_{50} se determinan analíticamente empleando los métodos de Spearman-Kärber, el de la media móvil, el método binomial y el método probit. También se puede estimar el valor de la LC_{50} empleando métodos gráficos. El valor de la LC_{50} se determina analizando la supervivencia a exposiciones de 48 y 96 horas. Para la comparación de ensayos crónicos se suelen emplear los análisis de varianzas y el método de comparación múltiple de medias de Duncan (Metcalf y Eddy, 1996).

Unidades de toxicidad.

En general, para utilizar los resultados de los ensayos de toxicidad se emplean las unidades de toxicidad (UT). Tanto las normas como los criterios estatales y federales en Estados Unidos están formulados basándose en las unidades de toxicidad. Con este planteamiento, se establecen las concentraciones (en UT) para la protección de la vida acuática (Metcalf y Eddy, 1996).

Se define como Uta (unidad toxica aguda) la inversa de la dilución del efluente que causa la respuesta aguda al finalizar el periodo de exposición de la especie $Uta=100/LC_{50}$.

SITIO DE ESTUDIO

Considerando que la calidad del efluente de las plantas de tratamiento de agua residual de la localidad es el factor limitante para su reuso, es necesario determinar la variación estacional de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento que presuntamente muestran mayor eficiencia, tal es el caso de la planta de tratamiento de agua residual de Rosarito Norte (PTARRN), la cual esta localizada a $12^{\circ} 22' 21''$ N y $116^{\circ} 54' 15''$ O como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Localización de la planta de tratamiento e agua residual Rosarito Norte
(Tomada de Google.Earth)

El agua que se evaluó proviene de la descarga de la planta de tratamiento de Playas de Rosarito. En general, el agua residual es de origen doméstico y el tratamiento es de tipo biológico a través de lodos activados tipo carrusel con un flujo promedio de 140 L/s, la desinfección se realiza utilizando cloro, ya sea como hipoclorito de sodio liquido o en pastillas.

Los parámetros de diseño de la PTARRN, son DBO_5 y sólidos suspendidos. En la Tabla 2 se puede observar que esta planta presenta porcentajes de efectividad por encima del 95 % para DBO_5 , y para sólidos este es superior al 88 %, para los años 2005 a 2008. En el anexo V se presentan los datos del afluente y efluente de esta planta para el mismo periodo.

Tabla 2. Porcentaje de remoción (eficiencia) de la PTARRN.

PARÁMETRO	2005	2006	2007	2008
D.B.O. ₅ (total)	95.52	96.26	96.46	95.25
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (total)	89.3	93.35	89.49	92.09
GRASAS Y ACEITES	31.38	91.72	87.85	89.03
SÓLIDOS TOTALES	28.47	16.73	16.12	18.72
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	59.02	61.59	66.46	61.35
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	95.91	93.49	88.32	92.47
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	92.26	94.44	90.31	94.89
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	98.11	95.74	97.29	-16.73
FÓSFORO TOTAL	4.95	8.77	9.58	35.38
NITRÓGENO AMONICAL	67.14	88.01	64.53	82.33

NOTA: Unidades en mg/L

Datos proporcionados por CESPT

Esta planta de tratamiento es la primera de 4 proyectadas por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT) para la región Tijuana – Rosarito, con las cuales se tratarían 1154 litros por segundo de agua residual y considerando además la factibilidad del reuso indirecto. Hasta el momento solo falta de construir y funcionar la planta de El Florido, ya que las Plantas Monte de los Olivos y La Morita ya están en funcionamiento (Cueva, 2007).

La planta de tratamiento consta de un tratamiento primario y secundario, consta de:

- Sistema de rejillas para la eliminación de la materia flotante.
- Desarenador para la eliminación de grasas y aceites.
- Reactor aeróbico de mezcla completa de lodos activados
- Sistema de clarificador circular
- Cámara de secado de lodos y por último
- Desinfección con cloro, generalmente con hipoclorito de sodio (ver figura 3).



Figura 3. Vista de la Planta de Tratamiento de Agua residual Rosarito Norte (PTARRN)

Los resultados que se obtengan en este estudio serán útiles sólo para determinar las alternativas de reuso del efluente de la PTARRN desde un punto de vista fisicoquímico y toxicológico y por otra parte servirán como referencia para la evaluación de los sistemas de tratamiento de otras plantas de la región.

En el caso particular de Playas de Rosarito es importante hacer notar que en base a los datos de calidad del efluente de la PTARRN y otros estudios, se contempla la posibilidad de incrementar o crear otras fuentes de agua subterránea, mediante la recarga de los acuíferos de Playas de Rosarito, los cuales se muestran en la figura 4.

Para la recarga de los acuíferos se propone la instalación de un tanque de distribución localizado a 120 22' 21" N y 1160 54' 15" O a 322 m de altitud (figura 4) sobre el nivel del mar (snm), el cual alimentará a los sitios de recarga 1 localizado a 120 17' 24" N y 1160 56' 51" O a 273 m de altura snm y al sitio de recarga 2 localizado a 120 24' 16" N y 160 59' 64" O a 206 m snm.



Figura 4. Localización de las zonas de recarga de los acuíferos de Playas de Rosarito.
(Tomada de Google Earth)

Estas infiltraciones lograrán la recarga final de la presa Abelardo L. Rodríguez (Tijuana, B.C.), cuyo basamento esta formado por rocas ígneas intrusitas graníticas que forman el eje plutónico, los cuales cubren dos tercios de la superficie del estado. También existen rocas ígneas extrusivas como basaltos, ríolitas, andesitas, tobas riolíticas y tonalíticas, las cuales se encuentran en los cerros circundantes San Isidro, La Avena, Colorado, Las Abejas, Cuero de Venado y La vena, así como rocas sedimentarias y metamórficas (Mejía et al, 2007).

Los resultados de los análisis a muestras de agua del acuífero del Valle de las Palmas, históricamente indican que las concentraciones varían entre 350 y 7300 mg/l de sólidos disueltos totales (SDT) con un promedio, en los valores registrados, de 1300 mg/l (Mejía et al, 2007).

El sodio es el catión predominante con una concentración promedio de 219 mg/l. En los aniones el cloruro predomina con una concentración promedio de 300 mg/l, sin embargo el máximo valor lo presentan los sulfatos con 3789 mg/l. En general puede establecerse que el agua del acuífero del Valle de las Palmas, es producto de una mezcla de agua sódico-clorurada que se encuentra en el cuerpo principal del acuífero y de agua sódico-bicarbonatada, que se encuentra a menor profundidad en los materiales mas permeables a lo largo de los cauces de los arroyos y que transcurre como agua subalvea. También hacia los márgenes del valle se encuentra agua sódico-bicarbonatada y esta asociada hacia las zonas de recarga (Mejía et al, 2007).

METODOLOGÍA

Muestreo

El muestreo y conservación de las muestras fue realizado por el personal de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT), según lo establece la NMX-AA-003-1980, los recipientes utilizados durante el muestreo fueron de polietileno con tapa de rosca del mismo material para todos los parámetros analizados con excepción de compuestos orgánicos, pesticidas y grasas y aceites para los cuales se emplearon recipientes de vidrio ámbar. La recolección de las muestras fue realizada utilizando un automuestreador propiedad de la CESPT y manejado por su personal.

El seguimiento del muestreo, transporte y entrega a laboratorio se realizó mediante una cadena de custodia por muestreo, documentadas por personal de ambas instituciones.

Se tomaron en cuenta las condiciones climáticas con objeto de asegurar la seguridad del personal y el equipo además de la representatividad de las muestras, por lo que, no se realizaron muestreos en días consecutivos a un periodo de lluvia, por lo que se reprogramaron estos muestreo de ser posible para la misma semana o la siguiente.

El muestreo se programó de tal manera que se pudieran tener muestras de cada día de la semana (incluyendo sábados y domingos), y la frecuencia del muestreo fue predominantemente semanal durante la primera parte del estudio (2006-2007) y quincenal durante la segunda parte (2008-2009).

En cuanto a la preservación de las muestras, estas fueron recibidas en la Facultad ya preservadas a temperaturas de aproximadamente 4 °C y con medios ácidos (utilizándose ácido nítrico) o alcalinos (hidróxido de sodio), dependiendo del parámetro a analizar. La tabla 3 muestra el modo de preservar y tipo de envase necesario según el parámetro a analizar.

Tabla 3. Resumen de muestreo especial o requerimientos de manejo para muestras.

PARÁMETRO	RECIPIENTE	CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRA (ml)	ALMACENAMIENTO Y/O PRESERVACIÓN
Acidez	P,G(B)	100	24Hr. Refrigerar
Alcalinidad	P,G(B)	200	24Hr. Refrigerar
DBO	P,G	1000	6Hr. Refrigerar
DQO	P,G	100	Analizar tan pronto sea posible; agregar H ₂ SO ₄ a pH ≤2.
Cloro residual	P,G	500	Analizar inmediatamente.
Color	G	500	-----
Cianuro	P,G	500	24 Hr. adicionar NaOH a pH 12. Refrigerar.
Fluoruro	P	300	-----
Grasas y Aceites	G, boca ancha.	1000	Agregar HCl a pH ≤2.
Metales	P,G	-----	Adicionar 5 ml de HNO ₃ /L.
Amonio	P,G	500	Analizar tan pronto sea posible; agregar 0.8 ml H ₂ SO ₄ conc./L. Refrigerar.
Nitratos	P,G	100	Analizar tan pronto sea posible; agregar 0.8 ml H ₂ SO ₄ conc./L. Refrigerar.
Nitritos	P,G	100	Analizar tan pronto sea posible; agregar 0.8 ml H ₂ SO ₄ conc./L. Refrigerar.
Nitrógeno orgánico	P,G	500	Analizar tan pronto sea posible; agregar 0.8 ml H ₂ SO ₄ conc./L. Refrigerar.
Pesticidas	G(S)	-----	-----
pH	P,G(B)	-----	-----
Fenol	G	500	24Hr.; Agregar H ₃ PO ₄ a pH ≤ 4 y 1g CuSO ₄ 5H ₂ O/l. Refrigerar.
Sulfato	P,G	-----	Refrigerar.
Turbidez	P,G	-----	Analizar mismo dia. Almacenar en oscuridad si esperara mas de 24Hr.
Fosfato	G(A)	100	Congelar a ≤ - 10 ⁰ C y/o agregar 40 mg HgCl/L.

NOTA: P=Plástico (polietileno o equivalente); G= Vidrio; G(A)=Lavado con 1+1 HNO₃; G(B)= Vidrio de borosilicato; G(S)= Vidrio lavado con solventes.

Tomada de *Standard Methods*

Material

Para los análisis fisicoquímicos (tanto gravimétricos como colorimétricos) se utilizaron equipos como Balanza Analítica marca Explorer Ohaus, una Estufa marca Boekel Industries Inc., Un digestor para TKN marca Hach y un espectrofotómetro UV-VIS modelo DR-4000 de la marca Hach. Para los análisis volumétricos se utilizó tanto bureta común de vidrio así como un titulador marca Hach.

Para los análisis de compuestos orgánicos se utilizó un Cromatógrafo de Gases (GC) ultratrace Finnigan acoplado con Masas (MS) Finnigan Polaris Q con trampa de iones y un sistema de Cromatografía Gaseosa Thermo Trace GC Ultra con un inyector de temperatura programable (PTV), un sistema automatizado de inyección de muestras, AS 3000, Espectrómetro de Masas POLARIS Q de la firma Thermo Fisher Scientific con analizador de trampa de iones y un módulo de control automático de flujo (Rodríguez, 2010). Para la determinación de metales se utilizó un equipo de ICP-MS, marca Varian modelo Ultramass 700, usando el método 3000 (APHA 1999).

Además se utilizó un microscopio y un equipo BBL cristal para la identificación de Huevos de Helminths y bacterias (coliformes totales, fecales, hongos, levaduras y enterobacterias) respectivamente. Todos los equipos utilizados están dentro de un programa de mantenimiento preventivo el cual es ejecutado por la empresa Ingeniería Aplicada a Laboratorios (INGLAB).

Análisis de muestras

Se realizaron diversos análisis fisicoquímicos y biológicos al efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Rosarito Norte (PTARRN) con el fin de caracterizarla y analizar las posibilidades de su reuso indirecto, para esto se siguió la metodología descrita en las normas mexicanas y/o los métodos aprobados por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA).

Existen diversas circunstancias que hay que vigilar al momento de realizar las determinaciones, entre estas, la metodología del muestreo y la preservación de las

muestras, así como la propia metodología del análisis, esto con el fin de garantizar la certidumbre de los resultados obtenidos.

Análisis fisicoquímicos. Para realizar la caracterización fisicoquímica del efluente del agua residual de la PTARRN se implementaron 26 métodos, dentro de los cuales 14 son técnicas colorimétricas, 3 son gravimétricos y 2 son volumétricas. En las Tablas 4 y 5 se presentan las técnicas utilizadas en cada determinación realizada durante este proyecto.

Tabla 4: Parámetros fisicoquímicos por métodos colorimétricos

Análisis	Método
Cloro libre	DPD
Cloro total	DPD
Cianuro	Piridina – pirazalona
Color	Platino – cobalto
Demanda química de oxígeno	Digestión ácida
Fenol total	4 - Aminoantipirina
Fluoruros	SPADNS
Fósforo total	Digestión con ácido persulfato
Fósforo reactivo (ortofosfato)	Molibdovanato
Nitrógeno total Kjeldahl	Nessler con digestión
Nitrógeno – nitrato	Reducción con cadmio
Nitrógeno – nitrito	Diazotización
Nitrógeno – amoniaco	Nessler
Sustancias activas al azul de metileno	Cristal violeta

Tabla 5: Parámetros fisicoquímicos por métodos diversos.

Análisis	Método
Conductividad	Potenciométrico
Cloruros	Volumétrico
Demanda bioquímica de oxígeno	Potenciométrico
Dureza total	Volumétrico
Grasas y aceites	Gravimétrico
pH	Potenciométrico
Sólidos suspendidos totales	Gravimétrico
Sólidos disueltos totales	Gravimétrico
Sulfatos	Turbidimétrico
Turbidez	Turbidimétrico

Todos los análisis de las muestras se realizan bajo la normatividad mexicana así como por métodos aprobados por la USEPA (Tabla 6).

Tabla 6: Relación de análisis y métodos.

Parámetro	Método
Demanda Bioquímica de oxígeno	NMX-AA-028-SCFI-2000
Demanda Química de Oxígeno	HACH NMX-AA-030-SCFI-2001
Sólidos suspendidos Totales	NMX-AA-034-SCFI-2001
Fosfatos P-T	HACH 8114 = NMX-AA-029-SCFI-2001
Nitrógeno Total	HACH 8075 = NMX-AA-026-SCFI-2001
Nitrógeno Amoniacal	HACH 8038
Nitritos	HACH 8507 = NMX-AA-99-SCFI-1987
Nitratos	HACH 8192 = NMX-AA-079-SCFI-2001
Sulfatos	HACH 8051 NMX-AA-074-SCFI-1981
Color	HACH 8025 = NMX-AA-017-SCFI-1980
Turbidez	HACH 10047= NMX-AA-038-SCFI-2001
Cloro residual	HACH 10069= NMX-AA-108-SCFI-2001
Cloruros	NMX-AA-073-SCFI-2001
Cianuro	HACH 8027 = NMX-AA-058-SCFI-2001
Dureza	NMX-AA-072-SCFI-2001
Fenoles	HACH 8047 = NMX-AA-050-SCFI-2001
Fluoruros	HACH 8029 = NMX-AA-077-SCFI-2001
Ph	NMX-AA-008-SCFI-2000
SAAM	HACH 8029 = NMX-AA-039-SCFI-2001
Grasas y aceites	NMX-AA-005-SCFI-2000
Plaguicidas	NMX-AA-071-SCFI-1981
Compuestos orgánicos semi y volátiles	METODOS USEPA
Metales Traza	NMX-AA-051-SCFI-2001
Microbiológico	NMX-AA-113-SCFI-1999 NMX-AA-042-SCFI-1987

Análisis de compuestos orgánicos. Para la determinación de los diferentes compuestos orgánicos se implementaron y desarrollaron técnicas cromatográficas para la cuantificación de compuestos orgánicos volátiles, semivolátiles, pesticidas y ftalatos. Los métodos empleados son los 624, 526, 505 y 508 de la EPA.

Análisis microbiológicos y de parasitología. Para la caracterización en cuanto a organismos se ha seguido lo establecido en las normas mexicanas NMX-AA-113-SCFI-1999, con lo que se han determinado 7 organismos, 6 microbiológicos y 1 parasitológico.

Análisis de toxicidad aguda.

Todos los detalles de las actividades previas a los ensayos y de los propios ensayos se realizaron bajo los lineamientos establecidos en la Norma Mexicana NMX-AA-087-1995-SCFI.

Cultivo. Previo al período de ensayos, se debe mantener un cultivo (figura 5 y 6) de los organismos de prueba (*Daphnia magna*). Para esto se debe contar con un lugar libre de sustancias tóxicas que pudieran entrar en contacto directo con los cultivos y que además tenga condiciones de temperatura (18-22°C) y un fotoperíodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad. Los organismos se deben mantener en agua reconstituida (pH: 6.5-8.5, dureza: 160-180 mg/L como CaCO₃) se deben tener consideraciones especiales de cuidados tales como mantener la limpieza de los recipientes, haciendo un recambio de agua una vez por semana y retirando el material acumulado en el fondo de los recipientes. La alimentación se realiza 3 veces por semana consistiendo en levadura y/o algas.

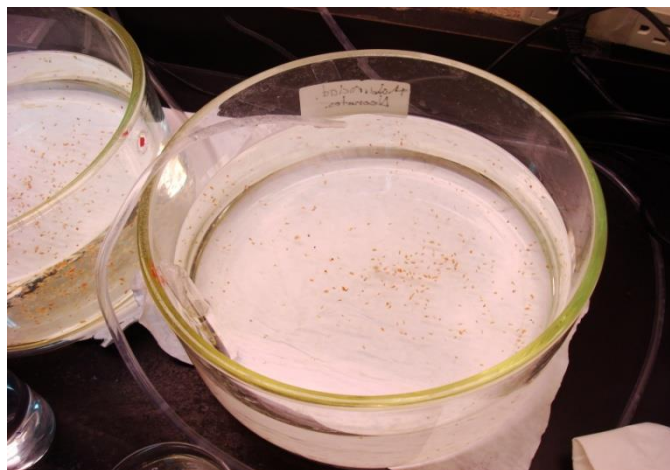


Figura 5. Cultivo de Daphnias en el laboratorio.

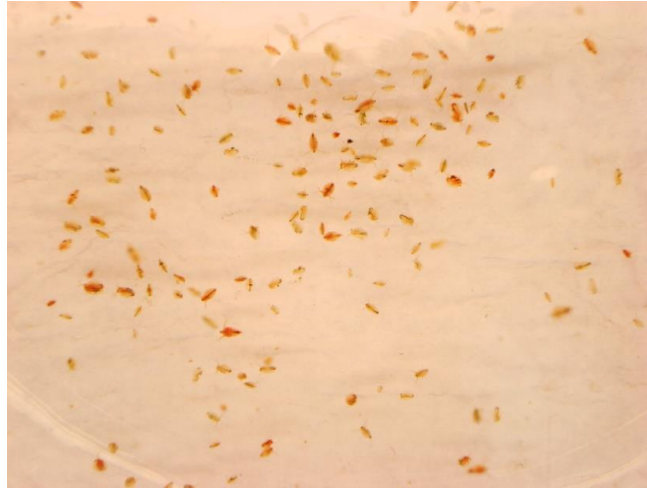


Figura 6. Vista de Daphnia macho y hembra en el cultivo.

Pruebas. Los organismos utilizados para las pruebas son neonatos de no más de 24 horas de nacidos (figura 7), la primera prueba realizada es la evaluación de la sensibilidad de los organismos de prueba, para asegurar que pueden ser utilizados en los ensayos con las muestras. Para esto se exponen 10 organismos al tóxico de referencia (Dodecil sulfato de sodio, SDS) y se obtiene la CL50 en un bioensayo de 48 horas (el valor debe ser 14.5 ± 4.5).



Figura 7. Selección de neonatos de 24 horas.

Para el ensayo de las muestras de la Planta de Tratamiento en primer lugar se debe realizar un ensayo exploratorio, el cual permitirá definir el intervalo de concentraciones que

se debe aplicar en el ensayo definitivo. En este los organismos fueron expuestos a soluciones de 0 (testigo) 6, 12, 25, 50 y 100% V/V (figura 8) durante 24 horas, por duplicado. Finalizado el tiempo de exposición se determina el porcentaje de mortalidad y con este se calcula la concentración letal media (CL50). A partir de este valor se conforma el intervalo de concentraciones que se aplicará en el ensayo definitivo.



Figura 8. Preparación de disoluciones de prueba exploratoria.

Para el ensayo definitivo (figura 9) se debe preparar las soluciones en el rango de concentraciones establecido anteriormente y se deben cumplir las condiciones establecidas en la Tabla 7.

Tabla 7. Condiciones ensayos definitivos.

Tipo de prueba	Estática sin renovación de la solución de prueba
Duración	48 horas
Fotoperíodo	16 horas luz/ 8 horas oscuridad
Temperatura	20° C \pm 2° C
Volumen de los recipientes de prueba	150 ml
Edad de los organismos	Menos de 24 horas
Número de réplicas	3
Número de organismos por réplica	10
Agua de dilución	Reconstituida
Alimentación	No
Respuesta evaluada	Inmovilidad a 24 horas y 48 horas
Criterio de aceptación de la prueba	Sobrevivencia mayor o igual a 90 % en los testigos.

Tomada de NMX-AA-087-1995-SCFI

Se realiza un ensayo definitivo para cada muestra y con los resultados de mortalidad obtenidos se calcula la concentración letal media (CL_{50}), las unidades de toxicidad aguda (UTA) y finalmente el criterio de máxima concentración (CMC).



Figura 9. Preparación de disoluciones de prueba definitiva.

RESULTADOS

Análisis fisicoquímicos.

A continuación se presentan en las Tablas 8, 9, 10, 11, 12 y 13 los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos en los dos periodos estudiados, noviembre de 2006 a diciembre de 2007 y marzo de 2008 a febrero de 2009. Se analizaron 36 muestras en el primer periodo y 22 en el segundo.

Tabla 8. Resultados fisicoquímicos periodo 2006 – 2007.

MUESTRA	pH (unidades de pH)	COND. (microsiems/cm)	COLOR (Co-Pt)	TURBIDEZ (UNT)	SDT	SST	DUREZA TOTAL (Como CaCO ₃)	CLORUROS	FLUORURO
1	7.6	1630	52	< 14	1100	23	520	259	1.5
2	7.6	1830	49	< 14	1300	42	1394	268	1.7
3	7.3	NR	58	< 14	1900	138	744	289	1.4
4	7.5	2190	48	< 14	1411	<10	670	206	1.3
5	7.43	2150	120	15	1634	<10	476	231	NR
6	7.2	2050	180	25	1300	<10	560	272	1.2
7	7.09	2090	81	< 14	1388	<10	472	302	0.9
8	6.45	1820	70	< 14	1272	<10	532	291	1
9	7.5	1900	67	< 14	1398	<10	890	298	1.2
10	7.6	2180	87	17	1408	<10	520	298	2.2
11	7.6	2150	55	< 14	1406	<10	470	285	2.2
12	7.6	2100	77	18	1395	<10	476	285	2.2
13	7.4	2240	54	< 14	1182	<10	498	276	1.5
14	7.4	2050	47	< 14	1233	<10	484	289	0.9
15	7.4	2130	72	< 14	1120	<10	375	268	1.4
16	7.5	2180	71	< 14	1297	<10	405	289	1
17	7.7	2230	69	< 14	1259	<10	512	285	1.2
18	7.4	2190	65	< 14	NR	<10	524	140	1.3
19	7.6	2100	111	21	1443	27	404	264	1.2
20	7.5	2000	51	< 14	1322	<10	410	308	1.6
21	7.5	2110	57	< 14	1332	<10	450	319	1.8
22	7.7	2170	113	< 14	1317	<10	400	304	1.4
23	7.6	2060	60	< 14	1338	<10	405	323	1.9
24	7.3	2020	70	< 14	1285	<10	320	277	1.3
25	7.6	2000	50	< 14	1295	<10	110	362	0.9
26	6.7	2040	52	< 14	2115	<10	455	298	0.9
27	7.6	2010	63	< 14	1300	<10	555	295	0.5
28	7.3	2020	58	< 14	1288	<10	370	319	0.96
29	7	1940	56	< 14	1457	<10	490	319	1.1
30	7.7	2200	64	< 14	1401	<10	495	319	0.8
31	7.4	2020	40	< 14	1311	<10	475	266	1.13
32	7.6	1980	47	< 14	1381	<10	460	213	0.26
33	7.5	2060	50	< 14	1283	<10	505	319	0.09
34	7.6	2040	66	< 14	1611	<10	480	317	0.12
35	7.7	1840	48	< 14	1168	<10	390	340	1.3
36	7.5	2040	255	< 14	1506	<10	445	319	1.5

NOTA: NR = No Realizado. Unidades en mg/L excepto cuando se indique.

Tabla 9. Resultados fisicoquímicos periodo 2006 – 2007, continuación.

MUESTRA	FENOL TOTAL	SAAM'S	COLORO TOTAL	COLORO LIBRE	CIANURO	NITRATO	NITRITO	AMONIACO	TKN
1	< 0.001	0.18	NR	NR	< 0.01	0.02	0.05	0.44	22.5
2	< 0.001	0.16	NR	NR	< 0.01	0.03	0.007	0.41	30
3	< 0.001	0.36	NR	NR	0.02	0.05	< 0.001	1.3	20.6
4	< 0.001	0.25	2.2	1.6	0.035	0.02	0.005	2.35	22.5
5	< 0.001	NR	0.05	< 0.02	0.034	0.03	-0.001	3.9	10.3
6	< 0.001	0.22	< 0.01	< 0.02	0.022	0.04	< 0.001	4.43	18.8
7	< 0.001	0.19	0.01	< 0.02	-0.01	0.01	0.05	4.6	31.9
8	< 0.001	0.15	< 0.01	< 0.02	0.01	0.1	0.01	33.25	86.3
9	0.001	0.16	0.1	< 0.02	0.03	0.07	0.08	0.78	45
10	0.002	0.36	0.04	0.03	0.03	0.17	0.17	5.24	73.13
11	0.003	0.13	0.05	0.03	0.04	0.06	0.11	6.3	22.5
12	0.001	0.03	0.05	0.03	< 0.01	0.33	0.13	110.8	24.3
13	0.006	0.16	0.06	0.04	< 0.01	0.04	0.01	5.3	18.8
14	< 0.001	0.18	0.3	0.04	0.02	0.08	0.03	2.9	35.6
15	< 0.001	0.17	0.01	< 0.02	0.01	0.05	0.03	2.9	18.8
16	0.006	0.22	0.03	< 0.02	0.02	0.18	0.15	2.8	28.1
17	0.004	0.14	0.08	0.06	0.01	0.05	0.07	46.4	37.5
18	NR	0.25	0.19	0.14	0.015	0.08	0.04	45.5	60
19	< 0.001	0.8	0.25	0.2	0.014	0.23	0.03	46.2	24.4
20	0.001	0.16	0.1	0.1	0.02	0.16	0.07	18.5	58.1
21	0.001	0.15	0.13	0.12	0.2	0.32	0.003	15.4	54.4
22	< 0.001	0.11	0.14	0.06	0.02	0.04	0.05	45.8	84.3
23	0.001	0.13	0.1	0.03	0.01	0.25	0.01	14.3	31.9
24	< 0.001	0.07	0.1	0.04	0.03	1.1	0.36	16.7	15
25	0.006	0.07	0.19	0.16	0.028	0.21	0.33	13.2	5.6
26	< 0.001	0.13	0.11	0.07	0.024	0.6	2.5	12.2	15
27	0.003	0.07	0.1	0.09	0.042	0.5	0.03	14	9.4
28	0.003	0.11	0.16	0.1	0.04	0.2	0.08	5.6	16.9
29	0.003	0.12	0.17	0.02	0.03	0.45	0.47	2.9	16.9
30	0.002	0.11	0.1	0.08	0.01	2	0.04	8.8	9.4
31	0.003	0.12	0.08	0.07	0.02	3	0.28	1.06	24.3
32	0.003	0.14	0.2	0.1	0.016	1	0.5	0.5	15
33	0.004	0.12	0.11	0.08	0.014	2	0.37	1.69	1.9
34	0.003	1	0.09	0.07	0.016	2	0.54	1.52	26.25
35	0.002	0.12	0.11	0.03	0.03	0.3	0.023	1.75	15
36	0.003	0.11	0.08	0.02	0.021	0.3	0.045	0.25	20.6

NOTA: NR = No Realizado. Unidades en mg/L excepto cuando se indique.

Tabla 10. Resultados fisicoquímicos periodo 2006 – 2007, continuación.

MUESTRA	ORTO FOSFATO	FOSFORO TOTAL	SULFATOS	GyA	DBO	DQO
1	32	NR	338	< 5	< 5	53
2	10.6	NR	315	< 5	< 5	53
3	12.5	NR	444	< 5	< 5	38
4	4.3	NR	730	< 5	< 5	59
5	12.8	NR	197	< 5	< 5	58
6	13.4	NR	325	< 5	< 5	63
7	9.86	NR	600	< 5	41	59
8	7.2	NR	338	< 5	< 5	36
9	5.4	NR	870	< 5	6	111
10	6.2	34	600	< 5	< 5	78
11	7.9	29.1	260	7	< 5	111
12	6.8	30.3	350	6	< 5	363
13	4.5	33.1	330	6	< 5	54
14	4.8	35.3	320	< 5	< 5	60
15	6.5	31.1	371	< 5	< 5	108
16	4.5	31.2	413	67	< 5	32
17	8	28.5	312	13	< 5	30
18	7.1	34.6	332	42	< 5	96
19	8	30.3	442	< 5	< 5	66
20	4.1	15.5	429	< 5	11	43
21	4.2	24.2	487	82	< 5	51
22	6.1	30.4	399	33	< 5	100
23	4.1	31.5	434	28	< 5	51
24	2.4	23.2	502	270	< 5	55
25	6.3	24.4	254	131	< 5	68
26	17.7	20.8	470	133	8	47
27	19.1	17.5	1200	117	< 5	58
28	18	16.5	437	41	< 5	66
29	30.9	30.8	413	89	< 5	33
30	28.4	32.8	392	63	< 5	50
31	32.9	38.2	425	< 5	< 5	43
32	31.2	32.06	770	5	< 5	110
33	33.6	34.45	775	8	< 5	41
34	24.1	28.2	410	< 5	< 5	54
35	27.4	30.1	454	< 5	< 5	37
36	27.4	29.5	469	< 5	< 5	76

NOTA: NR = No Realizado. Unidades en mg/L excepto cuando se indique.

Tabla 11. Resultados fisicoquímicos periodo 2008 – 2009.

MUESTRA	pH (unidades de pH)	COND. (microsiems/cm)	COLOR (Co-Pt)	TURBIDEZ (UNT)	SDT	SST	DUREZA TOTAL (como CaCO ₃)	CLORUROS	FLUORURO
1	7.4	2270	30	< 14	1466	<10	482	298	0.9
2	7.1	2140	74	< 14	1419	<10	490	287	1.8
3	6.6	2180	82	< 14	1307	<10	560	283	1.19
4	7	2280	27	< 14	1392	<10	481	351	1.16
5	7.83	2200	55	< 14	1326	<10	518	291	1.5
6	7.25	2110	105	22	1304	<10	426	281	0.94
7	6.74	2040	71	256	1301	57	430	308	0.7
8	7.15	2020	74	< 14	1317	10	414	274	1.1
9	7.32	2080	108	15	1323	<10	396	283	1
10	6.5	2050	54	< 14	1733	<10	430	287	2.2
11	7.35	1920	43	< 14	1315	<10	408	298	1.21
12	6.04	1869	27	< 14	1489	<10	482	303	1.81
13	6.97	2070	860	103	1356	<10	400	313	1.63
14	7.16	2040	30	< 14	1361	<10	422	313	1.27
15	7.53	1952	380	< 14	1295	<10	400	325	1.22
16	7.5	1912	68	< 14	1275	<10	510	298	0.94
17	7.66	1978	24	< 14	1314	<10	506	308	0.95
18	7.71	1804	3	< 14	1197	<10	408	283	0.57
19	7.36	2002	25	< 14	1350	<10	536	323	1.7
20	7.1	2170	45	< 14	1445	<10	440	323	0.96
21	7.5	1832	23	< 14	1220	<10	550	285	0.063
22	7.54	1855	40	< 14	1238	<10	462	277	0.23

NOTA: NR = No Realizado. Unidades en mg/L excepto cuando se indique.

Tabla 12. Resultados fisicoquímicos periodo 2008 – 2009, continuación.

MUESTRA	FENOL TOTAL	SAAM'S	CLORO TOTAL	CLORO LIBRE	CIANURO	DBO	DQO	ALCALINIDAD (como CaCO ₃)	ACIDEZ (como CaCO ₃)
1	< 0.001	0.17	0.15	< 0.02	0.025	21	402	274	132
2	0.001	0.12	0.08	0.05	0.024	16	284	268	120
3	0.002	0.09	0.06	0.05	0.026	16	278	238	78
4	< 0.001	0.1	17	5.5	0.055	< 5	306	248	106
5	0.004	0.06	0.05	0.02	0.012	16	338	284	108
6	0.015	0.09	0.1	< 0.02	0.045	28	337	232	100
7	0.002	0.023	0.4	0.13	0.078	117	578	280	160
8	0.002	0.077	0.04	0.04	0.032	NR	309	210	80
9	0.002	0.086	0.06	0.03	0.091	NR	213	160	60
10	0.002	0.053	0.03	< 0.02	< 0.001	23	300	160	4
11	0.002	0.061	0.2	0.14	0.045	16	198	94	61
12	0.006	0.073	0.63	0.05	0.052	< 5	105	40	46
13	0.001	0.06	0.2	< 0.02	0.028	180	257	88	154
14	0.005	0.098	5.4	0.43	0.013	< 5	254	222	210
15	0.011	0.136	0.05	< 0.02	0.003	28	40	184	118
16	< 0.001	0.073	0.06	< 0.02	0.044	18	78	214	118
17	0.009	0.031	0.21	< 0.02	0.04	18	270	156	82
18	< 0.001	0.001	0.28	0.04	0.046	11	249	132	84
19	< 0.001	0.036	0.31	< 0.02	0.033	14.8	184	63	29
20	< 0.001	0.025	0.15	< 0.02	0.03	14	86	112	148
21	0.002	0.043	0.44	0.02	0.042	< 5	50	150	40
22	< 0.001	0.049	0.21	< 0.02	0.055	NR	< 5	186	170

NOTA: NR = No Realizado. Unidades en mg/L excepto cuando se indique.

Tabla 13. Resultados fisicoquímicos periodo 2008 – 2009, continuación.

MUESTRA	NITRATO	NITRITO	AMONIACO	TKN	ORTO FOSFAT.	FOSFORO TOT.	SULFATOS	GyA
1	0.24	0.2	6.1	30	21.8	23.7	423	69
2	0.05	0.08	10.4	21	33	35.7	504	121
3	0.3	0.02	33.35	45	25.4	27	450	41
4	1.7	0.02	2.9	88	19.6	20.7	451	18
5	0.02	0.0048	2.9	98	31	34.6	438	22
6	0.2	0.049	14.4	19	26.3	27.07	450	< 5
7	1.3	0.36	11.5	5.63	30.2	35.5	505	16
8	1.5	0.5	8.3	9.4	23.3	23.6	520	66
9	2.7	0.28	5.5	18.75	19.2	21.1	290	20
10	55	0.16	0.5	1.875	49.2	52	110	61
11	14.1	0.003	0.18	39.38	23.13	28.5	461	< 5
12	0.3	0.03	0.37	15	22.8	35.12	442	126
13	0.3	< 0.001	1.68	9.38	54.3	79	465	49
14	0.3	0.009	0.137	65.63	28.7	37	468	119
15	3.9	0.094	2.85	3.56	30.37	31.3	494	46
16	0.8	0.01	0.78	1.875	24.75	25.7	460	< 5
17	4.5	0.046	0.513	3.75	24.61	25.54	453	< 5
18	5.5	0.012	0.337	3.75	14.5	14.64	342	< 5
19	5.1	0.165	0.077	1.03	19.9	29.9	374	42
20	5.5	0.035	0.33	1.69	21.5	29.9	457	29
21	5.5	0.035	1.76	2.06	15.1	15.2	422	< 5
22	5.5	0.013	0.23	3.75	19.4	19.6	497	34

NOTA: NR = No Realizado. Unidades en mg/L excepto cuando se indique.

Análisis Microbiológicos y Huevos de Helminto.

Dentro de estos parámetros se buscó la presencia de aquellos microorganismos que están regulados en las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997, así como aquellos que aunque no están contemplados en estas normas son importantes de monitorear por su posible afectación a los humanos. Las tablas 14, 15, 16 Y 17 muestran los resultados obtenidos.

Tabla 14. Resultados microbiológicos 2006 – 2007

Muestra	Coliformes totales NMP/100ml	Coliformes fecales NMP/100ml	Hongos UFC/ml	Levaduras UFC/ml	Enterococos	Enterobacterias
09-11-2006	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG
22-11-2006	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG
17-01-2007	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG
08-02-2007	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG
28-02-2007	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	<i>Pseudomona Aeruginosa</i>
06-03-2007	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG
14-03-2007	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG
22-03-2007	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG
10-04-2007	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG
10-04-2007	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG
14-04-2007	NEG	NEG	10	NEG	NEG	NEG
22-04-2007	3	3	2	1	NEG	<i>E. coli</i>
01-06-2007	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG
09-06-2007	NEG	NEG	NEG	2	NEG	NEG
13-09-2007	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	<i>Enterobacter cloacae</i>
20-09-2007	Incontables	Incontables	NEG	NEG	<i>Enterococcus faecium</i>	NEG
21-09-2007	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	<i>Enterobacter cloacae</i>
29-09-2007	NEG	NEG	NEG	NEG	<i>Staphylococcus hominis</i>	NEG
07-10-2007	30	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG
15-10-2007	15	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG
30-10-2007	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	<i>Enterobacter cloacae</i>

NOTA: NEG=Negativo

Tabla 15. Resultados huevos de helminto 2006 – 2007

MUESTRA	RESULTADOS	NOM-001
1	NEGATIVO	1
2	NEGATIVO	1
3	NEGATIVO	1
4	NEGATIVO	1
5	NEGATIVO	1
6	NEGATIVO	1
7	NEGATIVO	1
8	NEGATIVO	1
9	Larva de Uncinaria	1
10	NEGATIVO	1
11	NEGATIVO	1
12	NEGATIVO	1
13	NEGATIVO	1
14	NEGATIVO	1
15	NEGATIVO	1
16	NEGATIVO	1
17	NEGATIVO	1
18	NEGATIVO	1
19	NEGATIVO	1
20	NEGATIVO	1
21	NEGATIVO	1
22	NEGATIVO	1
23	NEGATIVO	1

Tabla 16. Resultados microbiológicos 2008.

MUESTRA	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	HONGOS	LEVADURAS	ENTEROCOCOS	BACTERIA ENCONTRADA
05 MARZO 2008	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
25 MARZO 2008	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
09 ABRIL 2008	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
24 ABRIL 2008	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
09 MAYO 2008	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
24 MAYO 2008	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
08 JUNIO 2008	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
23 JUNIO 2008	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
08 JULIO 2008	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
25 JULIO 2008	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
07 AGOSTO 2008	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
06 SEPTIEMBRE 2008	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
21 SEPTIEMBRE 2008	4397	INCONTABLES	NEGATIVO	573300	Enterococcus faecium	Morganella morgani Enterobacter cloacae

Tabla 17. Resultados huevos de helminto 2008 – 2009

MUESTRA	RESULTADO	NOM-001
05 MARZO 2008	NEGATIVO	1
25 MARZO 2008	NEGATIVO	1
09 ABRIL 2008	NEGATIVO	1
24 ABRIL 2008	NEGATIVO	1
09 MAYO 2008	NEGATIVO	1
24 MAYO 2008	NEGATIVO	1
08 JUNIO 2008	NEGATIVO	1
23 JUNIO 2008	NEGATIVO	1
08 JULIO 2008	NEGATIVO	1
25 JULIO 2008	NEGATIVO	1
07 AGOSTO 2008	NEGATIVO	1
06 SEPTIEMBRE 2008	NEGATIVO	1
21 SEPTIEMBRE 2008	NEGATIVO	1
06 OCTUBRE 2008	NEGATIVO	1
21 OCTUBRE 2008	NEGATIVO	1
05 NOVIEMBRE 2008	QUISTES DE CYCLOSPHORA CAYETANESIS.	1
19 NOVIEMBRE 2008	NEGATIVO	1
04 DICIEMBRE 2008	NEGATIVO	1
19 ENERO 2009	NEGATIVO	1
03 FEBRERO 2009	NEGATIVO	1
25 FEBRERO 2009	NEGATIVO	1

Análisis de Compuestos Orgánicos.

Se realizó el análisis de compuestos orgánicos con base en los métodos establecidos por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) de los Estados Unidos, aun cuando éstos no están normados en nuestro país. Se buscaron un total de 55 compuestos orgánicos volátiles, 18 pesticidas y 33 compuestos semivolátiles. Los resultados se muestran a continuación en las Tablas 18, 19, 20, 21, 22 y 23.

Tabla 18. Resultados de parámetros de compuestos orgánicos volátiles.

PARÁMETRO (ppb)	MUESTRA					
	24/03/07	28/06/07	04/08/07	20/08/07	28/08/07	05/09/07
Clorometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cloruro de vinilo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bromometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Triclorofluorometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,1 Dicloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cloruro de metileno	453.69	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
T-1,2 Dicloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,1, Dicloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cloroformo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,1,1 Tricloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tetracloruro de carbono	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Benceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2 Dicloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tricloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2 Dicloropropano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bromodichlorometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2-Cloroetilvinil éter	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
c-1,3 Dicloropropeno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tolueno	N.D.	N.D.	4.4	3.91	N.D.	N.D.
t-1,3 Dicloropropeno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,1,2 Tricloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tetracloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Dibromoclorometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Clorobenceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Etilbenceno	1.15	3.12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

NOTA: ND = No Detectado

Tabla 19. Resultados de parámetros de compuestos orgánicos volátiles (continuación).

PARÁMETRO (ppb)	MUESTRA				
	13/09/07	21/09/07	29/09/07	10/12/07	18/12/07
Clorometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cloruro de vinilo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bromometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Triclorofluorometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,1 Dicloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cloruro de metileno	N.D.	N.D.	N.D.	527.95	353.71
T-1,2 Dicloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,1, Dicloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cloroformo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,1,1 Tricloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tetracloruro de carbono	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Benceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2 Dicloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tricloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2 Dicloropropano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bromodiclorometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2-Cloroetilvinil éter	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
c-1,3 Dicloropropeno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tolueno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
t-1,3 Dicloropropeno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,1,2 Tricloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tetracloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Dibromoclorometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Clorobenceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Etilbenceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

NOTA: ND = No Detectado

Tabla 20. Resultados de parámetros de compuestos orgánicos volátiles (continuación).

PARÁMETRO (ppb)	MUESTRA					
	24/03/07	28/06/07	04/08/07	20/08/07	28/08/07	05/09/07
Bromoformo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,1,2,2 Tetracloroetano	N.D.	N.D.	5.98	N.D.	N.D.	N.D.
1,3 Diclorobenceno	4.38	3.51	1.62	0.8	3.06	N.D.
1,4 Diclorobenceno	5	4.62	2.16	1.14	3.09	N.D.
1,2 Dibromoetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2 Diclorobenceno	N.D.	4.61	1.57	0.98	2.95	N.D.
cis-1,4-Dicloro-2-buteno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
trans-1,4-Dicloro-2-buteno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2-Dibromo-3-cloropropano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Acetona	40	71.82	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Acetonitrilo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Acrilonitrilo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2-Butanona	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Alcohol isobutilico	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2-Hexanona	N.D.	N.D.	7.98	N.D.	N.D.	N.D.
4-Metil-2-pentanona	N.D.	N.D.	12.47	N.D.	N.D.	N.D.
Dibromometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1.1.1.2-Tetracloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Diclorodifluorometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cloruro de alilo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2,3-Triclorobenceno	N.D.	N.D.	3.99	2.25	4.33	N.D.
Metacrilonitrilo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Metil metacrilato	N.D.	N.D.	3.13	N.D.	N.D.	N.D.
Etil metacrilato	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2-Picoline	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Estireno	N.D.	4.7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
m-Xileno	N.D.	3.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
o-Xileno	N.D.	7.05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Disulfuro de carbono	N.D.	1.9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

NOTA: ND = No Detectado

Tabla 21. Resultados de parámetros de compuestos orgánicos volátiles (continuación).

PARÁMETRO (ppb)	MUESTRA				
	13/09/07	21/09/07	29/09/07	10/12/07	18/12/07
Bromoformo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,1,2,2 Tetracloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,3 Diclorobenceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,4 Diclorobenceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2 Dibromoetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2 Diclorobenceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
cis-1,4-Dicloro-2-buteno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
trans-1,4-Dicloro-2-buteno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2-Dibromo-3-cloropropano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Acetona	N.D.	N.D.	N.D.	29.4	43.96
Acetonitrilo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Acilonitrilo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2-Butanona	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Alcohol isobutilico	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2-Hexanona	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4-Metil-2-pentanona	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Dibromometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1.1.1.2-Tetracloroetano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Diclorodifluorometano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cloruro de alilo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2,3-Triclorobenceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Metacrilonitrilo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Metil metacrilato	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Etil metacrilato	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2-Picoline	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Estireno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
m-Xileno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
o-Xileno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Disulfuro de carbono	N.D.	N.D.	N.D.	21.22	132.02

NOTA: ND = No Detectado

Tabla 22. Resultados de parámetros de pesticidas.

PARÁMETRO (ppb)	MUESTRA			
	17/06/07	4/8/2007	20/08/07	28/08/07
alpha-BCH	ND	ND	ND	ND
beta-BCH	ND	ND	ND	ND
gamma-BCH	ND	ND	ND	ND
delta-BCH	ND	110.8928	ND	ND
Heptacloro	ND	ND	ND	ND
Aldrin	ND	ND	ND	ND
Heptacloro epóxido	ND	ND	ND	ND
gamma-Clordano	ND	ND	ND	ND
Endosulfan I	ND	ND	ND	ND
alfa-Clordano	ND	ND	ND	ND
4,4'-DDE/Dieldrin	ND	ND	ND	ND
Endrin	ND	ND	ND	ND
Endosulfan II	ND	ND	ND	ND
4,4'-DDD	ND	ND	ND	ND
Endrin aldehído	ND	ND	ND	ND
Endosulfan sulfato	ND	ND	ND	ND
4,4'-DDT	ND	ND	ND	ND
DBC	ND	ND	ND	ND

NOTA: ND = No Detectado

Tabla 23. Compuestos orgánicos semivolátiles, periodo 2008 – 2009.

COMPUESTO (ppb)	MUESTRAS (2008)									
	05 marzo	25 marzo	24 abril	09 mayo	24 mayo	08 junio	23 junio	07 agosto	06 sept.	06 oct.
Di-N-Octilftalato	9.07	2.22	0.87	2.54	0.68	0.39	0.06	0.08	0.39	1.31
Bis(2-Etilhexil)ftalato	8.3	17.46	11.09	104.74	20.59	12.86	33.42	48.17	33.3	95.8
3,3 diclorobencidina	9.2	1.66	1.54	0.66	0.46	0.33	0.04	0.03	0.03	N.D.
Butilbencilfitalato	0.43	0.35	0.02	0.13	0.68	0.62	0.69	0.98	0.02	0.02
Bencidina	1.46	0.25	0.03	0.03	0.02	N.D.	N.D.	0.01	N.D.	N.D.
Di-N-Butilftalato	5.3	0.73	2.5	5.64	7.3	5.13	2.79	3.9	3.83	5
Pentaclorofenol	0.07	N.D.	N.D.	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hexaclorobenceno	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4-Bromofenil fenil éter	0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2 Difenilhidracina	0.01	0.02	0.07	0.41	0.02	0.06	0.02	0.07	0.04	0.05
N-Nitrosodifenilamina	0.1	0.02	0.3	0.01	0.23	N.D.	0.01	N.D.	N.D.	0.02
4,6 Dinitro-2-Metilfenol	0.42	N.D.	0.09	0.02	0.06	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4-Clorofenil fenileter	0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Di-Etilftalato	0.21	0.23	N.D.	0.54	0.94	0.86	1	1.41	0.33	0.48
2,4 Dinitrotolueno	0.01	N.D.	0.02	0.02	0.01	N.D.	0.01	0.1	0.01	0.01
2,6 Dinitrotolueno	1.53	0.27	0.27	12.33	0.82	0.54	0.31	0.25	0.27	12.38
Dimetilftalato	0.01	0.02	0.01	0.05	0.05	0.02	0.02	N.D.	0.01	0.04
2-Fluorobifenilo	85.68	14.12	20.43	3.4	35.06	23.22	3.77	2.98	2.45	3.28
2,4,6 Triclorofenol	0.2	0.01	N.D.	0.09	0.03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.03
4-Cloro-3-metil fenol	0.58	0.15	0.02	0.1	0.12	0.06	0.06	0.04	0.03	0.04
2,4 Diclorofenol	0.28	0.04	0.01	0.35	0.04	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	0.25
Bis(2-Cloroetoxi) metano	0.25	0.05	0.03	1.11	0.08	0.04	0.01	0.03	0.01	1.21
2,4 Dimetilfenol	0.27	0.05	0.02	0.08	0.03	0.03	0.02	0.02	N.D.	0.01
2 Nitrofenol	0.08	0.01	N.D.	0.04	0.02	0.01	0.01	N.D.	0.01	0.04
Isoforeno	22.07	3.65	5.02	0.12	11.14	0.18	0.05	0.03	0.11	0.11
Nitrobenceno	0.15	0.04	0.08	0.67	0.27	0.23	0.19	0.12	0.02	0.73
Hexacloroetano	1.32	0.29	0.06	0.08	0.1	0.17	0.21	0.15	0.01	0.11
N-Nitroso-Di N-propilamina	0.37	0.1	0.1	0.35	5.99	4.99	0.01	0.05	0.22	0.15
1,2 Diclorobenceno	0.03	0.06	0.05	0.36	0.24	0.14	0.02	0.02	0.07	0.34
1,4 Diclorobenceno	0.43	0.06	0.09	0.34	0.12	0.11	0.03	0.03	0.06	0.33
1,3 Diclorobenceno	0.46	0.06	0.1	0.37	0.01	N.D.	0.04	N.D.	0.07	0.36
Naftaleno	0.05	N.D.	N.D.	0.29	N.D.	N.D.	0.01	N.D.	N.D.	0.29
Fenol	0.09	0.05	0.06	0.36	0.17	0.12	0.02	0.01	0.02	0.33

NOTA: ND = No Detectado

Análisis de metales traza

En cuanto a los resultados de metales traza 16 muestras fueron analizadas en el periodo 2006 – 2007 (Tabla 24) buscando los 8 metales traza que se encuentran normados en la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. No se tienen resultados del periodo 2008 – 2009.

Tabla 24. Resultados de análisis metales del período 2006 – 2007.

FECHA	ANALISIS (mg/L)							
	ARSENICO	CADMIO	COBRE	CROMO	MERCURIO	NIQUEL	PLOMO	ZINC
9/11/2006	0.004	< LD	0.007	0.001	< LD	0.005	0.001	0.062
22/11/06	< LD	< LD	0.03	0.003	< LD	0.05	< LD	0.043
22/03/07	< LD	< LD	< LD	< LD	NA	< LD	< LD	0.087
30/03/07	< LD	< LD	< LD	< LD	NA	< LD	< LD	0.126
10/4/2007	< LD	< LD	0.008	< LD	< LD	< LD	< LD	0.075
14/04/07	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.075
22/04/07	< LD	< LD	0.004	0.006	< LD	0.009	< LD	0.093
30/04/07	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.087
8/5/2007	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.084
16/05/07	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.003	0.095
24/05/07	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.076
1/6/2007	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.063
9/6/2007	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.057
29/09/07	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.006	0.001	< LD
31/10/07	< LD	< LD	0.007	0.02	< LD	0.005	0.003	0.094
24/11/07	< LD	< LD	< LD	0.004	< LD	< LD	0.001	0.067
NOM-001	0.1	0.1	4	0.5	0.005	2	0.2	10

NOTA: < LD = Valor por debajo del límite de detección.

Análisis de toxicidad

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de sensibilidad, exploratoria y definitivas.

Prueba de Sensibilidad.

Los cálculos son realizados en base a la metodología del Método Probit, según lo indica la Norma NMX-AA-087-1995-SCFI, los resultados de esta se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Resultados de mortalidad prueba de sensibilidad.

PRUEBA DE SENSIBILIDAD			
DILUCION SDS (ppm)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
2	20	0	0
4	20	0	0
6	20	2	10
8	20	3	15
16	20	16	80
32	20	19	95

Nota: Se realizó muestra testigo, la cual no presentó mortalidad.

Para poder obtener el valor de la Concentración Letal media, se debe realizar una gráfica del logaritmo de la concentración del tóxico de referencia (SDS) versus el valor de Probit empírico, el cual se calcula para cada dilución, extrapolando el porcentaje de mortalidad en la Tabla 5 de la Norma NMX-AA-087-1995-SCFI. Dichos datos se muestran en la Tabla 26:

Tabla 26. Datos de probit empírico para la prueba de sensibilidad.

PRUEBA DE SENSIBILIDAD	
PROBIT EMPIRICO (PE)	Log ₁₀ CONCENTRACION
0	0.3
0	0.6
3.72	0.78
3.96	0.9
5.84	1.2
6.64	1.5

El valor de la CL₅₀ se obtiene trazando una recta perpendicular al eje de “Probit empírico” que pasa por el valor igual a 5 y en el punto de intersección con la recta se extrapola en el eje del “logaritmo de la concentración” (figura 10). En este caso, para un valor del Probit empírico igual a 5, el logaritmo de la concentración correspondiente será 1,085. Luego, aplicando el antilogaritmo se obtiene la CL₅₀, que para este caso tiene un valor de 12.16 mg/L.

PRUEBA DE SENSIBILIDAD

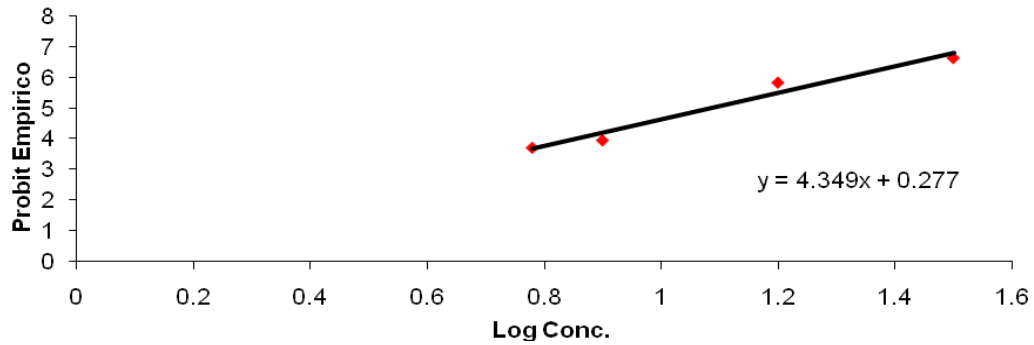


Figura 10. Gráfica para cálculo de CL_{50} para ensayo de sensibilidad.

Prueba exploratoria.

Para poder determinar el intervalo de concentraciones a utilizarse en las pruebas definitivas la norma NMX-AA-087-1995-SCFI establece se deben realizar una prueba exploratoria con concentraciones de 6, 12, 25, 50 y 100 % V/V. Los resultados se muestran a continuación en la Tabla 27.

Tabla 27. Resultados de mortalidad prueba exploratoria.

PRUEBA EXPLORATORIA			
CONCENTRACIÓN (ppm)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	12	0	0
6	12	0	0
12	12	0	0
25	12	0	0
50	12	0	0
100	12	0	0

Por los resultados obtenidos se determinó utilizar un rango de concentraciones de 50 a 100 % para los ensayos definitivos.

Pruebas definitivas.

A continuación se muestran los cálculos basados en lo indicado en la Norma NMX-AA-087-1995-SCFI, para obtener la Concentración Letal media (CL_{50}). El Método Aplicado es el de Unidades Probabilísticas (Probit). Conociendo el valor de la CL_{50} se calculan las Unidades de Toxicidad aguda (UTa) y finalmente los Criterios de Máxima Concentración (CMC) del efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual "Rosarito Norte".

A modo de ejemplo y para una mejor comprensión del procedimiento se muestra el desarrollo del Método Probit (indicado por la norma aplicada) para determinar la CL_{50} de la muestra 2 (correspondiente al 9 de Abril, ver Tabla 28) y finalmente la aplicación de las relaciones que permiten obtener sus Unidades de Toxicidad aguda y Criterios de Máxima Concentración.

Los resultados completos de las 17 muestras se presentan en el anexo I y el concentrado de las mismas en la Tabla 31.

Tabla 28. Resultados de mortalidad prueba definitiva.

PRUEBA DEFINITIVA 09/04/08			
CONCENTRACION (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	12	0	0
50	12	0	0
60	12	6	50
70	12	8	66.7
80	12	9	75
90	12	11	91.7
100	12	12	100

En primer lugar se debe calcular la Concentración Letal media (CL_{50}) para lo cual es importante recordar que una de las restricciones del método Probit, es que para el cálculo de la CL_{50} deben obtenerse valores intermedios entre 0 y 100% de mortalidad, por lo que en este caso, los valores correspondientes a la concentración 50 y 100 % no se consideran para los cálculos posteriores.

A cada porcentaje de mortalidad le corresponde un valor de Probit Empírico, el cual se encuentra en la Tabla 5 de la Norma NMX-AA-087-1995-SCFI. Los datos del Probit Empírico para cada dilución se calculan extrapolando el porcentaje de mortalidad en dicha tabla. Luego se debe obtener el valor del Probit Calculado o esperado para cada concentración, el cual se obtiene a partir del ajuste de la recta (utilizando su ecuación: $y = mx + b$) que se forma al graficar los datos del logaritmo de cada concentración versus los valores de Probit Empírico (figura 11). Ambos resultados se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29. Resultados de probit empírico y calculado.

CONCENTRACION (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACION	PROBIT EMPIRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
60	1.78	5	4.95
70	1.84	5.44	5.41
80	1.9	5.67	5.88
90	1.95	6.41	6.27

Con los datos del logaritmo de la concentración de la muestra 2 y el Probit Empírico se realiza la Figura 9 que va a permitir obtener el valor de la CL_{50} mediante el trazo de una recta perpendicular al eje de "Probit Empírico" que pasa por el valor 5 y se extrapola en el eje del "logaritmo de la concentración", donde el antilogaritmo de ese valor representa la CL_{50} .

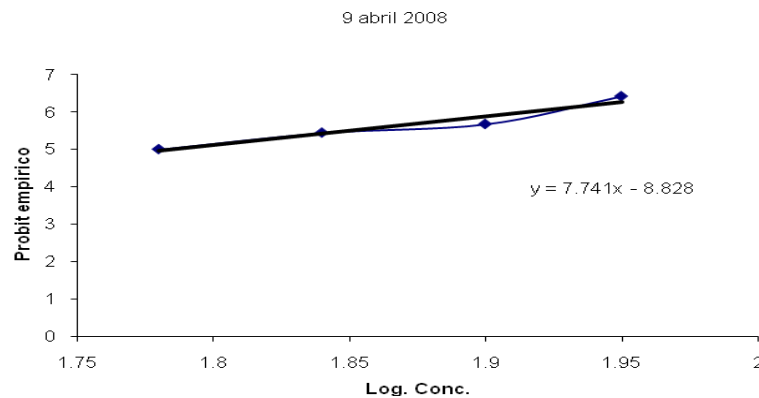


Figura 11. Grafica para cálculo de CL_{50} para ensayo definitivo.

Para $y = 5$ $x = 1.786$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 1.786 = 61.11\%$$

Una vez obtenido el valor de la Concentración Letal media, se debe obtener su intervalo de confianza, el que la norma aplicada representa con la siguiente relación: **Intervalo de confianza = (CL₅₀) (Error Patrón) (ln 10)**

El valor del Error Patrón del logaritmo de la concentración que establece el método Probit para el cálculo del intervalo de confianza se obtiene con la ecuación (1):

$$\text{Error Patrón} = \left[S^2 \left[\frac{1}{\sum N_w} + \frac{\sum N_w(m-z)^2}{\sum N_w(\sum N_w X^2) - (\sum N_w X)^2} \right] \right]^{0.5} \quad (1)$$

En donde:

S = Intervalo de incremento.

m = valor del eje x correspondiente al Probit igual a 5.

X = \log_{10} de la concentración.

N = Número de organismos de prueba.

w = Factor ponderado (Tabla 6 de la Norma NMX-AA-087-1995-SCFI)

$$z = \frac{\sum N_w X}{\sum N_w}$$

Cada uno de los datos requeridos para el cálculo del Error Patrón se detalla a continuación y se resumen en la Tabla 30:

- El intervalo de incremento (S), se obtiene con la siguiente relación:

$$S = \frac{X_2 - X_1}{PC_2 - PC_1} = \frac{1.95 - 1.78}{6.27 - 4.95} = 0.1287$$

Donde:

- X_1 y X_2 son los valores más bajos y más altos respectivamente, obtenidos del logaritmo de la concentración (X).
- PC_1 y PC_2 son los valores más bajos y más altos respectivamente obtenidos a partir del Probit Calculado (PC).

- El valor de “m” corresponde al valor del eje del “logaritmo de la concentración” correspondiente al Probit Empírico igual a 5 en la gráfica 2. Para la muestra 2 tiene un valor igual a 1,78.
- El factor ponderado “w”, se obtiene para cada dilución extrapolando el Probit Calculado (PC) en la Tabla 6 de la Norma NMX-AA-087-1995-SCFI.
- Para obtener los productos indicados (Nw, NwX y NwX²) se requieren los datos de los números de organismos utilizados en el ensayo (N), el factor ponderado (w) y el logaritmo de la concentración (X), todos estos son valores conocidos.

- El valor de “z” se obtiene con la relación $z = \frac{\sum N_w X}{\sum N_w}$. Para la muestra 2:

$$z = 45,454/24,528=1,85$$

Tabla 30. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón.

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
0.128	1.78	12	4.95	0.637	7.644	13.606	24.21925	1.786	1.85
	1.84	12	5.41	0.601	7.212	13.270	24.416947		
	1.9	12	5.88	0.47	5.64	10.716	20.3604		
	1.95	12	6.27	0.336	4.032	7.8624	15.33168		
Σ=					24.528	45.4548	84.328277		

Al resolver la ecuación 1 para la muestra 2, se obtiene un valor de Error Patrón igual a 0,038.

Con el valor del Error Patrón se calcula el intervalo de confianza de la Concentración Letal media, el cual, como se dijo anteriormente, está dado por la ecuación (2):

$$\text{Intervalo de confianza } IC = (CL_{50})(ErrorPatrón)(Ln10) \quad (2)$$

Para la muestra 2 el intervalo de confianza al 95 % tiene un valor de 5,34

Por lo tanto, la Concentración Letal media obtenida para la muestra 2, con el intervalo correspondiente (con un 95 % de confiabilidad estadística) es:

$$CL_{50} = 61.11 \% \pm 5,34 \%$$

Luego se calcula las Unidades de Toxicidad aguda (UTa) según la ecuación (3).

$$UTa = \frac{100}{CL_{50}} \quad (3)$$

Para la muestra 2 el valor de la UTa es 1,63.

Finalmente, el valor del Criterio de Máxima Concentración (CMC) se obtiene a partir de la ecuación (4)

$$CMC = \frac{UTa}{DCI} \quad (4)$$

El valor de DCI corresponderá a la mayor concentración de las consideradas en el ensayo.

Para la muestra 2:

$$CMC = 1,67 / 90 = 0,018$$

El mismo procedimiento se siguió para obtener los resultados de todas las muestras del período evaluado, los cuales se indican a continuación en la Tabla 31.

Tabla 31. Resultados de bioensayos de toxicidad periodo 2008 – 2009.

Muestra	CL ₅₀	Uta	CMC
25 MARZO 2008	>100	< 1	< 0.01
09 ABRIL 2008	61	1.639	0.016
24 ABRIL 2008	55	1.818	0.018
09 MAYO 2008	>100	< 1	< 0.01
24 MAYO 2008	>100	< 1	< 0.01
08 JUNIO 2008	>100	< 1	< 0.01
08 JULIO 2008	>100	< 1	< 0.01
06 SEPTIEMBRE 2008	>100	< 1	< 0.01
21 SEPTIEMBRE 2008	>100	< 1	< 0.01
06 OCTUBRE 2008	>100	< 1	< 0.01
21 OCTUBRE 2008	42	2.380	< 0.01
05 NOVIEMBRE 2008	>100	< 1	< 0.01
19 NOVIEMBRE 2008	>100	< 1	< 0.01
04 DICIEMBRE 2008	>100	< 1	< 0.01
19 ENERO 2009	>100	< 1	< 0.01
03 FEB. 2009	>100	< 1	< 0.01
25 FEB. 2009	>100	< 1	< 0.01

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Variación de los parámetros fisicoquímicos por periodo.

Como puede observarse en las tablas 32 y 33 los componentes mayoritarios de sólidos disueltos totales son los cloruros y sulfatos como sales de sodio, es decir, cloruro de sodio y sulfato de sodio; además están las sales provenientes de calcio y magnesio, las cuales están reflejadas en la dureza total y también deben considerarse los carbonatos y bicarbonatos que solo fueron evaluados en la segunda parte del proyecto (Tabla 33) en forma de alcalinidad total y acidez total.

También podemos observar (Tabla 32) que parámetros como pH, fenoles totales, sustancias activas al azul de metileno (SAAM'S) y cianuro no presentan marcada variación a lo largo de los dos periodos.

Tabla 32. Análisis estadístico de parámetros fisicoquímicos 2006 - 2007

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VARIANZA	NUM. MUESTRAS
pH ¹	6.45	7.7	7.43	0.2696	0.072	36
Conductividad ³	1630	2240	2050.28	131.29	17238.15	35
Color ²	40	255	73.13	41.06	1686	36
Turbidez ⁴	<14	25	19.2	3.89	15.2	5*
SDT	1100	2115	1375.73	199.36	39744.5	34**
SST	< 10	138	57.5	54.28	2947	4*
Dureza total ⁵	110	1394	503.91	195.39	38180.02	36
Cloruros	140	362	286.44	40.669	1653.968	36
Fluoruro	0.09	2.2	1.22	0.517	0.268	35**
Fenoles totales	< 0.001	0.006	0.0029	0.0016	2.59E-06	21*
SAAM'S	0.03	1	0.198	0.19	0.036	35**
Cloro total	< 0.01	2.2	0.177	0.381	0.145	31*
Cloro libre	< 0.02	1.6	0.131	0.303	0.091	26*
Cianuro	< 0.01	0.2	0.028	0.033	0.001	31*
Nitrato	0.01	3	0.446	0.708	0.502	36
Nitrito	< 0.001	2.5	0.202	0.441	0.194	33*
Amoniaco	0.25	110.8	13.88	21.9	479.62	36
TKN	1.9	86.3	29.19	20.88	436.01	36
Orto fosfato	2.4	33.6	13.61	10.35	107.2	36
Fosforo total	15.5	38.2	28.8	5.85	34.31	29**
Sulfatos	197	1200	461.3	197.15	38869.7	36
Grasas y Aceites	< 5	270	63.38	67.69	4583.075	18*
DBO ₅	< 5	41	16.5	16.46	271	4*
DQO	30	363	69.75	55.44	3074.02	36

NOTA: * El número de muestra corresponde solo a aquellas cuyo resultado es mayor al límite de detección.

** El número de muestra corresponde a aquellas que fueron analizadas.

1. Las unidades corresponden a unidades de pH.

2. Las unidades corresponden a unidades Co-Pt.

3. Las unidades corresponden a microsiems/cm.

4. Las unidades corresponden a Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

5. Las unidades corresponden a mg/L como CaCO₃.

En cuanto a los parámetros tales como conductividad, color, turbidez, sólidos disueltos totales (SDT), dureza total, cloruros, fluoruro y sulfatos (Tabla 33) presentan varianza muy alta representando esto que el proceso no es capaz de corregir los grandes cambios que debe tener el influente. Es prudente recordar que la PTARRN solo cuenta con tratamiento primario y secundario y las concentraciones de estos parámetros son removidos con tratamientos terciarios.

Tabla 33. Análisis estadístico de parámetros fisicoquímicos 2008 - 2009

PARÁMETRO (mg/L excepto cuando se indique)	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	VARIANZA	NUM. MUESTRAS
pH ¹	6.04	7.83	7.19	0.43	0.18	22
Conductividad ³	1804	2280	2035.18	137.36	18868.16	22
Color ²	3	860	102.18	185.25	34320.82	22
Turbidez ⁴	22	256	99	112.02	12550	4*
SDT	1197	1733	1351.95	112.94	12755.85	22
SST	10	57	33.5	33.23	1104.5	2*
Dureza total ⁵	396	560	461.4	52.43	2749.77	22
Cloruros	274	351	299.63	19.32	373.57	22
Fluoruro	0.063	2.2	1.13	0.5	0.25	22
Fenol total	0.001	0.015	0.004	0.004	1.70E-05	15*
SAAM'S	0.001	0.17	0.07	0.039	0.0015	22
cloro total	0.03	17	1.18	3.7	13.73	22
Cloro libre	0.01	5.5	0.46	1.45	2.11	14*
Cianuro	0.003	0.091	0.039	0.02	0.00043	21
DBO	11	180	35.78	47.52	2258.91	15* **
DQO	40	578	243.61	127.8	16335.15	21
Alcalinidad ⁵	40	284	181.59	72.45	5250.34	22
Acidez ⁵	4	210	100.36	50.4	2540.33	22
Nitrato	0.02	55	5.19	11.6	134.6	22
Nitrito	0.003	0.5	0.1	0.13	0.018	21*
Amoniaco	0.077	33.35	4.77	7.64	58.41	22
TKN	1.03	98	22.15	28.43	808.79	22
Orto fosfato	14.5	54.3	26.27	9.61	92.48	22
Fosforo total	14.64	79	30.56	13.63	186.02	22
Sulfatos	110	520	430.72	89.44	8000.2	22
Grasas y Aceites	16	126	54.93	37.1	1376.59	16*

NOTA: * El número de muestra corresponde solo a aquellas cuyo resultado es mayor al límite de detección.

** El número de muestra corresponde a aquellas que fueron analizadas.

1. Las unidades corresponden a unidades de pH.
2. Las unidades corresponden a unidades Co-Pt.
3. Las unidades corresponden a microsiems/cm.
4. Las unidades corresponden a Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).
5. Las unidades corresponden a mg/L como CaCO₃.

También podemos observar que la cantidad de materia orgánica es mínima, en cuanto al DBO_5 y esta en su mayoría no representa problema para el reuso del agua residual tratada. El alto intervalo en los resultados esta asociado al incremento que presentan las grasas y aceites, ya que la planta en un inicio del estudio removía estas del influente o eran removidas en las fuentes de descarga (utilizando trampas de grasas en restaurantes); pero al no continuar con esta remoción las grasas y aceites afectaron el proceso de oxigenación en el tratamiento, por lo que el DBO_5 y DQO se incrementaron en el periodo 2008 - 2009.

En relación a la concentración de materia nitrogenada (TKN y amoníaco) podemos observar en el periodo 2006-2007 (Tabla 32), que la mayor cantidad de nitrógeno es proteico ya que el proceso de nitrificación es muy pobre y aunque en el periodo 2008-2009 (Tabla 33) se presento una mala oxigenación (ya discutida) durante el proceso de tratamiento la nitrificación aumentó, obteniendo valores de nitratos de hasta 55 mg/L cuando el TKN tiene valores de 98 mg/L en el efluente como máximo.

Por último, podemos observar que la planta de tratamiento Rosarito Norte no es capaz de eliminar el fósforo presente, y que la mayoría del fósforo presente es fosfato libre o también llamado ortofosfato.

Variación mensual de los parámetros fisicoquímicos.

En las Tablas 34, 35, 36 y 37 observamos que los parámetros como Color, SDT, Cloruros, Sulfatos y amoníaco rebasan prácticamente cada mes de los dos periodos evaluados los límites establecidos en la norma mexicana NOM-127-SSA1-1994 (para reuso directo), y son Dureza total, Turbidez, Fluoruros, Cianuros y Fenoles aquellos que rebasan algunos meses de los periodos los límites de esta norma, debiéndose esto posiblemente a descargas indebidas de industrias cercanas a la región y/o a periodos durante y posteriores a las temporadas de lluvia (en el caso de turbidez y dureza), ya que en estos periodos se incrementa el arrastre de materia orgánica hacia la planta de tratamiento.

En lo concerniente a Cloro libre observamos que este solo rebasa el límite de 0.2-1.5 mg/L en los meses de febrero de 2007 (Tabla 35) y abril de 2008 (Tabla 36). Los parámetros como Nitritos y Nitratos nos indican nuevamente la pobre nitrificación, ya que solo rebasan

los límites unos meses en los dos periodos, cuando los valores de amoniaco reportados por la CESPT para el influente de la PTARRN es de 38 mg/L (promedio anual).

Tabla 34. Promedios mensuales del 2006 del efluente de la PTARRN

PARAMETRO	2006	NORMATIVIDAD	
	NOV	NOM-001	NOM-127
pH (unidades de pH)	7.6	5.0-10.0	6.5-8.5
CONDUCTIVIDAD (microsiemes/cm)	1730	NRM	NRM
COLOR (unidades Co-Pt)	50.5	NRM	20
TURBIDEZ (Unidades Nefelométricas de Turbidez)	< 14	NRM	5
SDT	1200	NRM	1000
SST	32.5	40	NRM
DUREZA TOTAL (mg/L como CaCO ₃)	957	NRM	500
CLORUROS	263.5	NRM	250
FLUORUROS	1.6	NRM	1.5
FENOL TOTAL	< 0.001	NRM	0.001
SAAM'S	0.17	NRM	0.5
COLOR TOTAL	NR	NRM	NRM
COLOR LIBRE	NR	NRM	0.2-1.5
CIANURO TOTAL	< 0.01	1	0.07
NITRATO	0.03	NRM	10
NITRITO	0.03	NRM	0.05
AMONIACO	0.43	NRM	0.5
TKN	26.3	15	NRM
ORTO FOSTAFO	21.3	NRM	NRM
FOSFORO TOTAL	NR	5	NRM
SULFATOS	326.5	NRM	400
GYA	< 5	15	NRM
DBO	< 5	30	NRM
DQO	53	NRM	NRM
ALCALINIDAD T. (mg/L como CaCO ₃)	NR	NRM	NRM
ACIDEZ T. (mg/L como CaCO ₃)	NR	NRM	NRM

NOTA: Unidades en mg/L, excepto cuando se indique
NR: No Reportado, NRM: No Reportado en México

También en las Tablas 34, 35 y 36 que la cantidad de TKN se mantiene prácticamente siempre por encima de lo establecido en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 (a partir de noviembre de 2008 a febrero de 2009 la disminución es notable, ver Tabla 36 y 37).

Tabla 35. Promedios mensuales del 2007 del efluente de la PTARRN

PARAMETRO	2007											NORMATIVIDAD	
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC	NOM-001	NOM-127
pH (unidades de pH)	7.30	7.50	7.10	7.50	7.40	7.60	7.60	7.30	7.40	7.60	7.60	5.0-10.0	6.5-8.5
CONDUCTIVIDAD (microsiemes/cm)	NR	2170.0	1965.0	2167.5	2120.0	2173.3	2085.0	2017.5	2045.0	2026.6	1940.0	NRM	NRM
COLOR (unidades Co-Pt)	58.0	84.0	99.5	68.3	63.3	81.6	70.3	58.8	54.5	54.3	151.5	NRM	20
TURBIDEZ (Unidades Nefelométricas de Turbidez)	< 14	15.0	25.0	17.5	< 14	21.0	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	NRM	5
SDT	1900.0	1522.5	1339.5	1347.8	1216.6	1351.0	1327.3	1498.8	1364.3	1425.0	1337.0	NRM	1000
SST	138.0	< 10	<10	< 10	< 10	27.0	< 10	<10	< 10	< 10	< 10	40	NRM
DUREZA TOTAL (mg/L como CaCO ₃)	744.0	573.0	613.5	491.0	421.3	480.0	416.3	360.0	457.5	481.6	417.5	NRM	500
CLORUROS	289.0	218.5	290.8	286.0	282.0	229.6	313.5	308.0	305.8	283.0	329.5	NRM	250
FLUORUROS	1.4	1.3	1.1	2.0	1.1	1.2	1.7	0.9	1.0	0.2	1.4	NRM	1.5
FENOL TOTAL	< 0.001	< 0.001	0.001	0.003	0.006	0.004	0.001	0.005	0.003	0.003	0.003	NRM	0.001
SAAMS	0.36	0.25	0.18	0.17	0.19	0.40	0.14	0.09	0.12	0.42	0.12	NRM	0.5
COLOR TOTAL	NR	1.13	0.02	0.05	0.11	0.17	0.12	0.13	0.13	0.13	0.10	NRM	NRM
COLOR LIBRE	NR	1.60	< 0.02	0.03	0.04	0.13	0.08	0.09	0.07	0.08	0.03	NRM	0.2-1.5
CIANURO TOTAL	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.06	0.03	0.03	0.02	0.03	1	0.07
NITRATO	0.05	0.03	0.06	0.15	0.10	0.12	0.19	0.60	1.41	1.66	0.30	NRM	10
NITRITO	< 0.001	0.01	0.05	0.11	0.07	0.05	0.03	0.81	0.22	0.47	0.03	NRM	0.05
AMONIACO	1.3	3.1	10.8	31.9	2.9	40.0	23.5	14.0	4.6	1.2	1.0	NRM	0.5
TKN	20.6	16.4	45.5	34.7	27.5	40.6	57.2	11.3	16.9	14.4	17.8	15	NRM
ORTO FOSTAFO	12.5	8.6	9.0	6.4	5.3	7.7	4.6	11.4	27.6	29.6	27.4	NRM	NRM
FOSFORO TOTAL	NR	NR	NR	31.6	32.5	31.1	25.4	21.5	29.6	31.6	29.8	5	NRM
SULFATOS	444.0	463.5	523.3	385.0	368.0	362.0	437.3	606.5	416.8	651.6	461.5	NRM	400
GYA	< 5	< 5	< 5	6.3	67.0	27.5	47.7	162.8	64.3	6.5	< 5	15	NRM
DBO	< 5	< 5	23.5	< 5	< 5	< 5	11.0	8.0	< 5	< 5	< 5	30	NRM
DQO	38.0	58.5	67.3	151.5	66.6	64.0	61.3	57.0	48.0	68.3	56.5	NRM	NRM
ALCALINIDAD T. (mg/L como CaCO ₃)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NRM	NRM
ACIDEZ T. (mg/L como CaCO ₃)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NRM	NRM

NOTA: Unidades en mg/L, excepto cuando se indique
 NR: No Reportado, NRM: No Reportado en México

Tabla 36. Promedios mensuales del 2008 del efluente de la PTARRN

PARAMETRO	2008										NORMATIVIDAD	
	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC	NOM-001	NOM-127
pH (unidades de pH)	7.3	6.8	7.5	6.9	6.9	7.4	6.5	7.3	7.6	7.7	5.0-10.0	6.5-8.5
CONDUCTIVIDAD (microsiemes/cm)	2205.0	2230.0	2155.0	2030.0	2065.0	1920.0	1969.5	1996.0	1945.0	1804.0	NRM	NRM
COLOR (unidades Co-Pt)	52.0	54.5	80.0	72.5	81.0	43.0	443.5	205.0	46.0	3.0	NRM	20
TURBIDEZ (Unidades Nefelométricas de Turbidez)	< 14	< 14	22.0	256.0	15.0	< 14	103.0	< 14	< 14	< 14	NRM	5
SDT	1442.5	1349.5	1315.0	1309.0	1528.0	1315.0	1422.5	1328.0	1294.5	1197.0	NRM	1000
SST	< 10	< 10	< 10	33.5	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	40	NRM
DUREZA TOTAL (mg/L como CaCO ₃)	486.0	520.5	472.0	422.0	413.0	408.0	441.0	411.0	508.0	408.0	NRM	500
CLORUROS	292.5	317.0	286.0	291.0	285.0	298.0	308.0	319.0	303.0	283.0	NRM	250
FLUORUROS	1.4	1.2	1.2	0.9	1.6	1.2	1.7	1.2	0.9	0.6	NRM	1.5
FENOL TOTAL	0.001	0.002	0.010	0.002	0.002	0.002	0.004	0.008	0.009	< 0.001	NRM	0.001
SAAM'S	0.15	0.10	0.08	0.05	0.07	0.06	0.07	0.12	0.05	0.00	NRM	0.5
COLOR TOTAL	0.12	8.53	0.08	0.22	0.05	0.02	0.42	2.73	0.14	0.28	NRM	NRM
COLOR LIBRE	0.03	2.78	0.02	0.09	0.03	0.14	0.05	0.43	< 0.02	0.04	NRM	0.2-1.5
CIANURO TOTAL	0.02	0.04	0.03	0.06	0.09	0.05	0.04	0.01	0.04	0.05	1	0.07
NITRATO	0.15	1.00	0.11	1.40	28.85	14.10	0.30	2.10	2.65	5.50	NRM	10
NITRITO	0.14	0.02	0.03	0.43	0.22	< 0.001	0.03	0.05	0.03	0.01	NRM	0.05
AMONIACO	8.3	18.1	8.7	9.9	3.0	0.2	1.0	1.5	0.6	0.3	NRM	0.5
TKN	25.5	66.5	58.5	7.5	10.3	39.4	12.2	34.6	2.8	3.8	15	NRM
ORTO FOSTAFO	27.4	22.5	28.7	26.8	34.2	23.1	38.6	29.5	24.7	14.5	NRM	NRM
FOSFORO TOTAL	29.7	23.9	30.8	29.6	36.6	28.5	57.1	34.2	25.6	14.6	5	NRM
SULFATOS	463.5	450.5	444.0	512.5	200.0	461.0	453.5	481.0	456.5	342.0	NRM	400
GYA	95.0	29.5	22.0	41.0	40.5	< 5	87.5	82.5	< 5	< 5	15	NRM
DBO	18.5	16.0	22.0	117.0	23.0	16.0	87.5	28.0	18.0	11.0	30	NRM
DQO	343.0	292.0	337.5	443.5	256.5	198.0	181.0	147.0	174.0	249.0	NRM	NRM
ALCALINIDAD T. (mg/L como CaCO ₃)	271.0	243.0	258.0	245.0	160.0	94.0	64.0	203.0	185.0	132.0	NRM	NRM
ACIDEZ T. (mg/L como CaCO ₃)	126.0	92.0	104.0	120.0	32.0	61.0	100.0	164.0	100.0	84.0	NRM	NRM

NOTA: Unidades en mg/L, excepto cuando se indique
 NR: No Reportado, NRM: No Reportado en México

Tabla 37. Promedios mensuales del 2009 del efluente de la PTARRN

PARAMETRO	2009		NORMATIVIDAD	
	ENE	FEB	NOM-001	NOM-127
pH (unidades de pH)	7.2	7.5	5.0-10.0	6.5-8.5
CONDUCTIVIDAD (microsiemes/cm)	2086.0	1843.5	NRM	NRM
COLOR (unidades Co-Pt)	35.0	31.5	NRM	20
TURBIDEZ (Unidades Nefelométricas de Turbidez)	< 14	< 14	NRM	5
SDT	1397.5	1229	NRM	1000
SST	< 10	< 10	40	NRM
DUREZA TOTAL (mg/L como CaCO ₃)	488	506	NRM	500
CLORUROS	323	281	NRM	250
FLUORUROS	1.33	0.15	NRM	1.5
FENOL TOTAL	< 0.001	0.002	NRM	0.001
SAAM'S	0.03	0.05	NRM	0.5
COLOR TOTAL	0.23	0.33	NRM	NRM
COLOR LIBRE	0.01	0.02	NRM	0.2-1.5
CIANURO TOTAL	0.03	0.05	1	0.07
NITRATO	5.3	5.5	NRM	10
NITRITO	0.1	0.02	NRM	0.05
AMONIACO	0.2	1.0	NRM	0.5
TKN	1.4	2.9	15	NRM
ORTO FOSTAFO	20.7	17.3	NRM	NRM
FOSFORO TOTAL	29.9	17.4	5	NRM
SULFATOS	415.5	459.5	NRM	400
GYA	35.5	34.0	15	NRM
DBO	14.4	< 5	30	NRM
DQO	135.0	50.0	NRM	NRM
ALCALINIDAD T. (mg/L como CaCO ₃)	87.5	168.0	NRM	NRM
ACIDEZ T. (mg/L como CaCO ₃)	88.5	105.0	NRM	NRM

NOTA: Unidades en mg/L, excepto cuando se indique, NR: No Reportado, NRM: No Reportado en México

Fósforo total es un parámetro que siempre se mantiene rebasando el límite de la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-014-CONAGUA-2003 (para reuso indirecto y recarga artificial de acuíferos, respectivamente). En cuanto a Grasas y Aceites, observamos que el problema de los desarenadores y trampas de grasas fue aumentando año con año, lo que repercutió por supuesto en la Demanda Química de Oxígeno (que aunque no este regulado no es deseable su aumento) y por supuesto en la DBO5, que aunque la CESPT reporta un 95% de remoción anual de este (ver Tabla 2 y anexo V), si podemos observar el incremento paulatino y como rebasa el límite establecido en la normatividad mexicana en las Tablas 35 y 36.

Variación estacional de los parámetros fisicoquímicos.

En la Tabla 38 se observa el comportamiento estacional que tiene la planta en cuanto a los parámetros fisicoquímicos, y son pH, turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), fluoruro, fenol, SAAM'S y cianuro aquellos sin cambio significativo. Lo contrario se presenta en cloro total y cloro libre los cuales se incrementan en las temporadas secas de primavera – verano donde se requieren en mayor proporción para la desinfección y se observa, el personal tuvo problemas para determinar la cantidad exacta a añadir, ya que al estar en exceso el cloro este se combina con el nitrógeno orgánico formando las llamadas N- cloraminas.

Tabla 38. Comparación de promedios por estación de parámetros fisicoquímicos.

PARÁMETRO (mg/L excepto cuando se indique)	INVIERNO 2006-2007	PRIMAVERA - VERANO 2007	OTOÑO - INVIERNO 2007	PRIMAVERA - VERANO 2008	OTOÑO - INVIERNO 2008-2009
pH ¹	7.48	7.43	7.423	7.11	7.27
Conductividad ³	1950	2097.22	2016.15	2117.27	1953.09
Color ²	65.4	77.00	70.69	65.72	138.63
Turbidez ⁴	< 14	< 14	< 14	16.45	< 14
SDT	1469	1318.23	1418.33	1382.09	1321.81
SST	36.6	< 10	< 10	< 10	< 10
Dureza total ⁵	760.8	488.16	426.92	457.72	465.09
Cloruros	250.6	283.11	304.84	294.63	304.6
Fluoruros	1.47	1.45	0.83	1.24	1.03
Fenol total	< 0.001	0.001	0.002	0.003	0.002
SAAM'S	0.24	0.21	0.18	0.08	0.06
Cloro total	1.12	0.09	0.12	1.65	0.72
Cloro libre	0.79	0.04	0.07	0.54	0.03
Nitrato	0.03	0.12	1.05	7.01	3.38
Nitrito	0.01	0.06	0.043	0.15	0.04
Amoniaco	1.68	22.85	6.17	8.73	0.82
TKN	21.18	41.87	14.71	34.18	10.13
Orto Fosfato	14.44	6.59	23.03	27.47	25.08
Fósforo Total	NR	29.93	27.58	29.95	31.17
Sulfatos	404.8	422.89	536.23	418.36	443.09
Grasas y Aceites	< 5	13.28	64.38	38.54	38.63
DBO ₅	< 5	< 5	< 5	27.55	26.88
DQO	52.2	84	56.78	322.09	140.72
Alcalinidad ⁵	NR	NR	NR	222.54	140.63
Acidez ⁵	NR	NR	NR	91.72	109
Cianuro	0.014	0.024	0.024	0.039	0.035

NOTA: 1. Las unidades corresponden a unidades de pH. 2. Unidades Co-Pt. 3. Las unidades corresponden a microsiems/cm. 4. Las unidades corresponden a Unidades Nefelométricas de Turbidez). 5. Las unidades corresponden a mg/L como CaCO₃. NR= No Realizado

En cuanto a conductividad, SDT, dureza, cloruros y sulfatos, parámetros relacionados con la cantidad de sales presentes, se esperaba que presentaran mayor concentración en las temporadas de primavera – verano, y aunque en algunos de ellos es así, en la mayoría no, debiéndose esto a las lluvias que se presentan y a los posibles escurrimientos que arrastran sales.

En cuanto a los compuestos nitrogenados presentes se observa en la tabla 33 que es en las temporadas de primavera – verano cuando este se incrementa, debido a las actividades antropogénicas y hábitos de alimentación propios de dicha estación. Un comportamiento similar presenta fósforo.

En la tabla 39 que muestra la comparación de los promedios estacionales con la normatividad mexicana se puede observar que pH, fluoruro, fenol, SAAM'S, cloro libre, nitrato, SST, DBO₅ y cianuro no rebasan los límites máximos permisibles. Y son cloruros, amoníaco, nitritos, TKN (en primavera-verano 2007), fósforo total y sulfatos aquellos que si rebasan estos límites; por su parte dureza (excepto invierno 2007) y nitrato (en primavera-verano 2008) presentan valores promedios muy cercanos a estos límites. Parámetros como conductividad, color, cloro total y fósforo libre no se encuentran normados pero si presentan valores promedios altos que deben ser considerados.

Tabla 39. Comparación de promedios por estación y normas mexicanas.

PARÁMETRO (mg/L. excepto cuando se indique)	INVIERNO 2006-2007	PRIMAVERA - VERANO 2007	OTOÑO - INVIERNO 2007	PRIMAVERA - VERANO 2008	OTOÑO - INVIERNO 2008-2009	NOM-001- SEMARNAT- 1996	NOM-003- ECOL- 1996	NOM-127- SSA1- 1994
pH ¹	7.48	7.43	7.42	7.11	7.27	NRM	NRM	6.5-8.5
CONDUCTIVIDAD ³	1950	2097.22	2016.15	2117.27	1953.09	NRM	NRM	NRM
COLOR ²	65.4	77.00	70.69	65.72	138.63	NRM	NRM	NRM
TURBIDEZ ⁴	< 14	< 14	< 14	16.45	< 14	NRM	NRM	NRM
SDT	1469	1318.23	1418.33	1382.09	1321.81	NRM	NRM	1000
SST	36.6	< 10	< 10	< 10	< 10	75	30	NRM
DUREZA TOTAL ⁵	760.8	488.16	426.92	457.72	465.09	NRM	NRM	500
CLORUROS	250.6	283.11	304.84	294.63	304.6	NRM	NRM	250
FLUORUROS	1.475	1.45	0.83	1.24	1.03	NRM	NRM	1.5
FENOL TOTAL	< 0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	NRM	NRM	0.001
SAAM'S	0.237	0.206	0.176	0.084	0.056	NRM	NRM	0.5
CLORO TOTAL	1.12	0.09	0.12	1.65	0.72	NRM	NRM	NRM
CLORO LIBRE	0.79	0.04	0.07	0.54	0.03	NRM	NRM	0.2-1.5
NITRATO	0.03	0.12	1.05	7.01	3.38	NRM	NRM	10
NITRITO	0.01	0.06	0.43	0.15	0.04	NRM	NRM	0.05
AMONIACO	1.68	22.85	6.17	8.73	0.82	NRM	NRM	0.5
TKN	21.18	41.87	14.71	34.18	10.13	40	NRM	NRM
ORTO FOSFATO	14.44	6.59	23.03	27.46	25.08	NRM	NRM	NRM
FOSFORO TOTAL	NR	29.94	27.58	29.95	31.17	20	NRM	NRM
SULFATOS	404.8	422.89	536.23	418.36	443.09	NRM	NRM	NRM
GyA	< 5	13.28	64.38	38.54	38.63	15	15	NRM
DBO ₅	< 5	< 5	< 5	27.55	26.88	75	30	NRM
DQO	52.2	84	56.77	322.09	140.72	NRM	NRM	NRM
ALCALINIDAD ⁵	NR	NR	NR	222.54	140.63	NRM	NRM	NRM
ACIDEZ ⁵	NR	NR	NR	91.72	109	NRM	NRM	NRM
CIANURO	0.014	0.024	0.024	0.039	0.035	2	2	0.07

NOTA: 1. Las unidades corresponden a unidades de pH. 2. Las unidades corresponden a unidades Co-Pt. 3. Las unidades corresponden a microsiems/cm. 4. Las unidades corresponden a Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). 5. Las unidades corresponden a mg/L como CaCO₃.

NR= No Reportado

NRM= No Regulado en México.

En la Tabla 40 resaltan nuevamente conductividad, SDT, sulfatos, amoniac, nitritos, nitratos, color, dureza, cloruros, fluoruro y SAAM'S, como los parámetros que rebasan los valores reportados (CESPT) para las presas de la región; pero ninguno de ellos rebasa el promedio o máximo reportado para el Valle de las Palmas (IMTA).

Tabla 40. Comparación de promedios por estación y cuerpos receptores.

PARAMETRO (mg/L excepto cuando se indique)	INVIERNO 2006-2007	PRIMAVERA - VERANO 2007	OTOÑO - INVIERNO 2007	PRIMAVERA - VERANO 2008	OTOÑO - INVIERNO 2008-2009	PRESA CARRIZO (*)	PRESA ABELARDO L. RODRIGUEZ (*)	VALLE DE LAS PALMAS		
								PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO
pH ¹	7.48	7.43	7.42	7.11	7.27	7.87	7.82	8.01	7.45	8.49
CONDUCTIVIDAD ³	1950	2097.22	2016.15	2117.27	1953.09	1085	786.5	2457.67	574	9340
COLOR ²	65.4	77.00	70.69	65.72	138.63	42	56	NR	NR	NR
TURBIDEZ ⁴	< 14	< 14	< 14	16.45	< 14	< 14	< 14	NR	NR	NR
SDT	1469	1318.23	1418.33	1382.09	1321.81	533	463	2030	470	7740
SST	36.6	< 10	< 10	< 10	< 10	NR	NR	NR	NR	NR
DUREZA TOTAL ⁵	760.8	488.17	426.92	457.72	465.09	281.66	215.66	894.9	227.6	4034.1
CLORUROS	250.6	283.11	304.84	294.63	304.6	166.25	124	767.6	121	3537.9
FLUORUROS	1.475	1.45	0.835	1.24	1.03	0.66	0.55	NR	NR	NR
FENOL TOTAL	< 0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	NR	NR	NR	NR	NR
SAAM'S	0.237	0.206	0.176	0.084	0.056	0.035	0.044	NR	NR	NR
COLORO TOTAL	1.12	0.09	0.12	1.65	0.72	NR	NR	NR	NR	NR
COLORO LIBRE	0.79	0.04	0.07	0.54	0.03	NR	NR	NR	NR	NR
NITRATO	0.03	0.12	1.05	7.01	3.38	1.55	2.3	7.42	1.7	30.5
NITRITO	0.01	0.05	0.43	0.15	0.04	0.01	0.04	NR	NR	NR
AMONIACO	1.68	22.85	6.17	8.73	0.82	0.2	0.5	NR	NR	NR
TKN	21.18	41.87	14.71	34.18	10.13	NR	NR	NR	NR	NR
ORTO FOSFATO	14.44	6.59	23.03	27.47	25.08	NR	NR	NR	NR	NR
FOSFORO TOTAL	NR	29.93	27.58	29.95	31.17	NR	NR	NR	NR	NR
SULFATOS	404.8	422.89	536.23	418.36	443.09	344	99	274.2	43	783
GyA	< 5	13.27	64.38	38.54	38.63	NR	NR	NR	NR	NR
DBO ₅	< 5	< 5	< 5	27.55	26.88	NR	NR	NR	NR	NR
DQO	52.2	84	56.77	322.09	140.72	NR	NR	NR	NR	NR
ALCALINIDAD ⁵	NR	NR	NR	222.54	140.63	135	141	345.08	214.9	602.6
ACIDEZ ⁵	NR	NR	NR	91.72	109	NR	NR	NR	NR	NR
CIANURO	0.013	0.024	0.024	0.039	0.035	< 0.015	< 0.015	NR	NR	NR

NOTA: (*) Valores reportados de julio de 2005 a junio de 2006 por la CESPT

1. Las unidades corresponden a unidades de pH.
 2. Las unidades corresponden a unidades Co-Pt.
 3. Las unidades corresponden a microsiems/cm.
 4. Las unidades corresponden a Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).
 5. Las unidades corresponden a mg/L como CaCO₃.
- NR= No Reportado

Variación de parámetros microbiológicos y huevos de Helminto.

Los resultados han sido muy buenos en cuanto a estos parámetros ya que solo 1 de 21 muestras durante el periodo 2006 – 2007 y 1 de 13 muestras durante el periodo 2008 – 2009 rebasaron los límites de 1000 NMP/100 ml (NOM-001-SEMARNAT-1996) y de 240 NMP/100 ml (NOM-003-SEMARNAT-1997). También se puede observar en las tablas 14 y

16 que son en las temporadas de otoño – invierno cuando se ha detectado la presencia de microorganismos patógenos.

En cuanto a los Huevos de Helminto los resultados han sido excelentes ya que no se detectaron estos huevecillos durante los dos periodos analizados. La detección de la larva de uncinaria se debió a la contaminación con tierra de la muestra, ya que es ahí en donde habitan y no en el agua; el quiste de Cyclospora cayetanesis no es propiamente un Helminto pero creemos adecuado mencionar su detección.

Variación de compuestos orgánicos.

En cuanto a los compuestos orgánicos se detectaron 17 compuestos orgánicos volátiles (cloruro de metileno, tolueno, etilbenceno, cloruro de metileno, 1,1,2,2-tetracloroetano, 1,2 diclorobenceno, 1,3-diclorobenceno, 1,4-diclorobenceno, acetona, 2-hexanona, 4-metil-2-pentanona, 1,2,3-triclorobenceno, metil metacrilato, estireno, meta-xileno, orto-xileno y disulfuro de carbono, en concentraciones en el rango de 1.9 a 527 ppb) en 11 de las 58 muestras, 1 pesticida (delta-BCH, 110.8 ppb) en 1 muestra de las 19 analizadas en los dos periodos.

En cuanto a los compuestos orgánicos semivolátiles se encontraron diversas cantidades (siendo los mas altos: Bis(2-etilhexil)ftalato, 2-fluorobifenilo e isoforeno, con 104.74, 85.68 y 22.07 ppb respectivamente) en 10 de las 58 muestras analizadas, siendo predominante esta presencia en la temporada otoño – invierno del periodo 2008 – 2009. La presencia de estos compuestos podría deberse a las descargas indebidas de industrias cercanas

Variación y correlación de concentraciones de metales traza.

En cuanto a los resultados de metales aunque ninguna de las muestras analizadas rebasa el límite establecido en la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 es importante puntualizar que estos no deberían encontrarse presentes ya que el agua residual que trata la Planta de Tratamiento Rosarito Norte es de origen domestico.

Los procesos de cromado y niquelado utilizan además de estos metales mezclas con otros metales traza, para poder determinar la relación existente y el tipo de proceso que contamina el agua residual domestica tratado en la PTARRN se propone un modelo de regresión lineal, basándose en el análisis de correlación, y se propone como variable dependiente a cromo y níquel y como variables independientes a cobre, zinc y plomo. Primeramente un análisis de correlación (Tabla 41) y determinar de esta forma la posible relación a priori entre las variables (metales traza).

Tabla 41. Matriz de correlación

	COBRE	CROMO	NIQUEL	ZINC
COBRE	1	-0.3182	0.9793	-0.8304
CROMO	-0.3182	1	-0.3695	0.6843
NIQUEL	0.9793	-0.3695	1	-0.7753
ZINC	-0.8304	0.6843	-0.7753	1

Con los datos encontrados en la Tabla 41 se puede establecer que cobre tiene una alta relación positiva con níquel, cobre y níquel tienen una alta relación negativa con zinc y zinc con cromo una considerable relación positiva.

Al realizar el modelo de regresión (utilizando el software Eviews©) con cobre y zinc para níquel se encontró una $P = 0.19$ para cobre y $P = 0.78$ para zinc, por lo que para poder establecer la existencia de una posible relación lineal entre cobre y zinc, esto es de una posible relación de multicolinealidad se realizó el modelo de regresión entre estos (Tabla 42), obteniendo una $P = 0.1695$ que no existe multicolinealidad (ya que la probabilidad del estadístico F es **0.1695**, muy alta), por lo que se decidió proceder a el modelo de regresión (Tabla 43) para níquel solo con cobre y establecer si realmente tienen relación o solo es la influencia de zinc, pudiendo establecer que si tienen una alta relación ya que ahora la $P=0.02$ (Maddala, 2002; Johnston y Dinardo, 1997; Gujarati, 1984).

Tabla 42. Análisis de regresión para cobre y zinc

Dependent Variable: COBRE				
Method: Least Squares				
Date: 06/02/10 Time: 16:00				
Sample: 1 4				
Included observations: 4				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.041404	0.014542	2.847209	0.1044
ZINC	-0.402793	0.191035	-2.108473	0.1695
R-squared	0.689714	Mean dependent var		0.012000
Adjusted R-squared	0.534570	S.D. dependent var		0.012083
S.E. of regression	0.008243	Akaike info criterion		-6.451968
Sum squared resid	0.000136	Schwarz criterion		-6.758821
Log likelihood	14.90394	F-statistic		4.445656
Durbin-Watson stat	1.862671	Prob(F-statistic)		0.169510

Tabla 43. Análisis de regresión para cobre y níquel

Dependent Variable: NIQUEL				
Method: Least Squares				
Date: 06/02/10 Time: 14:20				
Sample: 1 4				
Included observations: 4				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.004065	0.004126	-0.985274	0.4284
COBRE	1.776256	0.259132	6.854626	0.0206
R-squared	0.959172	Mean dependent var		0.017250
Adjusted R-squared	0.938758	S.D. dependent var		0.021915
S.E. of regression	0.005423	Akaike info criterion		-7.289394
Sum squared resid	5.88E-05	Schwarz criterion		-7.596247
Log likelihood	16.57879	F-statistic		46.98589
Durbin-Watson stat	2.063927	Prob(F-statistic)		0.020627

Ahora bien, el otro proceso que pudiera estar contaminando el agua residual del efluente estudiado es el cromado, por lo que se procedió a realizar el análisis de regresión para zinc y plomo el cual no arrojó los datos esperados ya que el número de datos posibles a analizar

eran tres, por lo que se procedió con el análisis de regresión lineal para cada metal (plomo y zinc) por separado para la variable dependiente cromo. Los resultados encontrados se muestran en las Tablas 44 y 45, en las cuales se puede observar que el plomo es más significativo ($P= 0.09$) con alta influencia que el zinc ($P= 0.19$).

Tabla 44. Análisis de regresión para cromo y plomo.

Dependent Variable: CROMO				
Method: Least Squares				
Date: 05/31/10 Time: 14:33				
Sample: 1 16				
Included observations: 3				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.006250	0.002487	-2.512595	0.2411
PLOMO	8.750000	1.299038	6.735753	0.0938
R-squared	0.978435	Mean dependent var		0.008333
Adjusted R-squared	0.956869	S.D. dependent var		0.010214
S.E. of regression	0.002121	Akaike info criterion		-9.238835
Sum squared resid	4.50E-06	Schwarz criterion		-9.839760
Log likelihood	15.85825	F-statistic		45.37037
Durbin-Watson stat	0.750000	Prob(F-statistic)		0.093828

Tabla 45. Análisis de regresión para cromo y zinc.

Dependent Variable: CROMO				
Method: Least Squares				
Date: 05/31/10 Time: 14:33				
Sample: 1 16				
Included observations: 5				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.010508	0.010861	-0.967524	0.4047
ZINC	0.241062	0.146007	1.651034	0.1973
R-squared	0.476066	Mean dependent var		0.006800
Adjusted R-squared	0.301421	S.D. dependent var		0.007596
S.E. of regression	0.006349	Akaike info criterion		-6.991910
Sum squared resid	0.000121	Schwarz criterion		-7.148134
Log likelihood	19.47977	F-statistic		2.725913
Durbin-Watson stat	1.838401	Prob(F-statistic)		0.197298

Variación de la Toxicidad Aguda.

En cuanto a la determinación de las unidades de toxicidad aguda y la dosis letal media se puede observar en las Tablas 46 y 47 que es en la temporada de primavera – verano cuando se presentan 2 valores por debajo del 100% de concentración y solo 1 valor en la temporada de otoño – invierno.

Tabla 46. Resultados de bioensayos de la temporada primavera - verano.

Muestra	CL ₅₀	Uta	CMC
25 Marzo 2008	>100	< 1	< 0.01
09 Abril 2008	61	1.639	0.016
24 Abril 2008	55	1.818	0.018
09 Mayo 2008	>100	< 1	< 0.01
24 Mayo 2008	>100	< 1	< 0.01
08 Junio 2008	>100	< 1	< 0.01
08 Julio 2008	>100	< 1	< 0.01

Tabla 47. Resultados de bioensayos de la temporada otoño - invierno.

Muestra	CL ₅₀	Uta	CMC
06 Septiembre, 2008	>100	< 1	< 0.01
21 Septiembre, 2008	>100	< 1	< 0.01
06 Octubre, 2008	>100	< 1	< 0.01
21 Octubre, 2008	42	2.380	0.023
05 Noviembre, 2008	>100	< 1	< 0.01
19 Noviembre, 2008	>100	< 1	< 0.01
04 Diciembre, 2008	>100	< 1	< 0.01
19 Enero, 2009	>100	< 1	< 0.01
03 Febrero, 2009	>100	< 1	< 0.01
25 Febrero, 2009	>100	< 1	< 0.01

Para poder determinar si los contaminantes encontrados fuera de los límites establecidos por la normatividad contribuyen o están asociados a los resultados de toxicidad aguda encontrados se decidió realizar un análisis de regresión lineal para poder determinar esta posible significancia de estos contaminantes con la variable dependiente toxicidad aguda.

Análisis de regresión lineal de concentraciones de contaminantes (variable independiente) con las Unidades de Toxicidad aguda “Uta” (variable dependiente).

En los resultados obtenidos para toxicidad dado que la variable de interés UTa puede tomar, de acuerdo a la misma metodología establecida en la norma mexicana NMX-AA-087-1995-SCFI, únicamente valores menores o iguales a 1 o mayores que 1, esta característica la hace idónea para ser codificada y analizada precisamente bajo un contexto de variable dicotómica. Entendiendo que en un modelo de regresión la variable dependiente Y es una variable binaria o dicotómica, esto es, que solamente puede tomar valores 0 o 1, entonces Y actúa como una variable “dummy” cuya interpretación es la *no ocurrencia* u *ocurrencia* respectivamente, de cierto resultado

Sea entonces:

$$\begin{aligned} UT_{bin} &= 0, & \text{si } UTa \leq 1 & \text{ y} \\ UT_{bin} &= 1, & \text{si } UTa > 1 \end{aligned}$$

Donde UT_{bin} representa, como se indica, el valor codificado de UTa . Esta definición de nuestra variable de interés la ubica dentro del contexto general de Variables Dependientes Limitadas (VDL) dado que UT_{bin} puede tomar precisamente solo un número limitado de valores, por lo que se requiere de un cierto tipo especial de herramientas de análisis, en particular aquellas usadas para el análisis de Modelos de Datos Binarios.

Dentro de estas herramientas se consideran al Modelo de Probabilidad Lineal (MPL), el modelo PROBIT y el LOGIT (Johnston y Dinardo, 1997; Gujarati, 1995; Hayashi, 2000). El primero establece las bases para una comprensión adecuada de la regresión con variables binarias. Dado que la variable de interés solo puede tomar dos valores (0 o 1) entonces se puede considerar como una variable Bernoulli con probabilidades de ocurrencia $P(Y=1) = p$ y $P(Y=0) = q = 1 - p$, y dado que si en general para un modelo de regresión

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad \text{entonces}$$

$E[Y|X_1, X_2, \dots, X_n] = p = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$, de donde se establece que P es una función de los regresores o variables independientes X , por lo que puede ser fácilmente demostrado que los disturbios asociados a este MPL son heteroscedásticos.

Bajo estas condiciones se puede analizar este tipo de modelos mediante Mínimos Cuadrados Ponderados (MCP) (Johnston y Dinardo, 1997) que retiene la validez de las pruebas de significancia tanto individual como global asociadas a modelos generales de regresión lineal que no violan propiedades de Gauss-Markov (Gujarati, 1995). La simplicidad en el análisis e interpretación del MPL radica precisamente en su característica lineal que sin embargo es al mismo tiempo su gran desventaja ya que dependiendo de los valores que tomen los coeficientes de las variables independientes, el valor estimado de p puede tomar valores negativos o mayores de 1.

Dado que un modelo Probit es evidentemente una representación no lineal, entonces el cálculo de los valores ajustados y el de los errores estándar es un poco más complicado que para un modelo lineal simple y requiere de una teoría de distribución asintótica. Esto implica que los estimados de los coeficientes de los regresores son consistentes, asintóticamente eficientes y por supuesto asintóticamente normales y con propiedades deseables, los errores estándar son consistentes, los estadísticos t son asintóticamente normales, y el estadístico F es asintótico (Johnston y Dinardo, 1997).

Con fundamento en lo anteriormente expuesto, y considerando las características dicotómicas de UT_{bin} se propone un modelo de regresión Probit multivariado que permite analizar la relación de significancia entre UT_{bin} como variable dependiente, y las variables consideradas como factores de causalidad dadas por conductividad (COND), TKN, Amoníaco, cloro Total (CLTOT), dureza total (DURTOT), ortofosfatos (ORTOFOS), Nitrito, (GYA), cloruros, (SDT), cloro Libre (CLLIBRE). Se realizó una pre-selección de los factores posiblemente más significativos tomando en cuenta su correlación bivariada con respecto a UT_{bin} , dados en la Tabla 48.

Tabla 48. Coeficiente de correlación. Variable independiente – UTa.

Variable Independiente	UTA
SDT	0.20566
Cloruros	0.31255
Grasas y Aceites	0.31422
Nitrito	0.31456
Ortofosfatos	0.35018
TKN	0.41824
Conductividad	0.56229
Dureza Total	0.56782
Amoniaco	0.57006
Cloro Total	0.58993
Cloro Libre	0.65245

Se formuló el modelo Probit analizando en primer lugar exclusivamente la potencial relación entre UT_{bin} con CLLIBRE por dos razones principales. En primer lugar, esta variable tiene la mas alta correlación bivariada con respecto a UT_{bin} , y en segundo lugar mantiene una muy alta correlación con respecto a los otros derivados de cloro como se muestra la Tabla 49.

Tabla 49. Coeficiente de correlación entre variables independientes relevantes.

	Cloruros	Cloro Total
Cloro Total	0.82134	
Cloro Libre	0.79220	0.971108

Los resultados completos del análisis de regresión probit se muestran en las Tablas 50 y 51.

Tabla 50. Análisis de regresión lineal método probit 7 parámetros vs. UTa

Dependent Variable: UTA
Method: ML - Binary Probit (Quadratic hill climbing)
Date: 06/16/10 Time: 15:39
Sample: 1 17
Included observations: 17
Convergence achieved after 10 iterations
QML (Huber/White) standard errors & covariance

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	40.82788	21.39080	1.908665	0.0563
CLTOT	0.870567	0.364119	2.390888	0.0168
AMONIACO	0.383127	0.177655	2.156572	0.0310
DURTOT	-0.017911	0.017415	-1.028483	0.3037
COND	-0.021903	0.011125	-1.968751	0.0490
TKN	-0.026898	0.027724	-0.970221	0.3319
ORTOFOS	0.116775	0.058021	2.012612	0.0442
SDT	0.002677	0.006208	0.431308	0.6662

Mean dependent var	0.176471	S.D. dependent var	0.392953
S.E. of regression	0.347522	Akaike info criterion	1.340433
Sum squared resid	1.086944	Schwarz criterion	1.732533
Log likelihood	-3.393678	Hannan-Quinn criter.	1.379408
Restr. log likelihood	-7.921987	Avg. log likelihood	-0.199628
LR statistic (7 df)	9.056619	McFadden R-squared	0.571613
Probability(LR stat)	0.248617		

Obs with Dep=0	14	Total obs	17
Obs with Dep=1	3		

Tabla 51. Análisis de regresión lineal método probit sin SDT, Dureza y TKN

Dependent Variable: UTA
Method: ML - Binary Probit (Quadratic hill climbing)
Date: 06/14/10 Time: 17:52
Sample: 1 17
Included observations: 12
Convergence achieved after 8 iterations
QML (Huber/White) standard errors & covariance

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	16.89228	7.359161	2.295408	0.0217
CLTOT	0.320329	0.053663	5.969278	0.0000
AMONIACO	0.195380	0.034457	5.670187	0.0000
COND	-0.009358	0.003307	-2.829985	0.0047
ORTOFOS	0.045944	0.030733	1.494938	0.1349
NITRITO2	-6.239384	3.257399	-1.915450	0.0554
GYA	-0.019969	0.008163	-2.446197	0.0144

Mean dependent var	0.250000	S.D. dependent var	0.452267
S.E. of regression	0.424268	Akaike info criterion	1.622975
Sum squared resid	0.900017	Schwarz criterion	1.905838
Log likelihood	-2.737853	Hannan-Quinn criter.	1.518250
Restr. log likelihood	-6.748022	Avg. log likelihood	-0.228154
LR statistic (6 df)	8.020338	McFadden R-squared	0.594273
Probability(LR stat)	0.236617		

Obs with Dep=0	9	Total obs	12
Obs with Dep=1	3		

Tomando en consideración su baja significancia ($P > 0.05$) se elimina a ORTOFOS, y los resultados de esta nueva ecuación se muestran en la Tabla 52. Por lo que el modelo de regresión Probit resultante estaría dado por la siguiente expresión:

$$P(UTA_{bin} = 1 | cltot, \dots, gya) = p = \Phi(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 cltot + \hat{\beta}_2 amoniaco + \hat{\beta}_3 cond + \hat{\beta}_4 nitrito2 + \hat{\beta}_5 gya) \quad (5)$$

Donde: $\hat{\beta}_0 = 12.11185$, $\hat{\beta}_1 = 0.241977$, $\hat{\beta}_2 = 0.158421$, $\hat{\beta}_3 = -0.006282$, $\hat{\beta}_4 = -5.410257$, y $\hat{\beta}_5 = -0.017308$.

Tabla 52. Resultados análisis regresión probit con variables más significativas.

Dependent Variable: UTA				
Method: ML - Binary Probit (Quadratic hill climbing)				
Date: 06/15/10 Time: 15:22				
Sample: 1 17				
Included observations: 12				
Convergence achieved after 7 iterations				
QML (Huber/White) standard errors & covariance				
Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	12.11185	7.911159	1.530984	0.1258
CLTOT	0.241977	0.054502	4.439803	0.0000
AMONIACO	0.158421	0.033079	4.789115	0.0000
COND	-0.006282	0.003553	-1.767867	0.0771
NITRITO2	-5.410257	2.944503	-1.837410	0.0661
GYA	-0.017308	0.008308	-2.083201	0.0372
Mean dependent var	0.250000	S.D. dependent var	0.452267	
S.E. of regression	0.397576	Akaike info criterion	1.482683	
Sum squared resid	0.948399	Schwarz criterion	1.725136	
Log likelihood	-2.896099	Hannan-Quinn criter.	1.392918	
Restr. log likelihood	-6.748022	Avg. log likelihood	-0.241342	
LR statistic (5 df)	7.703846	McFadden R-squared	0.570823	
Probability(LR stat)	0.173330			
Obs with Dep=0	9	Total obs	12	
Obs with Dep=1	3			

Se puede observar que si bien el valor de bondad de ajuste de McFadden se redujo de 0.594273 (Tabla 51) a 0.570823 (Tabla 52), todas las variables resultantes en el modelo son altamente significativas sobre todo CLTOT y AMONIACO. Ahora bien si se desea analizar el efecto marginal de cada una de las variables significativas resultantes en la tabla anterior de acuerdo a su nivel de significancia de mayor a menor, se realiza el análisis manteniendo como constante el valor promedio de las variables independientes restantes que se da en la Tabla 53 y que incluye además otros resultados descriptivos para las variables independientes consideradas.

Tabla 53. Resultados descriptivos obtenido en Eviews de las variables de mayor interés.

	COND	CLTOT	NITRITO2	AMONIACO	ORTOFOS	GYA
Mean	2030.118	1.493	0.0681	5.290	25.925	53.417
Median	2040.000	0.200	0.0350	1.760	24.750	37.500
Maximum	2280.000	17.000	0.3600	33.350	54.300	126.000
Minimum	1804.000	0.050	0.0048	0.137	14.500	16.000
Std. Dev.	142.706	4.193	0.0991	8.465	9.135	42.743
Skewness	-0.056	3.281	2.1859	2.364	1.674	0.953
Kurtosis	1.893	12.485	6.4350	8.191	6.570	2.181
Jarque-Bera	0.877	94.230	21.8964	34.920	16.965	2.152
Probability	0.645	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.341
Sum	34512.000	25.380	1.1578	89.937	440.730	641.000
Sum Sq. Dev.	325837.800	281.281	0.1572	1146.604	1335.077	20096.920
Observations	17	17	17	17	17	12

Por ejemplo, para AMONIACO, la expresión estaría dada como:

$$indxamoniaco=12.11185+0.241977*1.493+0.158421*amoniaco-0.006282*2030.118-5.410257*0.0681-0.01731*53.417 \quad (6)$$

Y se calcula la serie de probabilidades para valores de UT_{bin} (PRUTAMONIACO) en función de AMONIACO lo que se muestra en la figura 12, esta representa el efecto que sobre la UT_{bin} tiene AMONIACO.

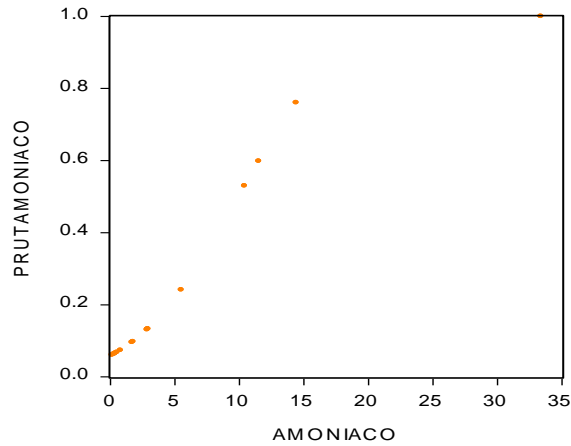


Figura 12. Calculo serie de probabilidades de UT_{bin} Vs. Amoniaco.

Los efectos marginales de AMONIACO para cada valor de probabilidad se obtienen calculando la fdp en cada valor indexado multiplicado por el coeficiente de regresión de AMONIACO, y los resultados se muestran enseguida en la figura 13.

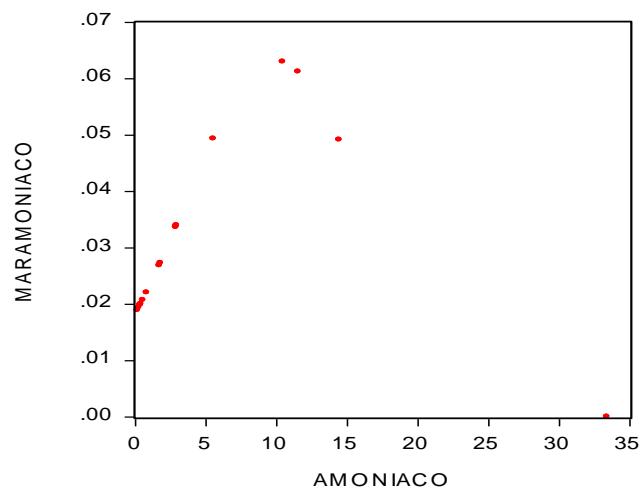


Figura 13. Función de densidad de probabilidad para UT_{bin} y amoniaco.

Al observar la representación de la *fdp* en la figura 13 se observa que para valores de AMONIACO alrededor de 33 el cambio marginal de UTA_{bin} es tan reducido que prácticamente a partir de este valor no habría cambios significativos en los valores de UTa.

Este análisis de cambio marginal se realiza para cada una de las variables independientes significativas, esto es, para CLTOT (con un valor marginal positivo alrededor de 17 ppm), COND (la cual presenta valores de poco efecto negativo por debajo de 2000 y los más significativos cerca de 2300), NITRITOS y GYA (cuyos comportamientos demuestran que a mayor concentración mayor es el efecto). Los resultados completos de estos se presentan en el anexo IV.

El análisis de regresión Probit realizado nos indica que son los contaminantes amoniaco y cloro total aquellos que mas influyen y en forma positiva por lo que son estos los contaminantes a controlar en el efluente de las plantas de tratamiento. Además nos indica que la conductividad, nitritos y grasas y aceites tienen un efecto negativo, siendo el de menor efecto la conductividad.

Es importante mencionar que durante la implementación de la norma NMX-AA-087-1995-SCFI, pude encontrar varias fallas en la traducción y adaptación del método aprobado por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA por sus siglas en Ingles) EPA-821-R-02-012, entre estos errores esta el que la norma mexicana no incluye la descripción del cultivo de la microalga con la que se alimenta a las *Daphnias magnas*, tampoco incluye que durante el análisis se debe contar con un duplicado de las diluciones realizadas (sin incluir *Daphnia*) para monitorear las concentraciones de oxigeno disuelto, pH y Dureza total.

También, al momento de realizar el análisis de los resultados como lo indica la norma NMX-AA-087-1995-SCFI, observamos que esta no indica cuando realizar la eliminación de las muestras cuyos valores de R^2 no cumplan con el valor estadísticamente aceptable de 0.9999 ± 0.1 o con pendientes negativas; además de que la norma mexicana no utiliza ni menciona el uso de software para el análisis de datos y emisión de resultados.

La norma mexicana NMX-AA-087-1995-SCFI no explica ni considera los aspectos que el método Probit (al utilizar la base logarítmica) establece.

CONCLUSIONES

La variación estacional de fenoles, SAAM'S, pH, SST, cloro, nitratos, DBO₅, fluoruro, cianuro y turbidez no representan un riesgo porque no rebasan los límites máximos permisibles de las normas mexicanas NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1996 y NOM-127-SSA1-1994, ni afectan negativamente a los cuerpos receptores Presa el Carrizo y Presa Abelardo L. Rodríguez si son descargados con las concentraciones medidas en este estudio.

Sin embargo las sustancias nitrogenadas (como amoníaco, TKN y nitritos), dureza, cloruros, fluoruro, fósforo, sulfatos, grasas y aceites y alcalinidad si representan un riesgo ambiental.

En términos de recarga de acuíferos y afectación a la calidad del cuerpo receptor Valle de las Palmas, el agua proveniente del efluente de la planta de tratamiento de agua residual Rosarito Norte se puede infiltrar en esa zona sin afectar al acuífero, ya que no rebasa los límites reportados para el valle de las Palmas, debiendo cuidarse siempre cumpla con lo establecido en la NOM-014-CONAGUA-2003.

La comparación con la norma mexicana NOM-127-SSA1-1994 nos indica la necesidad de implementar tratamiento terciario para SDT, dureza total, cloruros, nitritos, amoníaco y sulfatos.

En cuanto al DBO5, DQO y Grasas y Aceites, es conveniente que la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT) al ser el organismo operador de esta planta vigile la cantidad que de estas últimas llegan a la PTARRN, además de dar continuidad al programa de Atrapa la Grasa implementado con la industria restaurantera de la región Tijuana – Playas de Rosarito, lo que permitirá reducir estos parámetros a los valores de diseño y con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-014-CONAGUA-2003.

Tomando en cuenta la naturaleza y concentración de los compuestos orgánicos y metales traza encontrados durante este estudio se concluye que estos no representan un riesgo a la salud.

El análisis de regresión lineal para metales muestra que son vertientes provenientes de industrias que realizan la cromación y el niquelado.

Como alternativas de tratamiento para la remoción de los constituyentes tales como fosfatos dureza y amonio se propone una adsorción reactiva, así como para nitritos y nitratos un tratamiento secundario de desnitrificación, y aunque es hasta cierto punto costoso un tratamiento de osmosis inversa para los SDT, cloruros, sulfatos y otras sales. Con estos tratamientos el agua del efluente de la PTARRN podría reutilizarse para riego agrícola, riego de áreas verdes o casi todas las industrias de la localidad.

El análisis de regresión Probit indica que son los contaminantes como cloro libre y cloro total aquellos que se debe buscar un método de desinfección igual de efectivo pero sin los problemas de ajuste. Además muestra que en efecto son los compuestos nitrogenados como amoníaco y nitritos aquellos que se debe plantear un tratamiento para su eliminación.

Aunque se obtuvieron buenos resultados en el estudio de toxicidad aguda realizado, se debería considerar realizar un nuevo estudio en esta planta o en alguna de las nuevas (La Morita o El Florido) en el cual se tengan varias consideraciones, entre estas, un tiempo de

análisis de al menos dos años y las consideraciones que la NMX-AA-087-1995-SCFI no establece pero si el método EPA-821-R-02-012 de los Estados Unidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aertgeerts R., Angelakis A. (2003). State of the Art Report Health Risks in Aquifer Recharge Using Reclaimed Water. Water, Sanitation and Health Protection and the Human Environment World Health Organization Geneva, and WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, Denmark.

http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/wsh0308pref.pdf

Arreguín C. F.I., Moeller C. G., Escalante E. V, Rivas H. A. (1999). El reuso del agua en México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Memorias del 42 Congreso Nacional Acodal, Hacia la Calidad: Necesidad para el próximo Milenio. Septiembre 1999. Barranquilla Colombia. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/acodal42/reuso.pdf>

Asano T. (2001). Water From (Waste) Water- The dependable wáter resource. Paper for Stockholm Water Prize Laureate Lecture. August 12-18. 11th Stockholm Water Symposium. Stockholm, Sweden. <http://www.deadlydeceit.com/water/laureatelecturefinalusreclaimed.pdf>

B. C. (2010). Gobierno del Estado de Baja California. Portal Electrónico.

<http://www.bajacalifornia.gob.mx>.

http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/situacion_dem/demografico.ssp,
http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/recursos/hidrologia.jsp

CESPT. (2010). Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana. Portal electrónico.
www.cespt.gob.mx/cultura/prgcuidar.html

CESPT (2003). Plan Maestro de Agua y Saneamiento para los Municipios de Tijuana y Playas de Rosarito. Elaborado por: Camp Dresser and Mckee. Febrero 2003.

CESPT-COCEF-EPA. (2007). Estudio de Factibilidad para el Reuso de la Agua Residuales Tratadas en la Zona Urbana de Tijuana, Baja California. Comisión estatal de Servicios Públicos de Tijuana- Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza- Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos. Elaborado por: Servicios de Ingeniería e Informática, S. C. Septiembre 2007.

CONAGUA (2010). Infraestructura Hidráulica. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)- Estadísticas del Agua en México. <http://www.conagua.gob.mx/contenido.aspx>

Cueva L. T. (2007). Sistema de Saneamiento en Tijuana y Playas de Rosarito. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana. Presentación 2do. Foro del Agua. 30 de agosto 2007. Tijuana, B. C. México.

Escalante V., Cardoso L., Ramírez E., Moeller G., Mantilla G., Montecillos J., Servín C., Villavicencio F. (2003). El Reuso del Agua residual Tratada en México. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Instituto Mexicano de Tecnología de Agua. Jiutepec Morelos, México.
<http://www.cepis.org.pe/bvsacd/agua2003/reus.pdf>

EPA. (2002). Methods for Measuring the Acute toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms. Manual EPA-821-R-02-012. Fifth Edition. 2002. Washington D.C.

Gujarati D. (1995). Basic Econometrics. Third Edition. McGraw-Hill.

Hayashi F. (2000). *Econometrics*. Princeton University Press.

Harivandi M.A. (2000). Irrigating Turfgrass and Landscape Plants with Municipal Recycled Water. University of California Cooperative Extension. CA. USA. Proc. 3er. ISON Irrigation Hort. Crops. Ed. Ferreira and Jones. Acta Hort 537, ISHS 2000. Pag. 697- 703.
<http://www.stma.org/files/items/stma-mr-tab2-3810>

Johnson C.C. Jr. (1980). Water reuse: an unfinished agenda. The summary comments at the EPA Symposium on Protocol Development: Criteria and Standards for Potable Reuse and Feasible Alternatives, Warrenton, Va. *Environ. Sci. Technol.*, 1980, 14 (11), pp 1304–1306. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es60171a604>

Johnston J. (1984). *Econometric Methods*. Third Edition. McGraw-Hill.

Johnston J., Dinardo J. (1997). *Econometric Methods*. Fourth Edition. McGraw-Hill.

Li B-H., Chang C-T. (2006). A Mathematical Programming Model for Discontinuous Water-Reuse System Design. Department of Chemical Engineering, Dalian Nationalities University, Dalian, China and Department of Chemical Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Republic of China. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2006, 45, 5027-5036.
<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie050421v>

López N.D. (1997). Sistema de Tratamiento de Agua Residual del Fraccionamiento San Antonio del Mar, Evaluación y Funcionamiento. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería. UABC. Baja California. México.

Maddala G.S. (1977). *Econometrics*. McGraw-Hill.

Maddala G.S. (2002). *Introduction to Econometrics*. Third Edition. Editorial Wiley.

Mara D., Cairncross S. (1989). Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: Measures for public health protection. Executive Summary. University of Leeds and London School of Hygiene and Tropical Medicine. UK. © World Health Organization. ISBN: 92 4 152248 9.
http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/wasteuse/en/index.html

Mayorga P. (2001). Análisis Ecotoxicológico de muestras de agua provenientes de 4 puntos del Lago de Atitlán. Technical Report. Servicios y productos Ambientales, S.A.

http://www.oocities.com/sepra_gt/ecotoxAtitlan.pdf

Mejía G. M. A., Mata A. F. I., Martínez M. M. (2007). Estudio Geohidrológico de la zona comprendida entre el rancho Santa Anita, Presa Abelardo L. Rodríguez y el Valle de las Palmas, Baja California. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México-CESPT.

Metcalf & Eddy. (1996). Ingeniería de Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización. Primera edición. Mc Graw Hill. México.

National Research Council (U.S.). (1996). Committee on the Use of Treated Municipal Wastewater Effluents and Sludge in the Production of Crops for Human Consumption. Municipal Wastewater, Sewage Sludge, and Agriculture. Capitulo 2. National Academies Press. <http://www.epa.gov/owm/mtb/biosolids/useofmid/mstr-ch2.pdf>

Norma NMX-AA-003-1980. (1980). Aguas Residuales. Muestreo. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación. México D.F.

Norma NMX-AA-087-1995-SCFI. (1995). Análisis de agua-Evaluación de toxicidad aguda con *Daphnia magna* - Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación. México D.F.

Norma NOM-001-SEMARNAT-1996; Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y Bienes Nacionales. Secretaría de Medio Ambiente y recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, 23 abril 2003. México, D.F.

Norma NOM-002-SEMARNAT-1996; Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas Residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal. Secretaría de Medio Ambiente y recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, 23 abril 2003. México, D.F.

Norma NOM-003–SEMARNAT–1996; Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Secretaría de Medio Ambiente y recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, 23 abril 2003. México, D.F.

Okun D. (1978). Guest Editorial. Research in water reuse. *Environ. Sci. Technol.*, 1978, 12 (1), p 5. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es60137a600>

Okun D.A. (1980). Philosophy of the Safe Drinking Water Act and potable reuse. A presentation at the EPA Symposium on Protocol Development: Criteria and Standards for Potable Reuse and Feasible Alternatives, Warrenton, Va., July 29-31, 1980. *Environ. Sci. Technol.*, 1980, 14 (11), pp 1298–1303. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es60171a603>

OMS (2010). Organización Mundial de la Salud. Portal Electrónico. <http://www.who.int/es> y http://www.who.int/water_sanitation_health/disease/diseasefact/es

Ramos O.R. (1995). Diagnostico de las Condiciones de Operación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de la Ciudad de Tijuana, Baja California. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería. UABC. Baja California, Mexico.

Rey G., Cywin A., Lacy W. J. (1971). Industrial water reuse: future pollution solution. Environmental Protection Agency. Washington, D.C. *Environ. Sci. Technol.*, 1971, 5 (9), pp 760–765. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es60056a008>

Rodríguez V. O. N., Velázquez C. L. R., Soto A. S. C., Rodríguez V. G., Sánchez L. E. (2010). Desarrollo de un método analítico para la determinación de plaguicidas organoclorados como modificación de la NOM-021-ZOO-1995. *Acta Universitaria*. Vol. 20. No. 1. Enero-abril 2010. Ciencias Exactas e Ingenierías. Universidad de Guanajuato. Páginas 9 a 17. México.

Standard Methods 1995). For the Examination of Water and Wastewater. 14 Edition. APHA-AWWA-WPCE. ISBN: 087553-078-8.

UNEP. (2000). International Source Book On Environmentally Sound Technologies for Wastewater and Stormwater. Management. United Nations Environment Programme (UNEP) Division of Technology, Industry and Economics. Newsletter and Technical Publications. <http://www.dwr.ehnr.state.nc.us/reports/reuse/reuse.htm>

UOSA (2009). Upper Occoquan Service Authority. Página web. <http://www.uosa-construction.org/>

Witmer F.E. (1973). Reusing waste water by desalination. Office of Saline Water. Washington, D. C. *Environ. Sci. Technol.*, 1973, 7 (4), pp 314–318.
<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es60076a010>

REFERENCIAS ADICIONALES

Argo D.G. (1985). Water reuse: Where are we headed?. Orange County Water District Fountain Valley, California. *Environ. Sci. Technol.*, 1985, 19 (3), pp 208–214.
<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es00133a603>

Bregman J.I. (1970). Membrane processes gain favor for water reuse. Water Pollution Research and Applications Inc., Washington, D.C. *Environ. Sci. Technol.*, 1970, 4 (4), pp 296–302. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es60039a007>

Davidson R., MacKinnon J.G. (1993). Estimation and Inference in Econometrics. Oxford Univ. Press.

EPA. (1998). How Wastewater treatment Works... The basics. United States Environmental Protection Agency. Office of Water (4204). EPA 833-F-98-002. May, 1998.

Gallant A.R. (1997). An Introduction to Econometric Theory. Princeton University Press.

Hamilton JD. (1994). Time Series Analysis. Primera Edición. Editorial Princeton University Press.

Lara V. I. I. (2009). Evaluación de la toxicidad aguda del efluente de una planta de tratamiento de agua residual para establecer sus opciones de reuso. Universidad de la Serena. Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Tesis de Licenciatura. Chile.

Silva J., Torrejón G., Bay-Schmith E., Larrain A. (2003). Calibración del Bioensayo de Toxicidad Aguda con *Daphnia pulex* (crustacea: cladocera) usando un tóxico de referencia. *Gayana* 67(1):87-96, 2003. ISSN0717-652X.

<http://www.scielo.cl/pdf/gayana/v67n1/art11.pdf>

Rachel M. Ayres R. M., (1996). Duncan M. D. Analysis of Wastewater for Use in Agriculture- A Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques. Department of Civil Engineering. University of Leed, England. World Health Organization, Geneva. 1996.

http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/labmanual.pdf

ANEXO I

Cálculos completos de bioensayos de toxicidad aguda.

Muestra: **25 marzo 2008**

Tabla 54. Resultados de mortalidad prueba definitiva 25 marzo 2008

PRUEBA DEFINITIVA 25/03/08			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	12	0	0
55	12	0	0
75	12	4	37.5
95	12	1	4.15

Tabla 55. Resultados de probit empírico y calculado 25 marzo 2008.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
65	1.74	0	0.8
75	1.875	4.67	2.8
95	1.977	3.25	4.31

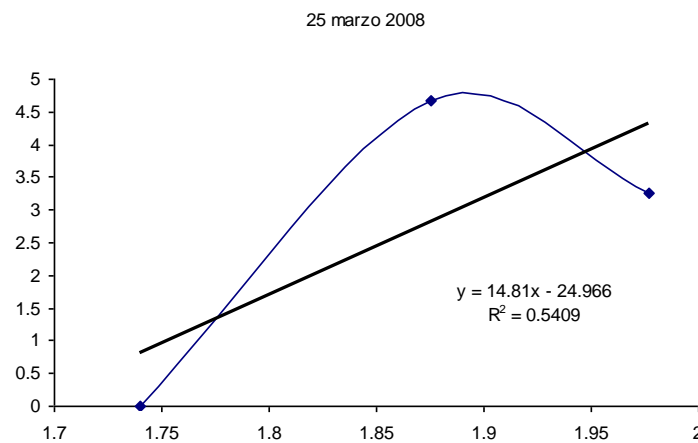


Figura 14. Gráfica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 25 marzo 2008.

Para $Y = 5$ $x = 2.023$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 2.023 = 105.5\%$$

Tabla 56. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 25 marzo 2008

S	Log ₁₀ CONC. (X)	No. ORGANISMO (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
0.06	1.74	12	0.8	0.001	0.012	0.02088	0.036331	2.02	1.96
	1.88	12	2.8	0.092	1.104	2.07552	3.901977		
	1.98	12	4.31	0.532	6.384	12.64032	25.02783		
Σ=					7.5	14.73672	28.96614		

Muestra: **24 Abril 2008**

Tabla 57. Resultados de mortalidad prueba definitiva 24 abril 2008

PRUEBA DEFINITIVA 24/04/08			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	12	1	8.333333333
35	12	3	29.16
55	12	5	41.66
90	12	9	79.16

Tabla 58. Resultados de probit empírico y calculado 24 abril 2008.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
35	1.54	4.45	4.34
55	1.74	4.8	5
90	1.95	5.81	5.7

24 abril 2008

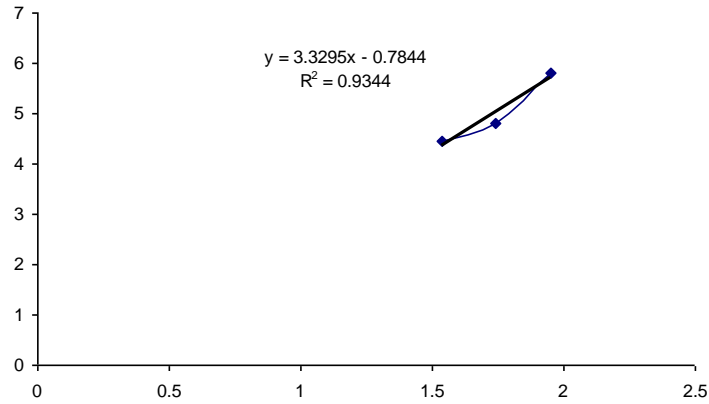


Figura 15. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 24 abril 2008.

Para $Y = 5$ $x = 1.74$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 1.74 = 54.95\%$$

Tabla 59. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 24 abril 2008

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
0.301	1.54	12	4.34	0.532	6.384	9.83136	15.1402944	1.74	1.7431
	1.74	12	5	0.637	7.644	13.30056	23.1429744		
	1.95	12	5.7	0.532	6.384	12.4488	24.27516		
$\Sigma =$					20.412	35.58072	62.5584288		

Muestra: **09 de mayo de 2008**

Tabla 60. Resultados de mortalidad prueba definitiva 09 mayo 2008

PRUEBA DEFINITIVA 09/05/08			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	12	0	0
55	12	0	0
75	12	1	4.15
95	12	2	8.3

Tabla 61. Resultados de probit empírico y calculado 09 mayo 2008.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
55	1.74	0	0.3
75	1.88	3.25	2.47
95	1.98	3.59	4.04

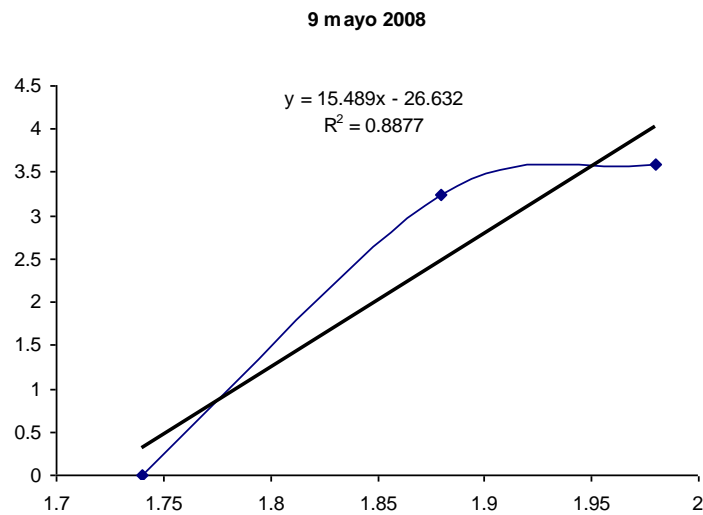


Figura 16. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 09 mayo 2008.

Para $Y = 5$ $x = 2.04$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 2.04 = 110\%$$

Tabla 62. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 09 mayo 2008

S	Log ₁₀ CONC. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
0.064	1.74	12	0.3	0.001	0.012	0.02088	0.0363312	2.04	1.969
	1.88	12	2.47	0.05	0.6	1.128	2.12064		
	1.98	12	4.04	0.439	5.268	10.43064	20.652667		
Σ=					5.88	11.57952	22.809638		

Muestra: **24 de mayo de 2008**

Tabla 63. Resultados de mortalidad prueba definitiva 24 mayo 2008

PRUEBA DEFINITIVA 24/05/08			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	12	0	0
55	12	1	4.15
75	12	2	16.66666667
95	12	3	25

Tabla 64. Resultados de probit empírico y calculado 24 mayo 2008.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
55	1.74	3.25	3.3
75	1.88	4.05	3.94
95	1.98	4.33	4.39

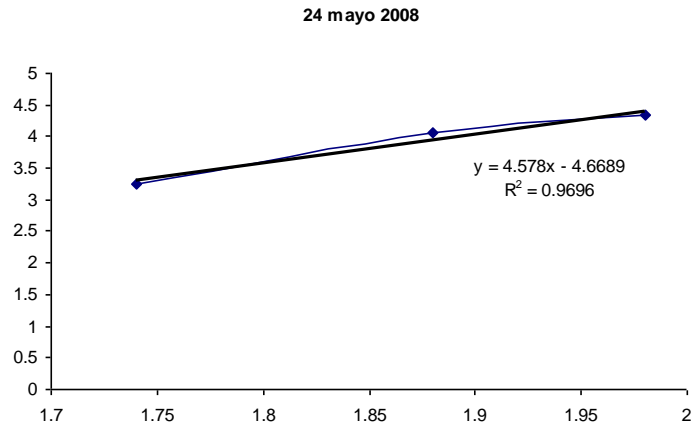


Figura 17. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 24 mayo 2008.

Para $Y = 5$ $x = 2.11$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 2.11 = 129\%$$

Tabla 65. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 24 mayo 2008

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
0.220	1.74	12	3.3	0.208	2.496	4.34304	7.5568896	2.11	1.902
	1.88	12	3.94	0.4	4.8	9.024	16.96512		
	1.98	12	4.39	0.558	6.696	13.25808	26.250998		
Σ=					13.992	26.62512	50.773008		

Muestra: 08 de junio de 2008

Tabla 66. Resultados de mortalidad prueba definitiva 08 junio 2008

PRUEBA DEFINITIVA 08/06/08			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	12	1	8.333333333
55	12	1	8.333333333
75	12	2	16.66666667
95	12	4	33.33333333

Tabla 67. Resultados de probit empírico y calculado 08 junio 2008.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
55	1.74	3.59	3.51
75	1.88	3.87	4.06
95	1.98	4.56	4.45

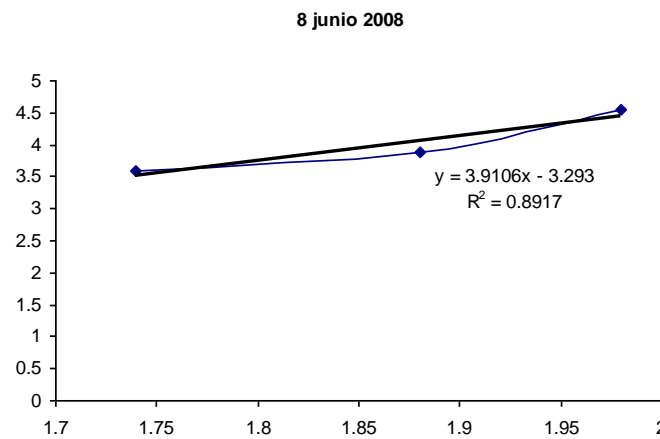


Figura 18. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 08 junio 2008.

Para $Y = 5$ $x = 2.12$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 2.12 = 132\%$$

Tabla 68. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 08 junio 2008

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
0.252	1.74	12	3.5	0.269	3.228	5.61672	9.7730928	2.12	1.895
	1.88	12	4.06	0.471	5.652	10.62576	19.976429		
	1.98	12	4.45	0.581	6.972	13.80456	27.333029		
Σ=					15.852	30.04704	57.08255		

Muestra: 08 de julio de 2008

Tabla 69. Resultados de mortalidad prueba definitiva 08 julio 2008

PRUEBA DEFINITIVA 08/07/08			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	12	1	8.333333333
50	12	1	8.333333333
65	12	2.5	20.83333333
85	12	3	25
100	12	0	0

Tabla 70. Resultados de probit empírico y calculado 08 julio 2008.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
50	1.7	3.59	3.67
65	1.81	4.19	4.02
85	1.93	4.33	4.41

8 julio 2009

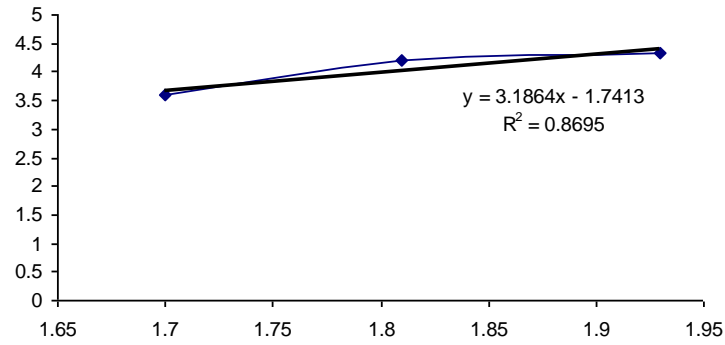


Figura 19. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 08 julio 2008.

Para $Y = 5$ $x = 2.15$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 2.15 = 143.85\%$$

Tabla 71. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 08 julio 2008

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
0.310	1.7	12	3.67	0.336	4.032	6.8544	11.65248	2.12	1.832
	1.81	12	4.02	0.439	5.268	9.53508	17.258495		
	1.93	12	4.41	0.558	6.696	12.92328	24.94193		
$\Sigma =$					15.996	29.31276	53.852905		

Muestra: **06 de septiembre de 2008**

Tabla 72. Resultados de mortalidad prueba definitiva 06 septiembre 2008

PRUEBA DEFINITIVA 06/09/08			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	30	1	3.333333333
55	30	4	13.33333333
75	30	3	10
95	30	1	3.333333333

Tabla 73. Resultados de probit empírico y calculado 06 septiembre 2008.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
55	1.74	4.26	4.29
75	1.88	3.72	3.64
95	1.98	3.12	3.17

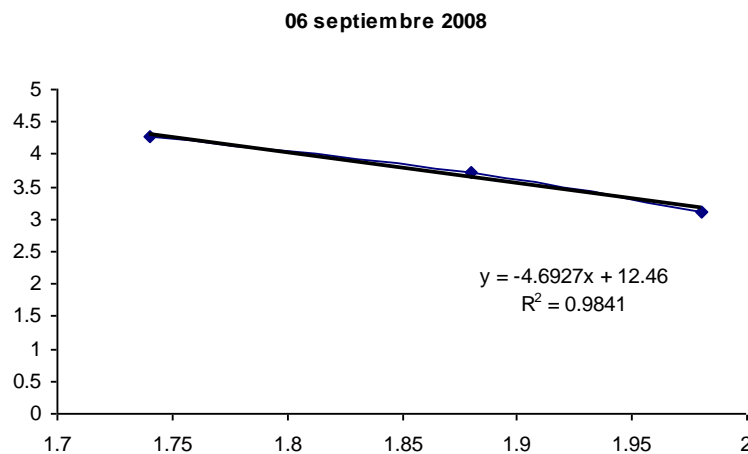


Figura 20. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 06 septiembre 2008.

Para $Y = 5$ $x = 7.65$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 7.65 = 44E6\%$$

Tabla 74. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 06 septiembre 2008

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
-0.214	1.74	30	4.29	0.532	15.96	27.7704	48.320496	7.65	1.82
	1.88	30	3.64	0.302	9.06	17.0328	32.021664		
	1.98	30	3.17	0.18	5.4	10.692	21.17016		
Σ=					30.42	55.4952	101.51232		

Muestra: 21 de septiembre de 2008

Tabla 75. Resultados de mortalidad prueba definitiva 21 septiembre 2008

PRUEBA DEFINITIVA 21/09/08			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	30	2	6.666666667
50	30	4	13.333333333
65	30	6	20
85	30	3	10
100	30	6	20

Tabla 76. Resultados de probit empírico y calculado 21 septiembre 2008.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
50	1.7	3.87	3.93
65	1.81	4.16	3.99
85	1.93	3.87	4.05
100	2	4.16	4.08

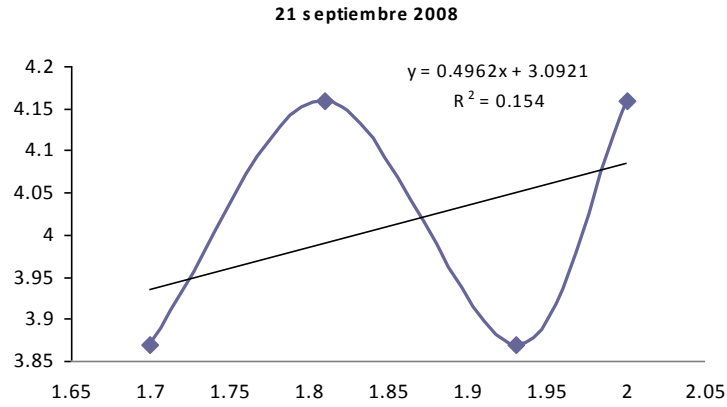


Figura 21. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 21 septiembre 2008.

Para $Y = 5$ $x = 3.85$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 3.85 = 6918\%$$

Tabla 77. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 21 septiembre 2008

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
2	1.7	30	3.93	0.4	12	20.4	34.68	3.85	1.86
	1.81	30	3.99	0.439	13.17	23.8377	43.146237		
	1.93	30	4.05	0.471	14.13	27.2709	52.632837		
	2	30	4.08	0.471	14.13	28.26	56.52		
$\Sigma =$					53.43	99.7686	186.97907		

Muestra: **06 de octubre de 2008**

Tabla 78. Resultados de mortalidad prueba definitiva 06 octubre 2008

PRUEBA DEFINITIVA 06/10/08			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	30	3	10
50	30	6	20
65	30	7.5	25
85	30	9	30
100	30	12	40

Tabla 79. Resultados de probit empírico y calculado 06 octubre 2008.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
50	1.7	4.16	4.13
65	1.81	4.33	4.33
85	1.93	4.45	4.55
100	2	4.75	4.67

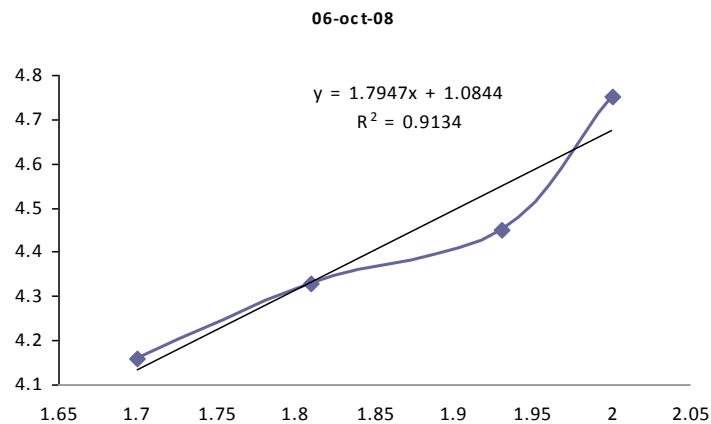


Figura 22. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 06 octubre 2008.

Para $Y = 5$ $x = 2.18$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 2.18 = 151\%$$

Tabla 80. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 06 octubre 2008

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
0.555	1.7	30	4.13	0.471	14.13	24.021	40.8357	2.18	1.871
	1.81	30	4.33	0.532	15.96	28.8876	52.286556		
	1.93	30	4.55	0.601	18.03	34.7979	67.159947		
	2	30	4.67	0.616	18.48	36.96	73.92		
Σ=					66.6	124.6665	234.2022		

Muestra: 21 de octubre de 2008

Tabla 81. Resultados de mortalidad prueba definitiva 21 octubre 2008

PRUEBA DEFINITIVA 21/10/08			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	30	1	3.33333333
55	30	14.5	48.33333333
70	30	7	23.33333333
85	30	10	33.33333333
100	30	9	30

Tabla 82. Resultados de probit empírico y calculado 21 octubre 2008.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
55	1.74	4.95	4.7
70	1.84	4.26	4.45
85	1.93	3.72	4.22
100	2	4.48	4.04

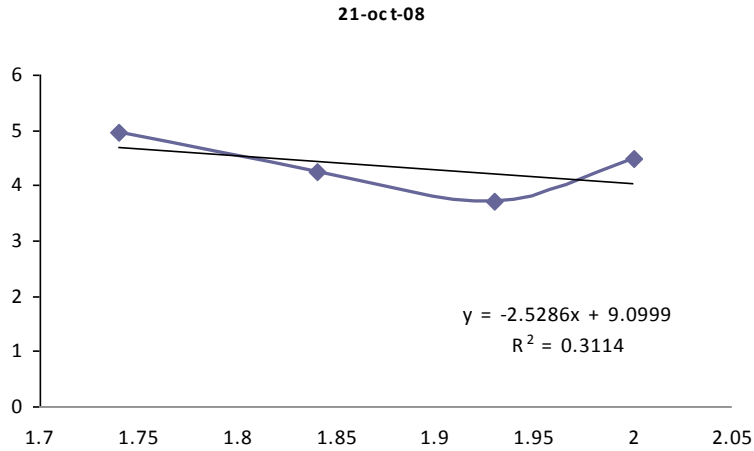


Figura 23. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 21 octubre 2008.

Para $Y = 5$ $x = 1.62$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 1.62 = 42\%$$

Tabla 83. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 21 octubre 2008

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
-0.393	1.74	30	4.7	0.616	18.48	32.1552	55.950048	1.62	1.86
	1.84	30	4.45	0.581	17.43	32.0712	59.011008		
	1.93	30	4.22	0.503	15.09	29.1237	56.208741		
	2	30	4.04	0.439	13.17	26.34	52.68		
Σ=					64.17	119.6901	223.8498		

Muestra: **05 de noviembre de 2008**

Tabla 84. Resultados de mortalidad prueba definitiva 05 noviembre 2008

PRUEBA DEFINITIVA 05/11/08			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	30	2	6.666666667
50	30	2	6.666666667
65	30	5	16.66666667
80	30	7	23.33333333
95	30	2	6.666666667

Tabla 85. Resultados de probit empírico y calculado 05 noviembre 2008.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
50	1.7	3.52	3.74
65	1.78	4.01	3.8
80	1.85	4.26	3.86
95	1.9	3.52	3.90

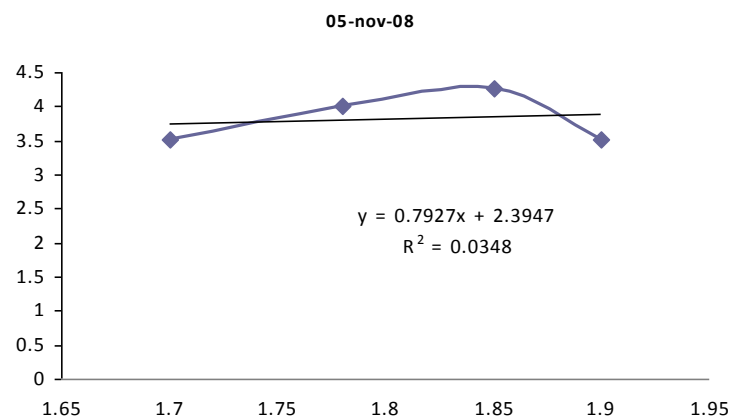


Figura 24. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 05 noviembre 2008.

Para $Y = 5$ $x = 3.28$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 3.28 = 1905\%$$

Tabla 86. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 05 noviembre 2008

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
1.25	1.7	30	3.74	0.336	10.08	17.136	29.1312	3.28	1.81
	1.78	30	3.8	0.37	11.1	19.758	35.16924		
	1.85	30	3.86	0.4	12	22.2	41.07		
	1.9	30	3.9	0.4	12	22.8	43.32		
Σ=					45.18	81.894	148.69044		

Muestra: 19 de noviembre de 2008

Tabla 87. Resultados de mortalidad prueba definitiva 19 noviembre 2008

PRUEBA DEFINITIVA 19/11/08			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	30	2	6.666666667
55	30	1.5	5
75	30	1	3.333333333
95	30	2.5	8.333333333

Tabla 88. Resultados de probit empírico y calculado 19 noviembre 2008.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
55	1.74	3.36	3.2
75	1.88	2.95	3.33
95	1.98	3.66	3.43

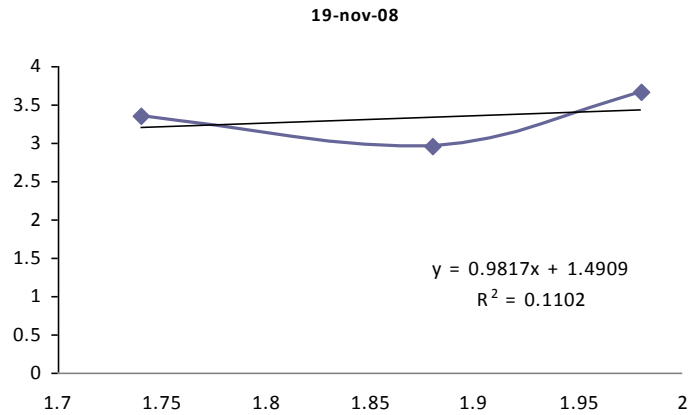


Figura 25. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 19 noviembre 2008.

Para $Y = 5$ $x = 3.58$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 3.58 = 3801\%$$

Tabla 89. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 19 noviembre 2008

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
1.04	1.74	30	3.2	0.18	5.4	9.396	16.34904	3.58	1.87
	1.88	30	3.33	0.208	6.24	11.7312	22.054656		
	1.98	30	3.43	0.238	7.14	14.1372	27.991656		
Σ=					18.78	35.2644	66.395352		

Muestra: **04 de diciembre de 2008**

Tabla 90. Resultados de mortalidad prueba definitiva 04 diciembre 2008

PRUEBA DEFINITIVA 04/12/08			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	30	2	6.666666667
55	30	4	13.333333333
75	30	4.5	15
95	30	5	16.666666667

Tabla 91. Resultados de probit empírico y calculado 04 diciembre 2008.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
55	1.74	3.87	3.85
75	1.88	3.92	3.95
95	1.98	4.05	4.03

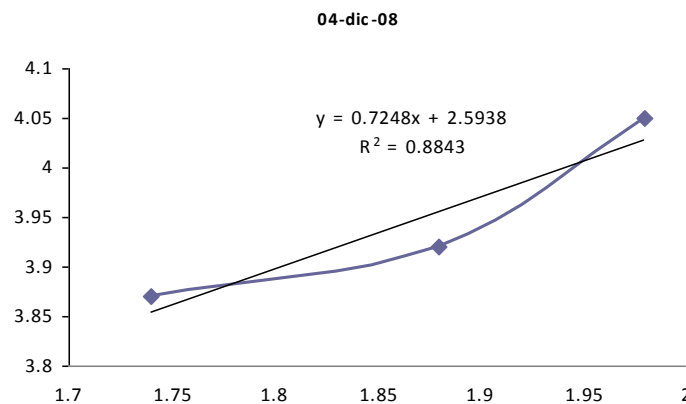


Figura 26. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 04 diciembre 2008.

Para $Y = 5$ $x = 3.32$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 3.32 = 2089\%$$

Tabla 92. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 04 diciembre 2008

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
1.33	1.74	30	3.85	0.4	12	20.88	36.3312	3.32	1.87
	1.88	30	3.95	0.439	13.17	24.7596	46.548048		
	1.98	30	4.03	0.439	13.17	26.0766	51.631668		
Σ=					38.34	71.7162	134.51092		

Muestra: 19 de enero de 2009

Tabla 93. Resultados de mortalidad prueba definitiva 19 enero 2009

PRUEBA DEFINITIVA 19/01/09			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	30	0	0
50	30	3	10
60	30	2	6.66666667
70	30	6	20
80	30	2	6.66666667
90	30	4	13.33333333

Tabla 94. Resultados de probit empírico y calculado 19 enero 2009.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
50	1.7	3.72	4.62
60	1.78	3.52	4.52
70	1.84	4.16	4.82
80	1.9	3.52	4.52
90	1.95	3.87	4.68

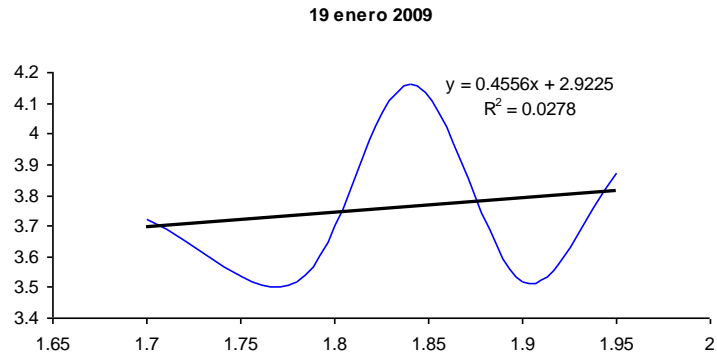


Figura 27. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 19 enero 2009.

Para $Y = 5$ $x = 4.55$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 3.85 = 36301\%$$

Tabla 95. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 19 enero 2009

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
4.16	1.7	30	4.62	0.336	10.08	17.136	29.1312	4.55	1.83
	1.78	30	4.52	0.336	10.08	17.9424	31.937472		
	1.84	30	4.82	0.37	11.1	20.424	37.58016		
	1.9	30	4.52	0.37	11.1	21.09	40.071		
	1.95	30	4.68	0.37	11.1	21.645	42.20775		
$\Sigma =$					53.46	98.2374	180.92758		

Muestra: **03 de febrero de 2009**

Tabla 96. Resultados de mortalidad prueba definitiva 03 febrero 2009

PRUEBA DEFINITIVA 03/02/09			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	30	0	0
55	30	1	3.333333333
75	30	2	6.666666667
95	30	5.5	18.33333333

Tabla 97. Resultados de probit empírico y calculado 03 febrero 2009.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
55	1.74	3.12	3.07
75	1.88	3.52	3.64
95	1.98	4.12	4.05

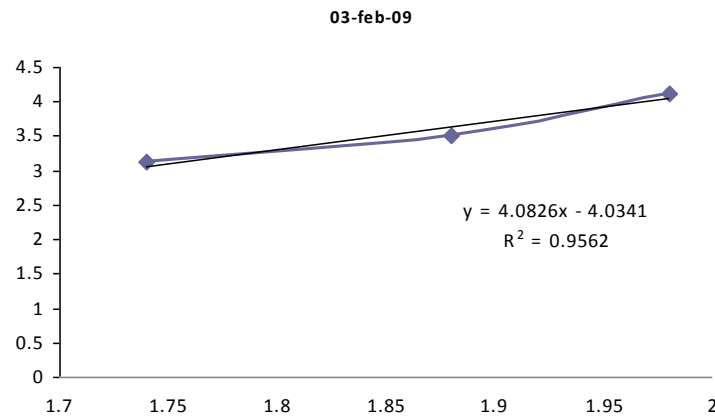


Figura 28. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 03 febrero 2009.

Para $Y = 5$ $x = 2.21$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 2.21 = 162\%$$

Tabla 98. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 03 febrero 2009

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
0.244	1.74	30	3.07	0.131	3.93	6.8382	11.898468	2.21	1.91
	1.88	30	3.64	0.302	9.06	17.0328	32.021664		
	1.98	30	4.05	0.471	14.13	27.9774	55.395252		
Σ=					27.12	51.8484	99.315384		

Muestra: **25 de febrero de 2009**

Tabla 99. Resultados de mortalidad prueba definitiva 25 febrero 2009

PRUEBA DEFINITIVA 25/02/09			
CONCENTRACIÓN (%V/V)	No. ORGANISMOS EXPUESTOS	No. ORGANISMOS MUERTOS	% MORTALIDAD
TESTIGO	30	2	6.66666667
55	30	1	3.333333333
75	30	1.5	5
95	30	3	10

Tabla 100. Resultados de probit empírico y calculado 25 febrero 2009.

CONCENTRACIÓN (% V/V)	Log ₁₀ CONCENTRACIÓN	PROBIT EMPÍRICO (PE)	PROBIT CALCULADO (PC)
55	1.74	2.95	2.94
75	1.88	3.36	3.38
95	1.98	3.72	3.7

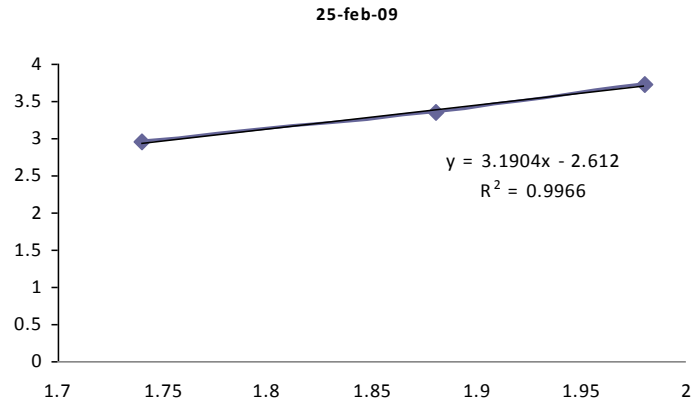


Figura 29. Grafica para cálculo de CL50 para ensayo definitivo 25 febrero 2009.

Para $Y = 5$ $x = 2.39$

$$CL_{50} = \text{AntiLog}_{10} 2.39 = 245\%$$

Tabla 101. Datos requeridos para cálculo de Error Patrón 25 febrero 2009

S	Log ₁₀ CONCENT. (X)	No. ORGANISMOS (N)	PROBIT CALCULADO (PC)	FACTOR PONDERADO (w)	PRODUCTO (Nw)	PRODUCTO (NwX)	PRODUCTO (NwX ²)	m	z
0.31	1.74	30	2.94	0.11	3.3	5.742	9.99108	2.39	1.90
	1.88	30	3.38	0.238	7.14	13.4232	25.235616		
	1.98	30	3.7	0.336	10.08	19.9584	39.517632		
Σ=					20.52	39.1236	74.744328		

ANEXO II

Graficas de comportamiento de resultados fisicoquímicos.

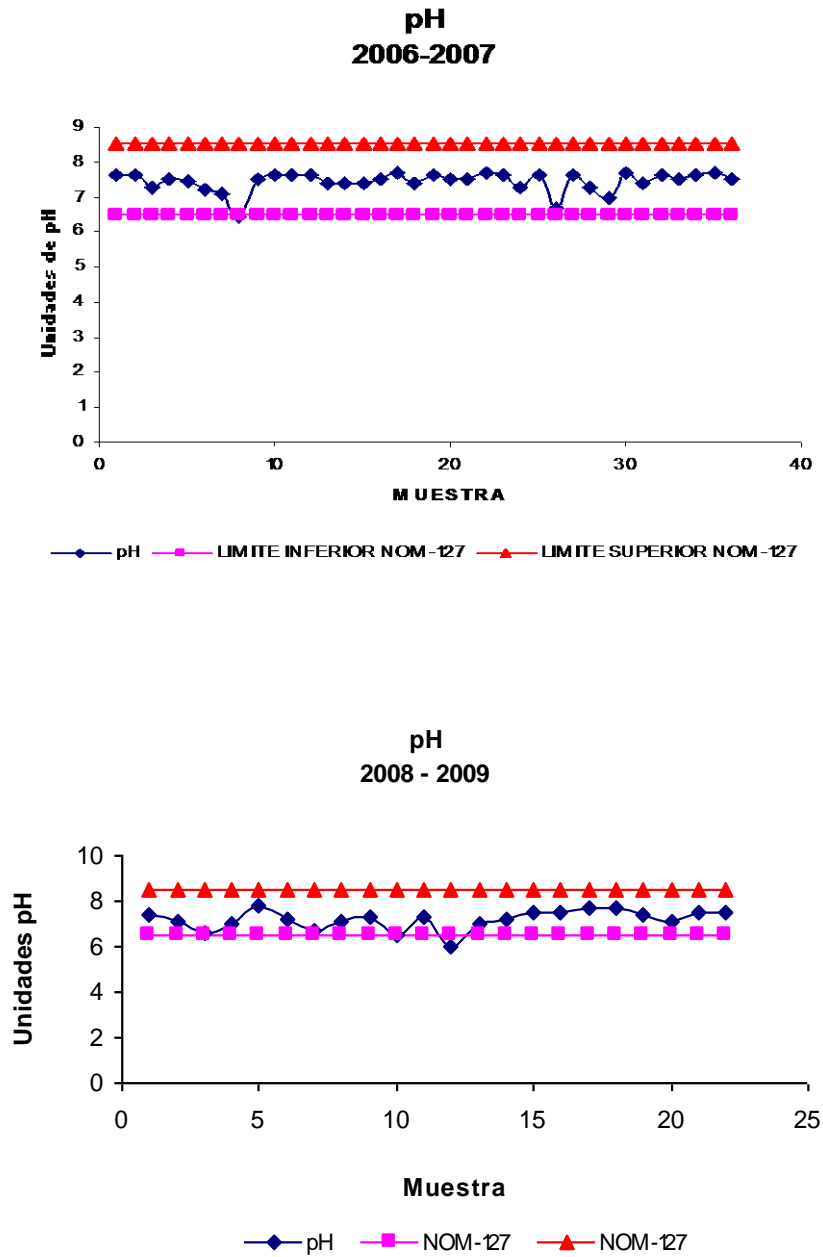
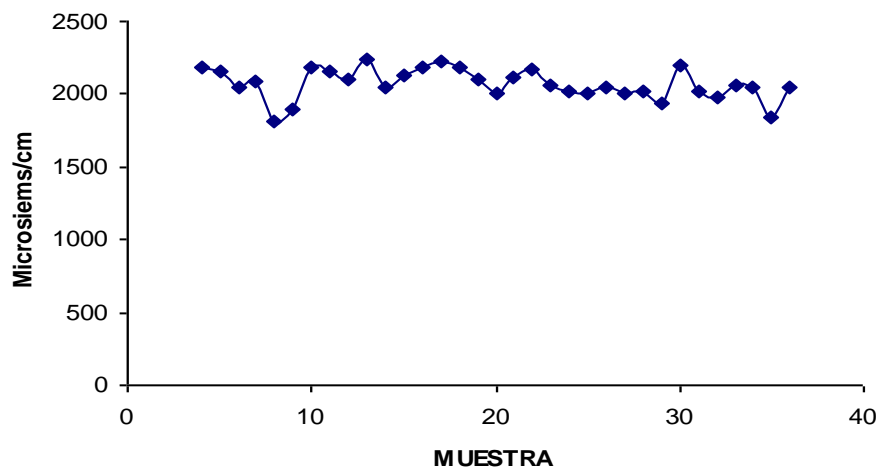


Figura 30. Comportamiento de pH.

**CONDUCTIVIDAD
2006 - 2007**



**CONDUCTIVIDAD
2008 - 2009**

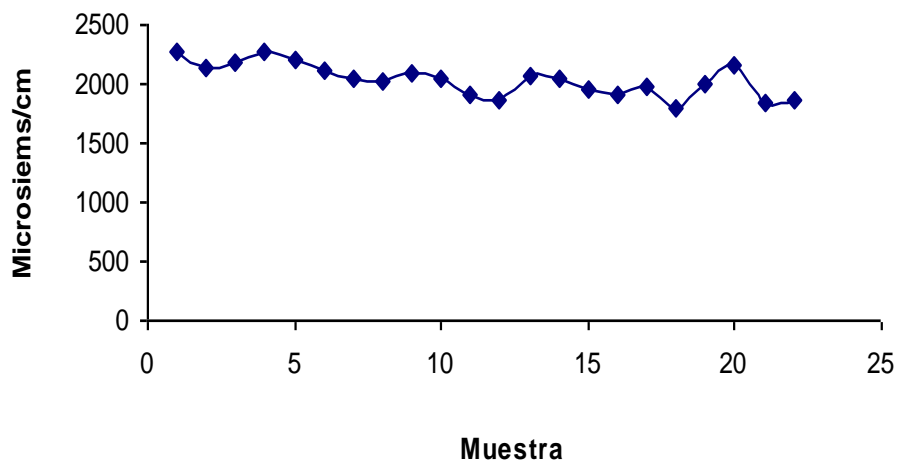
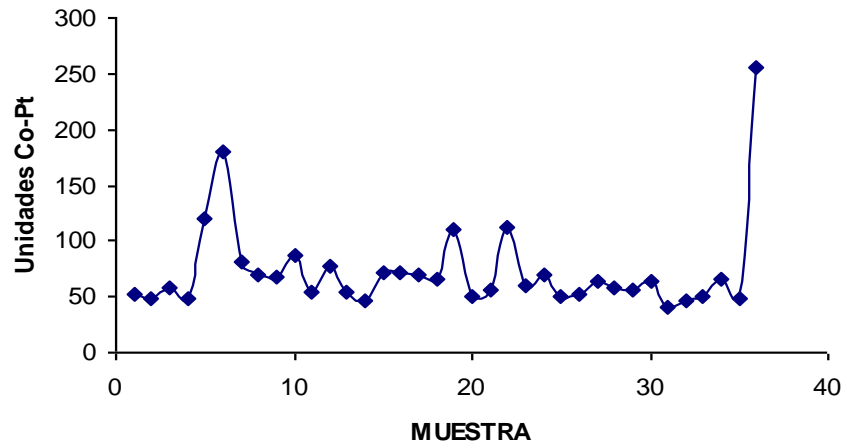


Figura 31. Comportamiento de Conductividad eléctrica.

COLOR
2006- 2007



COLOR
2008 - 2009

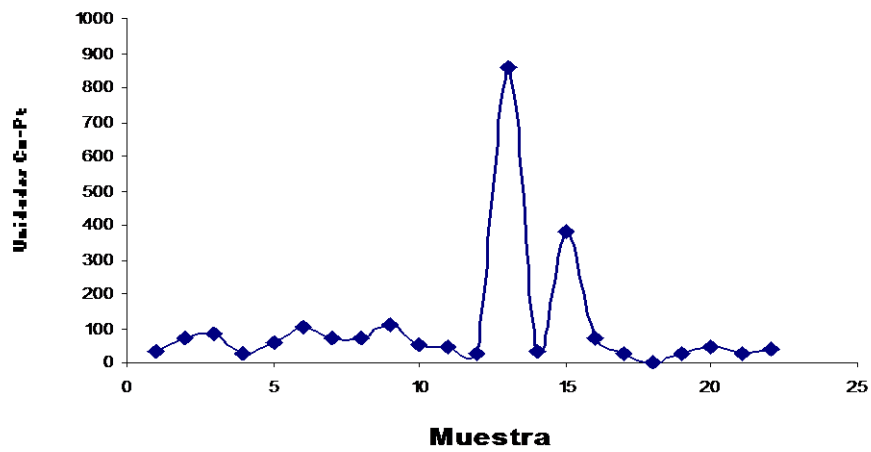


Figura 32. Comportamiento de Color verdadero.

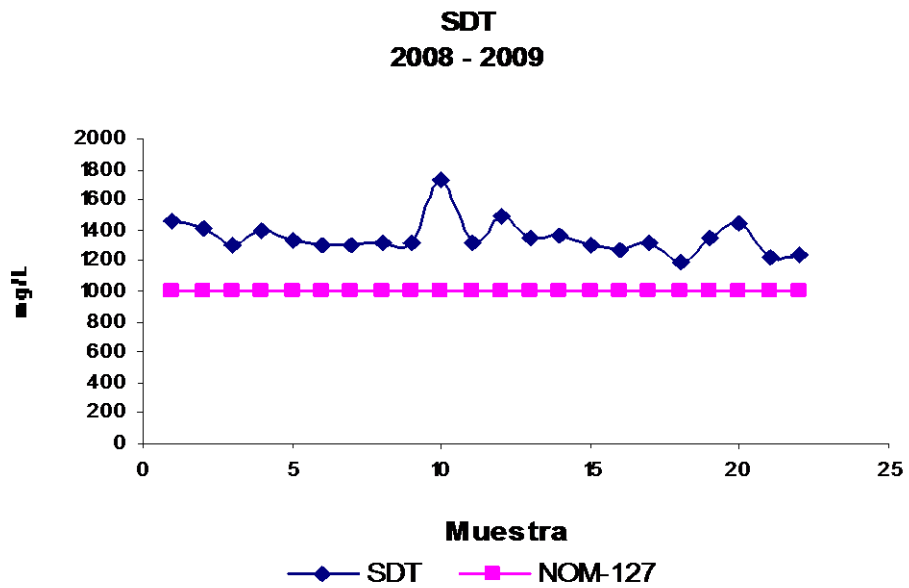
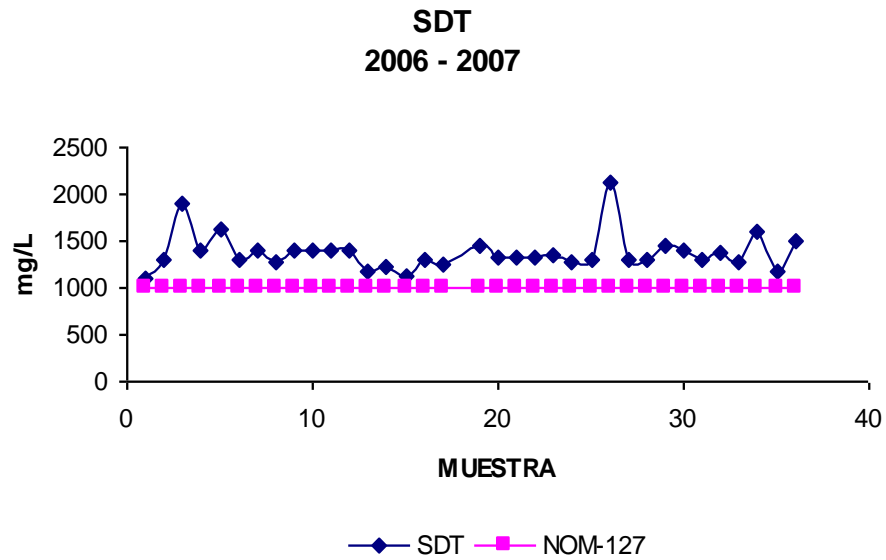


Figura 33. Comportamiento de Sólidos Disueltos Totales.

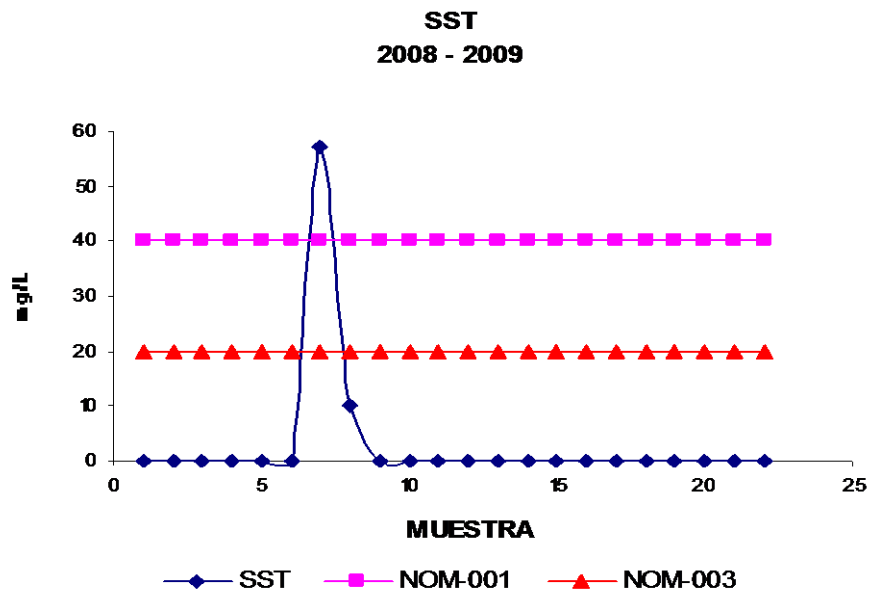
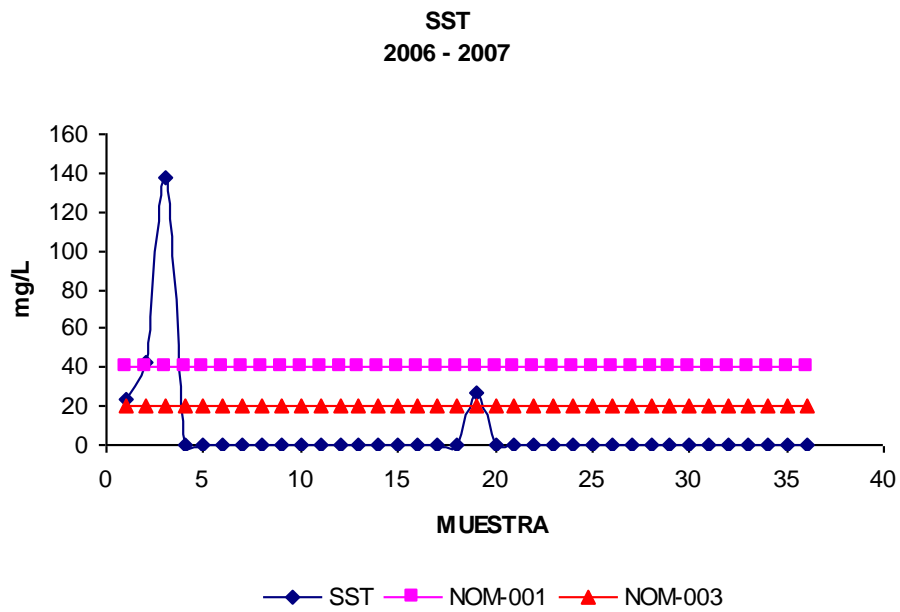
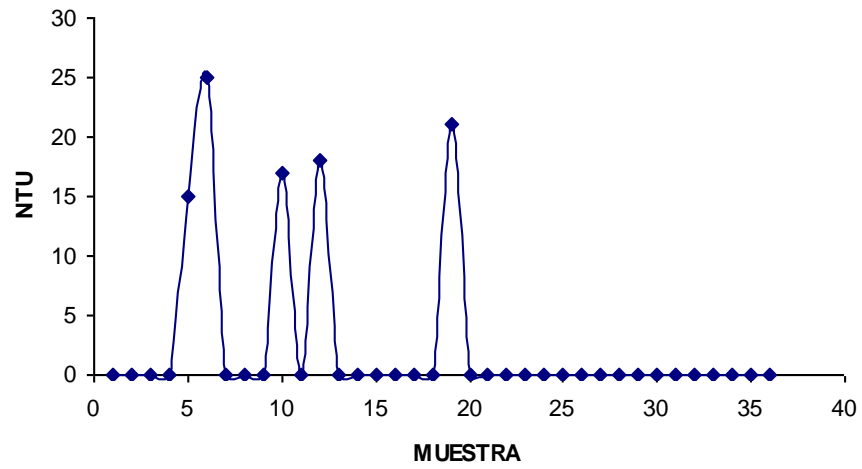


Figura 34. Comportamiento de Sólidos Suspendidos Totales.

**TURBIDEZ
2006 - 2007**



**TURBIDEZ
2008 - 2009**

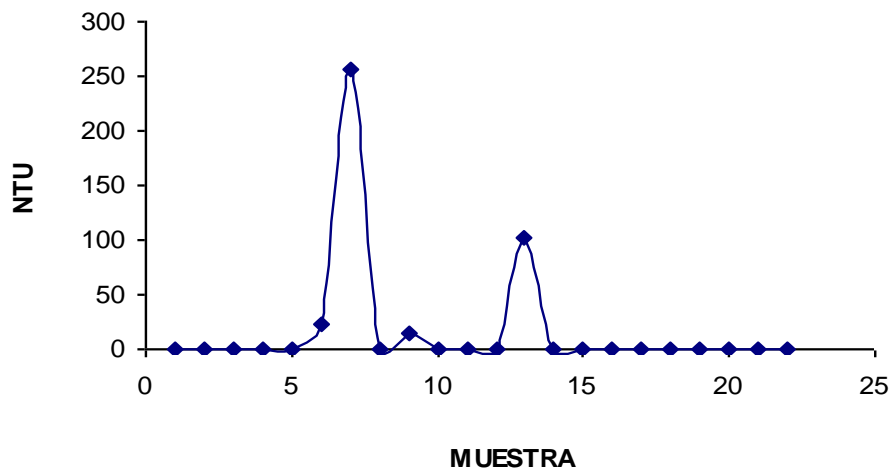
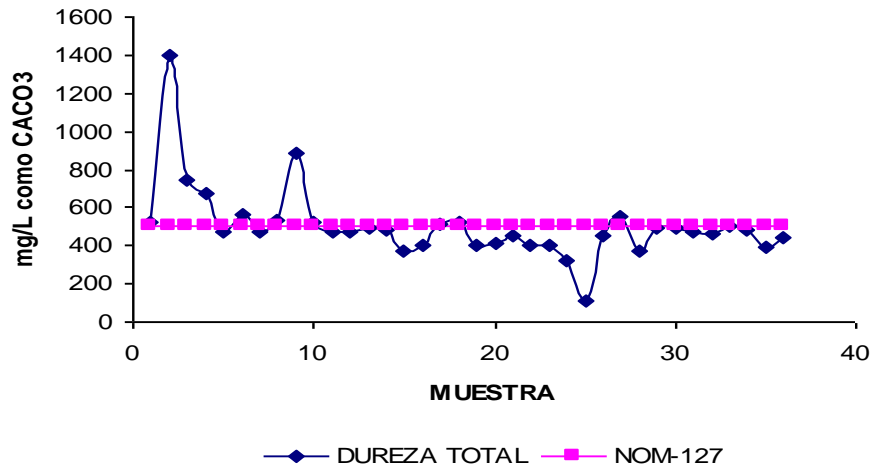


Figura 35. Comportamiento de Turbidez.

**DUREZA TOTAL
2006 - 2007**



**DUREZA TOTAL
2008 - 2009**

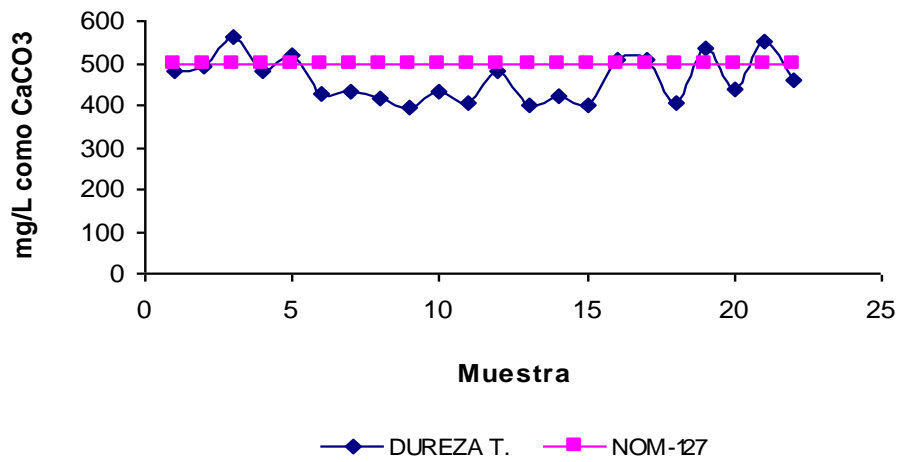
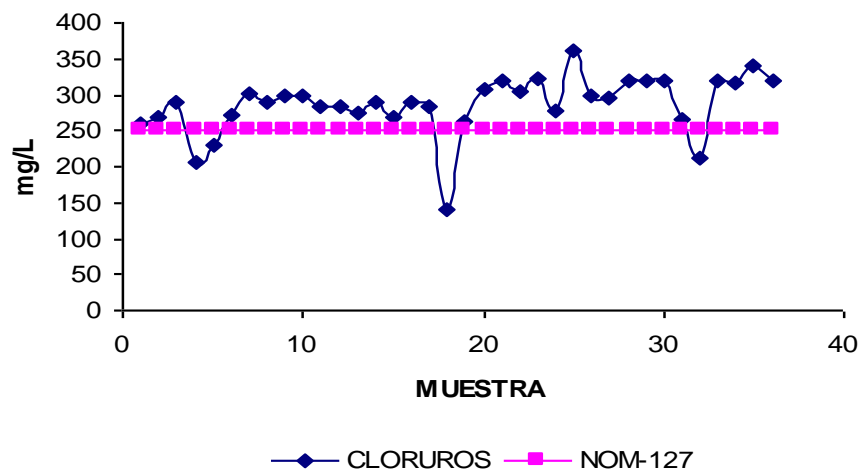


Figura 36. Comportamiento de Dureza Total.

CLOURUROS 2006 - 2007



CLOURUROS 2008 - 2009

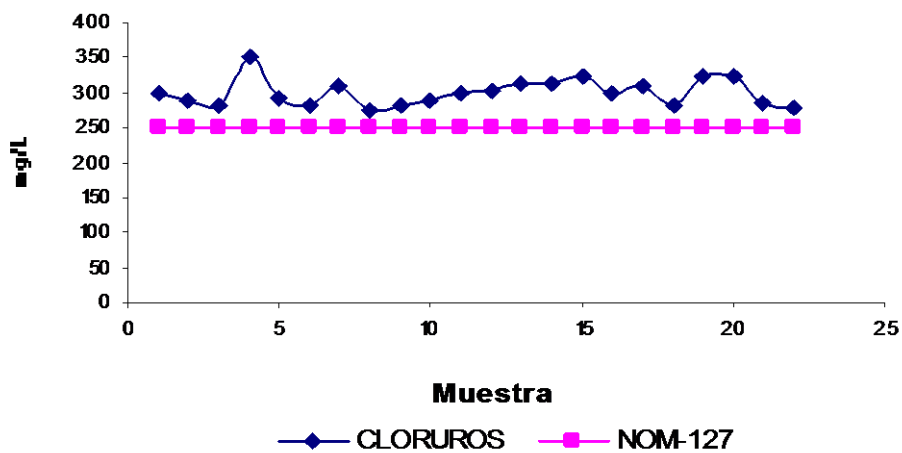
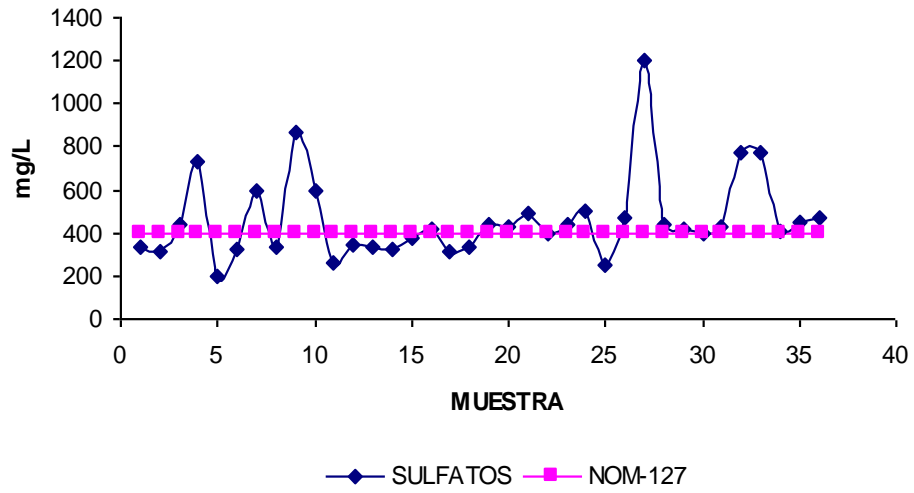


Figura 37. Comportamiento de Cloruros.

SULFATOS
2006 - 2007



SULFATOS
2008 - 2009

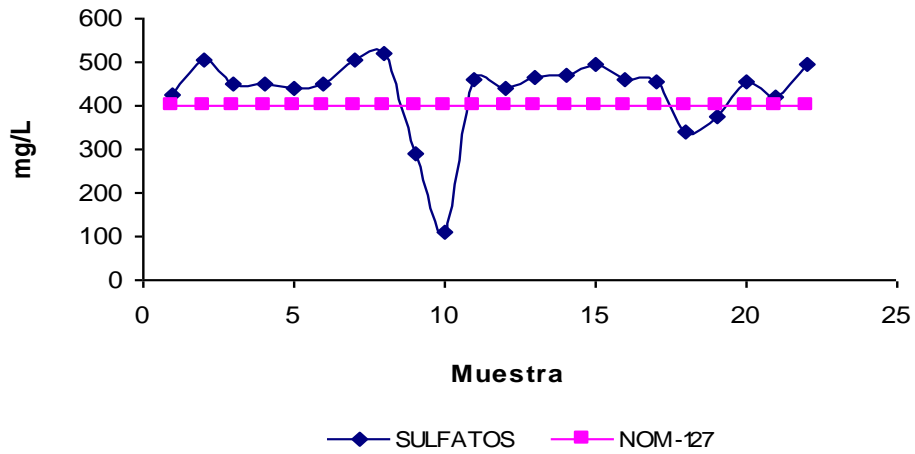
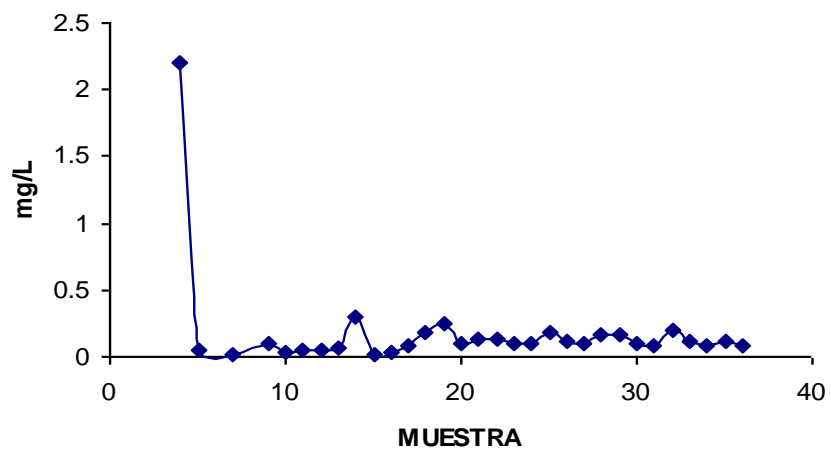


Figura 38. Comportamiento de Sulfatos.

COLORO TOTAL
2006 - 2007



COLORO TOTAL
2008 - 2009

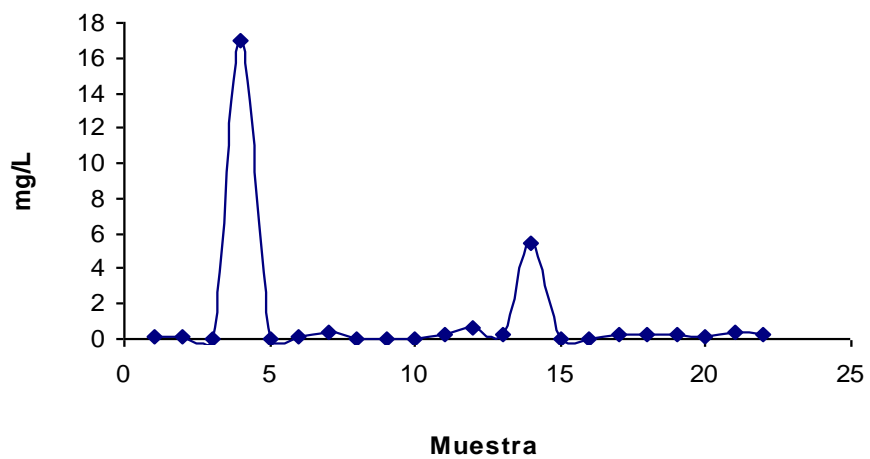
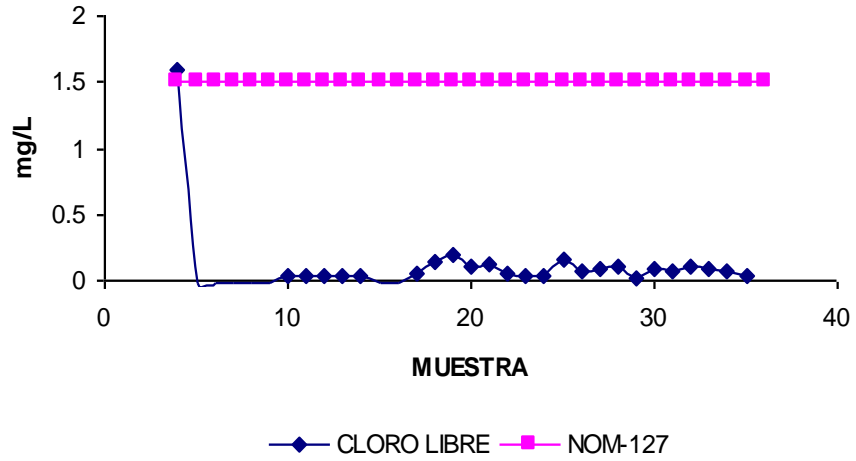


Figura 39. Comportamiento de Cloro total.

COLORO LIBRE
2006 - 2007



COLORO LIBRE
2008 - 2009

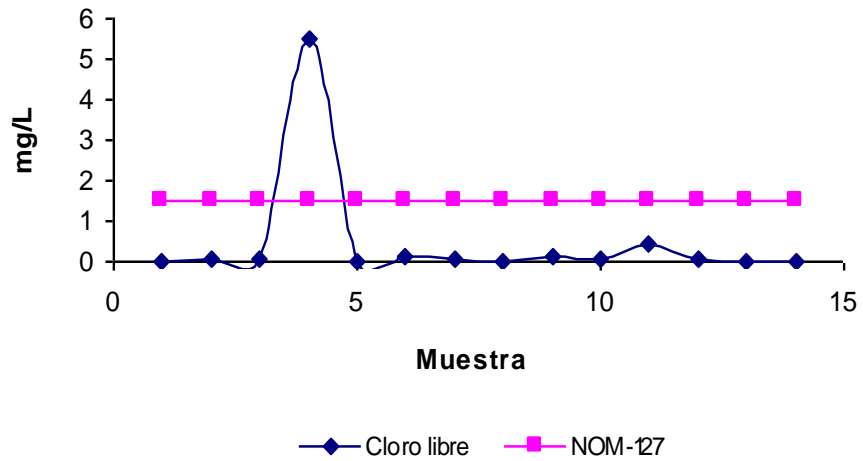


Figura 40. Comportamiento de Cloro libre.

**ACIDEZ TOTAL
2008 - 2009**

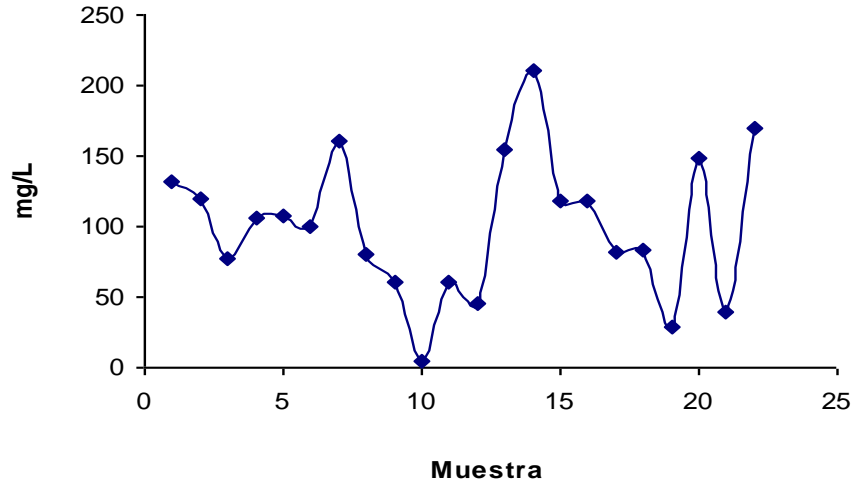


Figura 41. Comportamiento de Acidez total.

**ALCALINIDAD TOTAL
2008 - 2009**

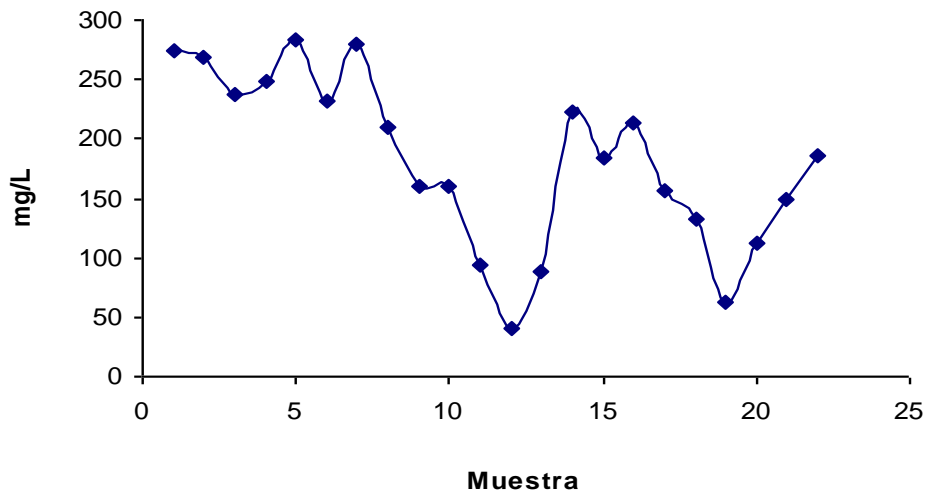


Figura 42. Comportamiento de Alcalinidad total.

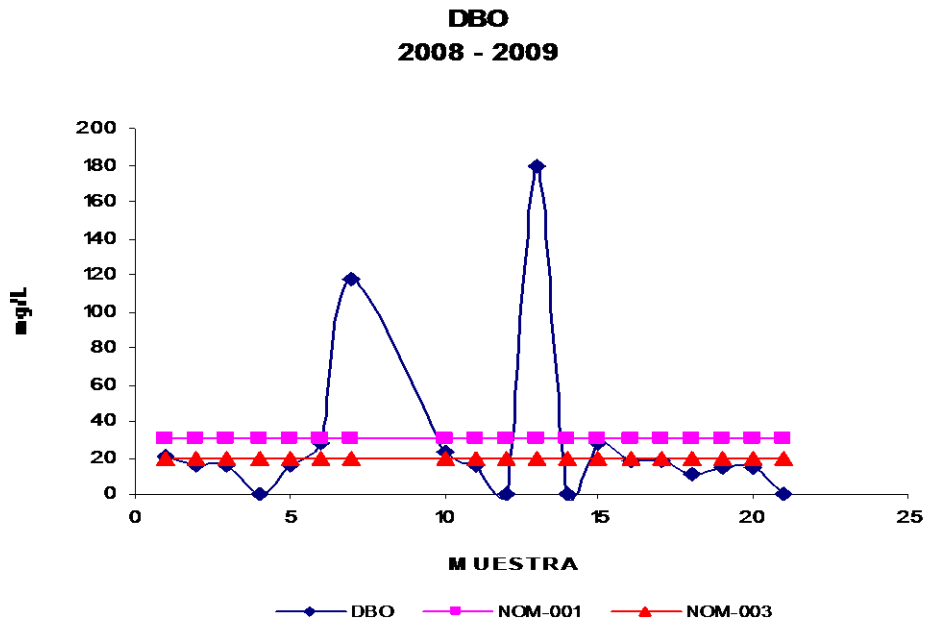
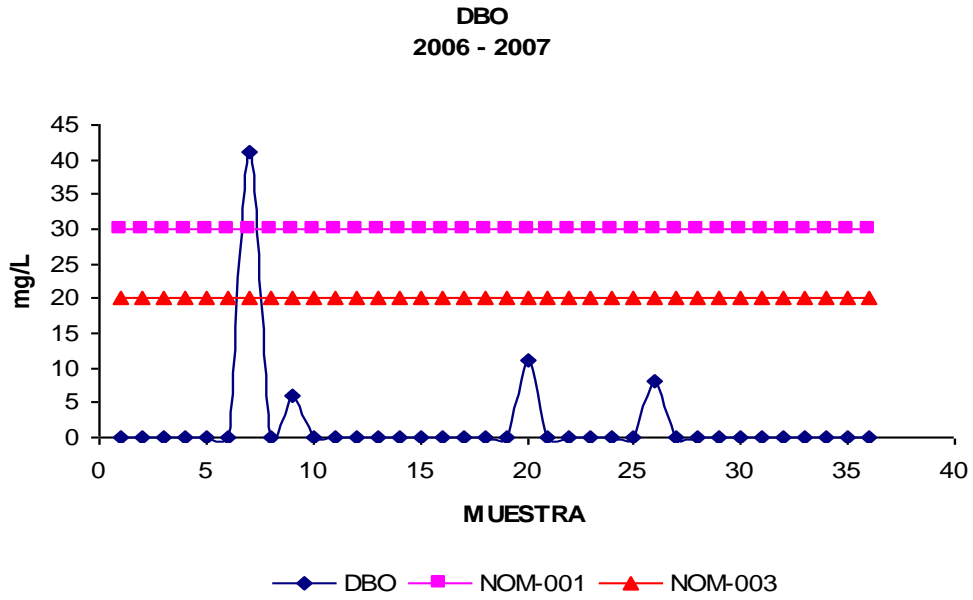


Figura 43. Comportamiento de Demanda Bioquímica de Oxígeno total.

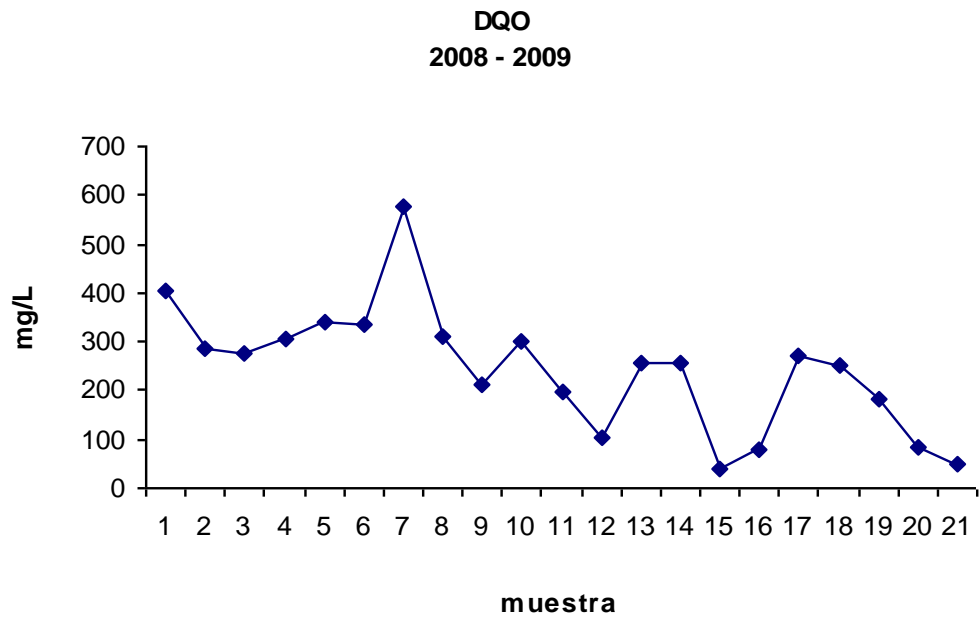
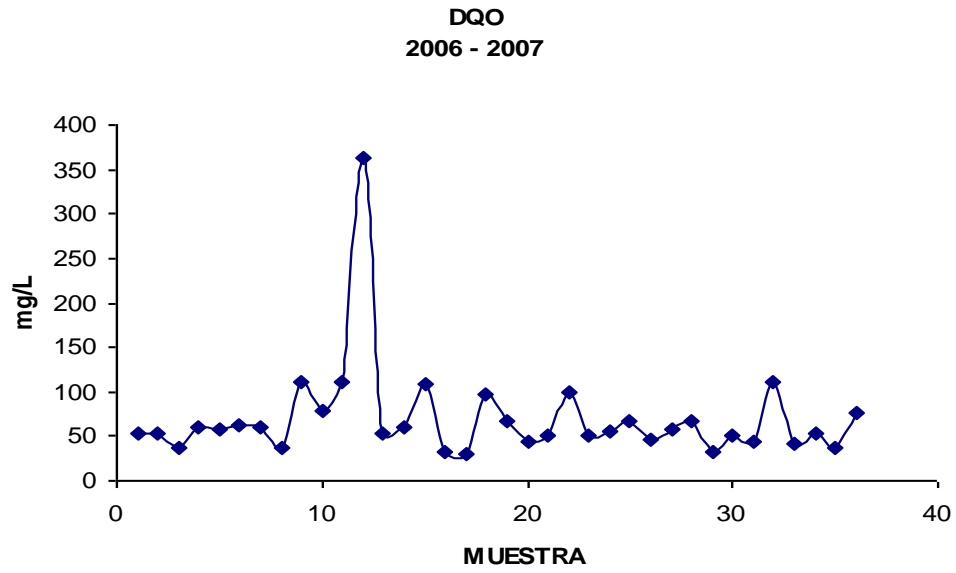
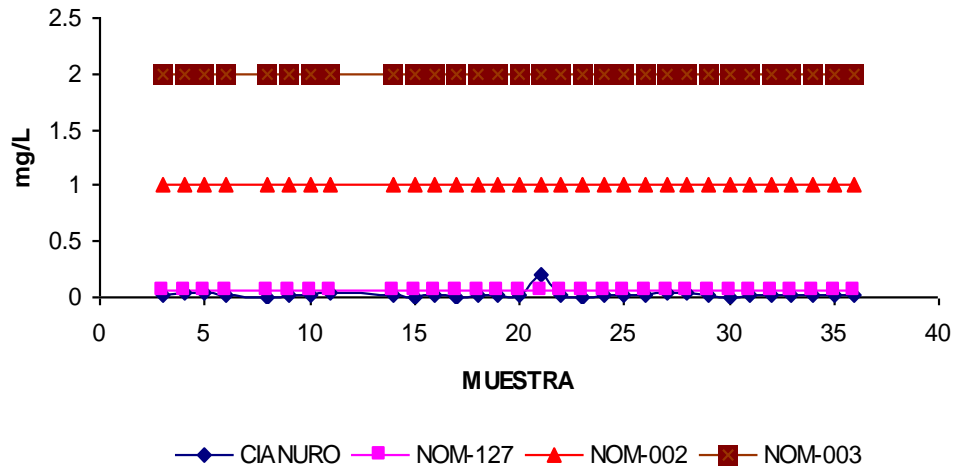


Figura 44. Comportamiento de Demanda Química de Oxígeno total.

CIANURO TOTAL
2006 - 2007



CIANURO TOTAL
2008 - 2009

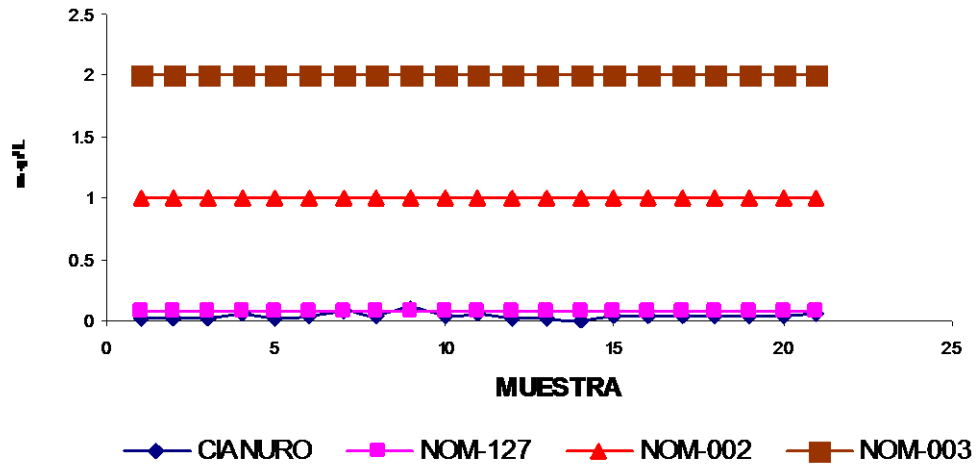


Figura 45. Comportamiento de Cianuro total.

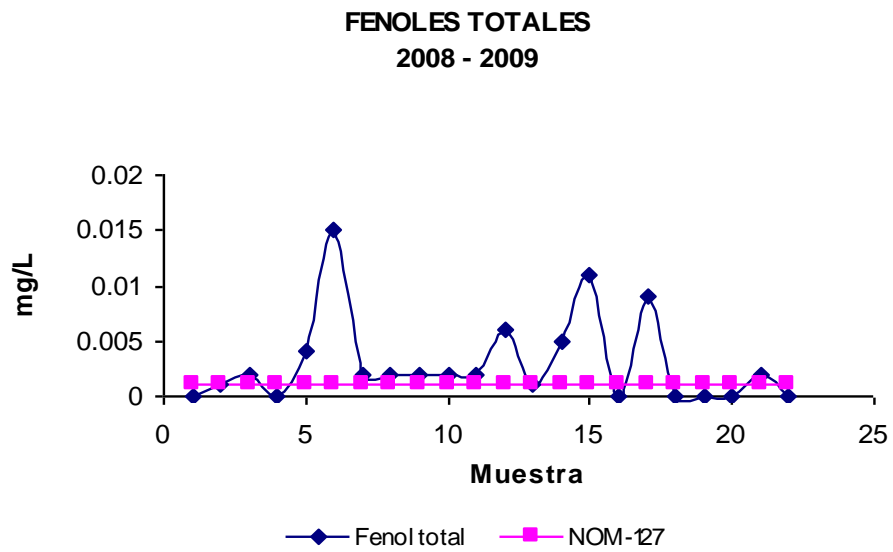
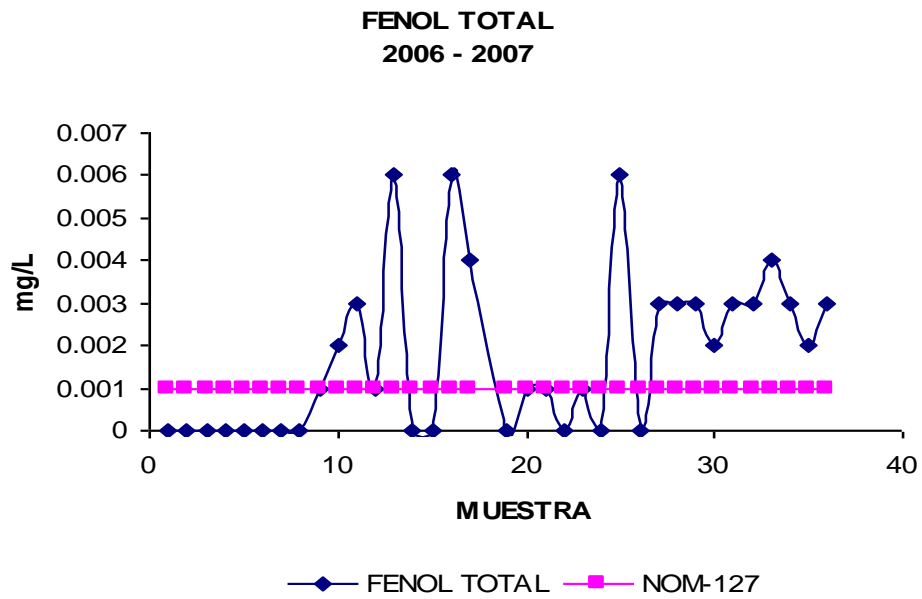


Figura 46. Comportamiento de Fenoles totales.

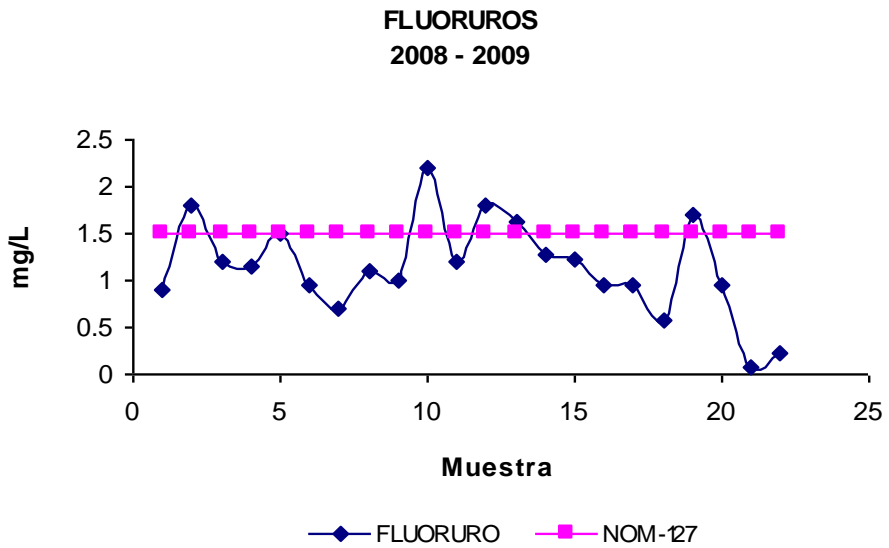
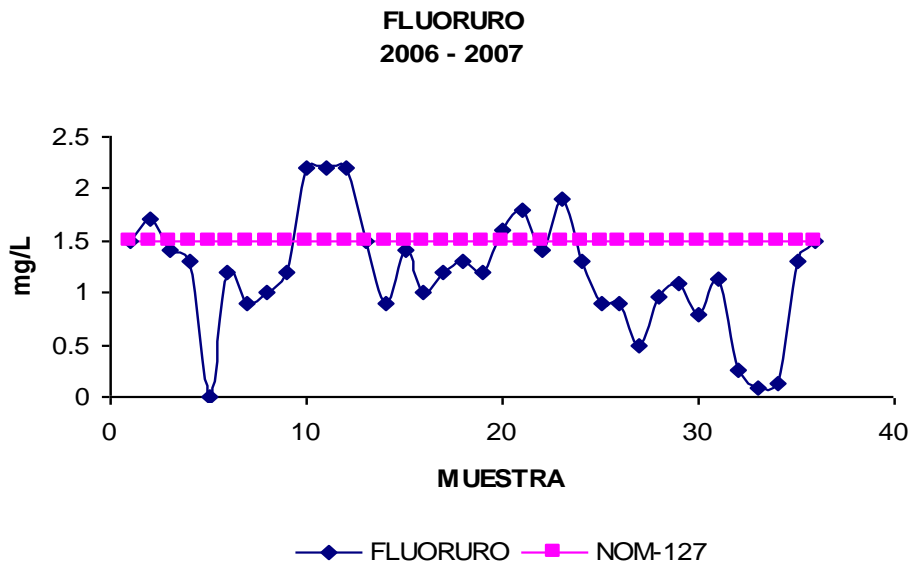
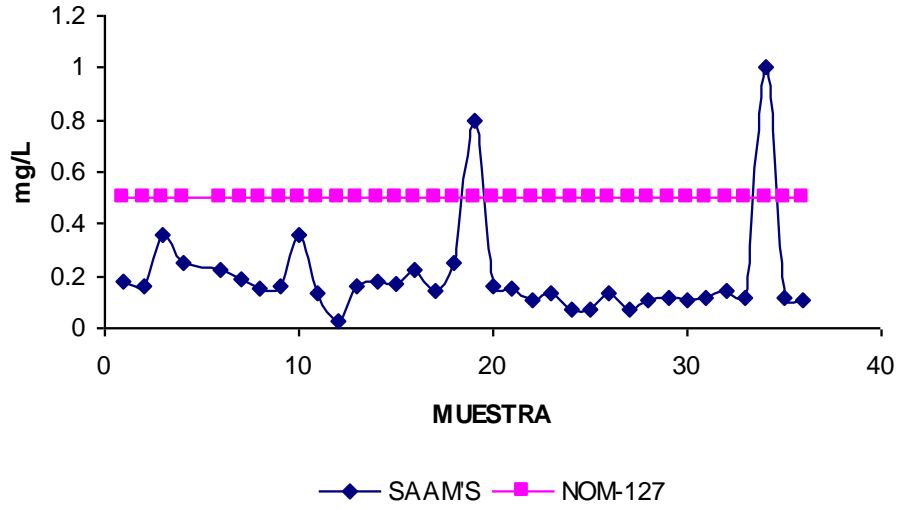


Figura 47. Comportamiento de Fenoles totales.

DETERGENTES
2006 - 2007



DETERGENTES
2008 - 2009

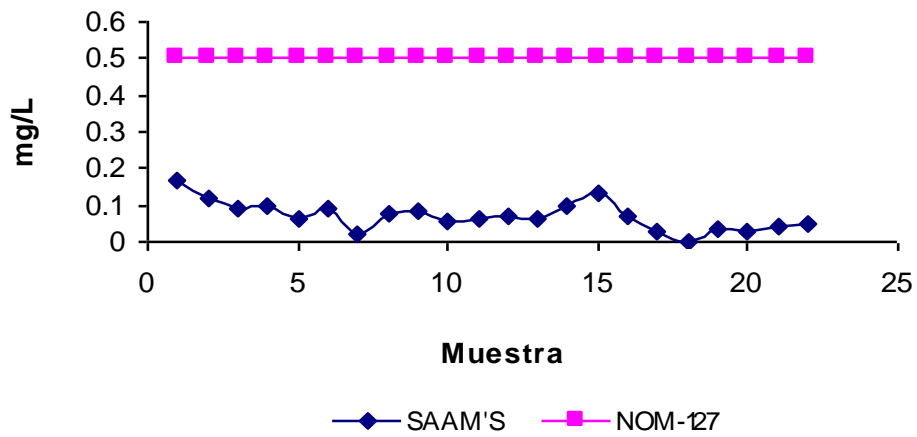
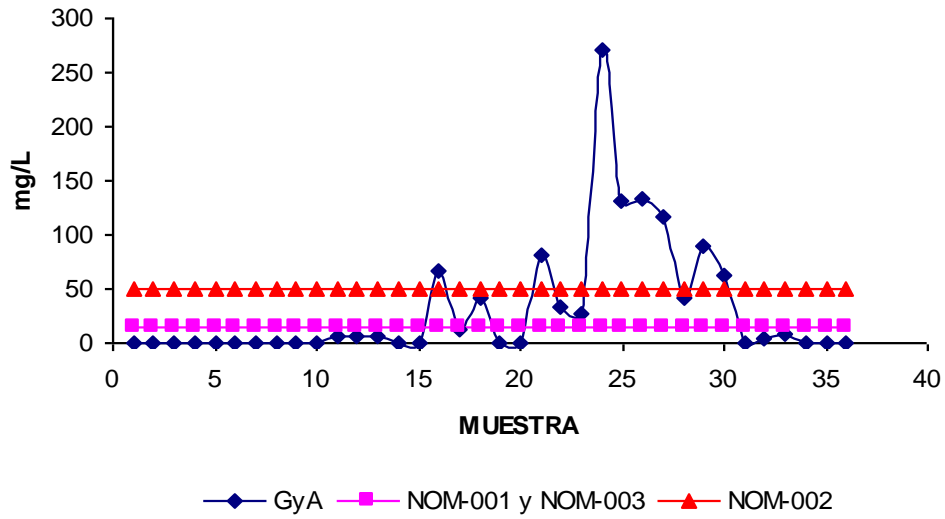


Figura 48. Comportamiento de Sustancias Activas al Azul de Metileno.

GRASAS Y ACEITES
2006 - 2007



GRASAS y ACEITES
2008 - 2009

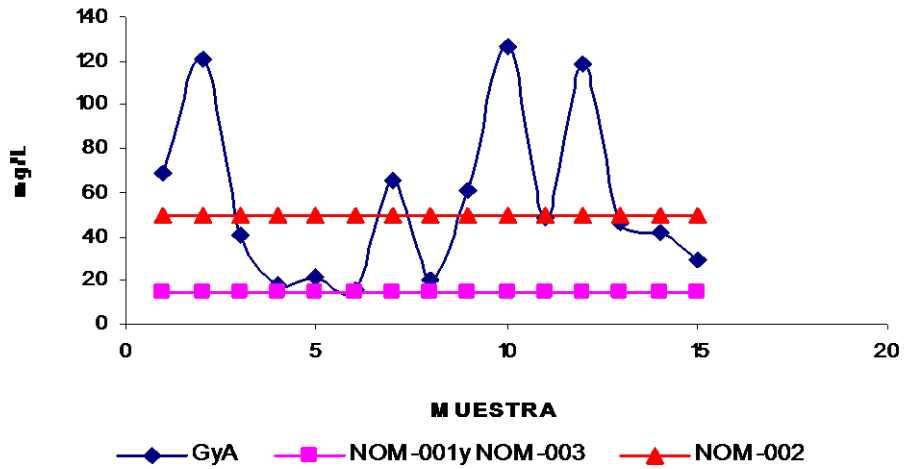
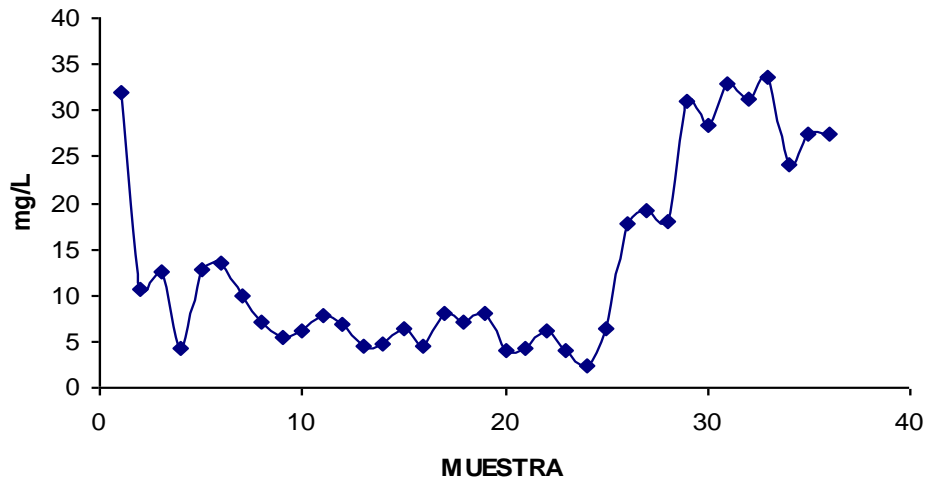


Figura 49. Comportamiento de Grasas y Aceites.

**ORTO FOSFATO
2006 - 2007**



**ORTO FOSFATO
2008 - 2009**

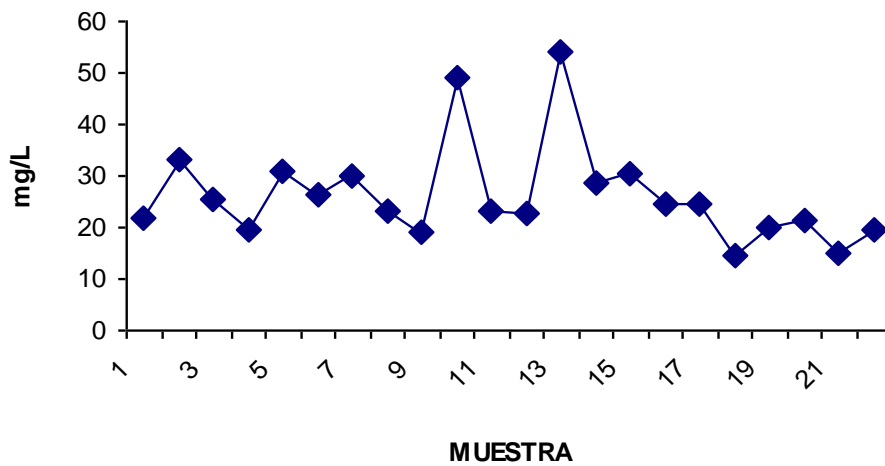


Figura 50. Comportamiento de Orto Fosfato (Fósforo reactivo).

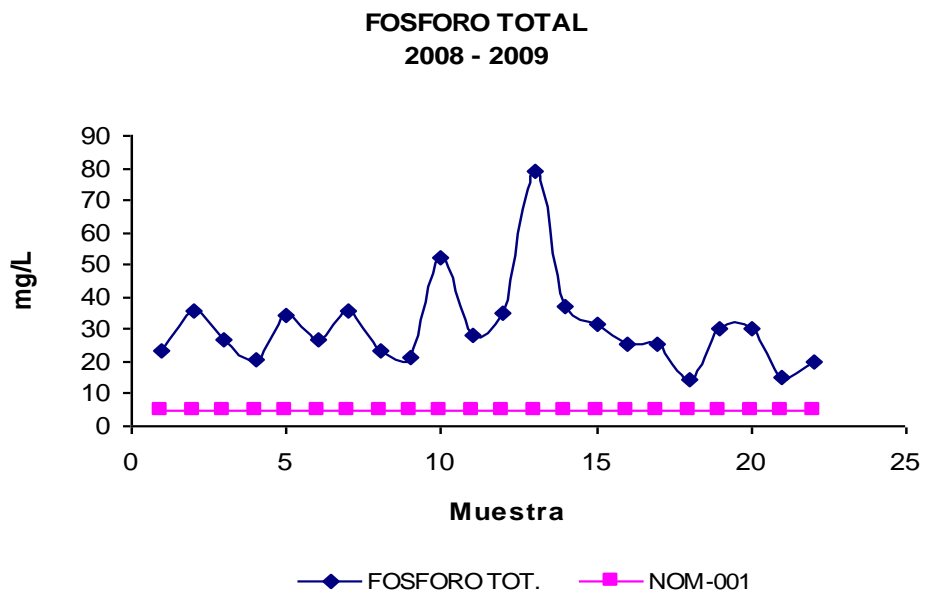
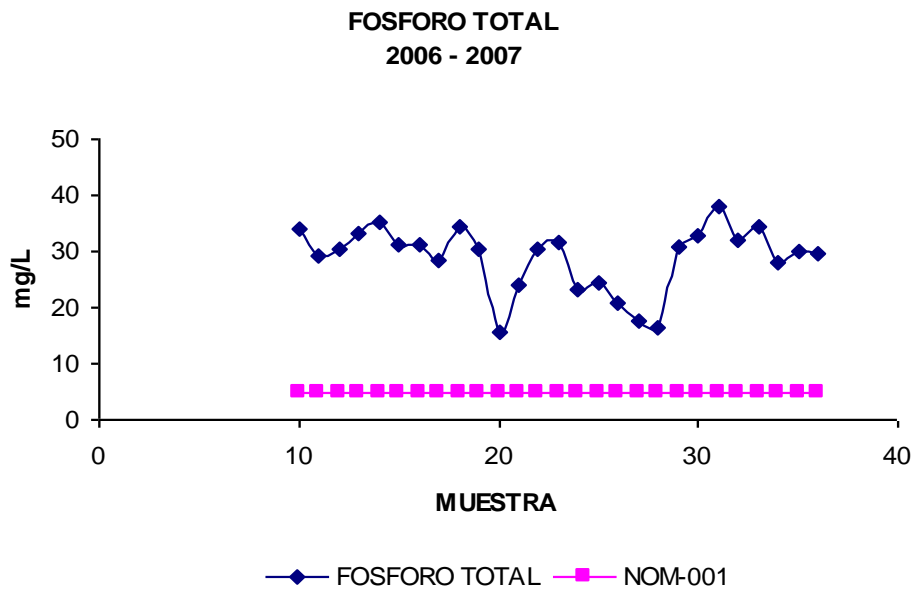
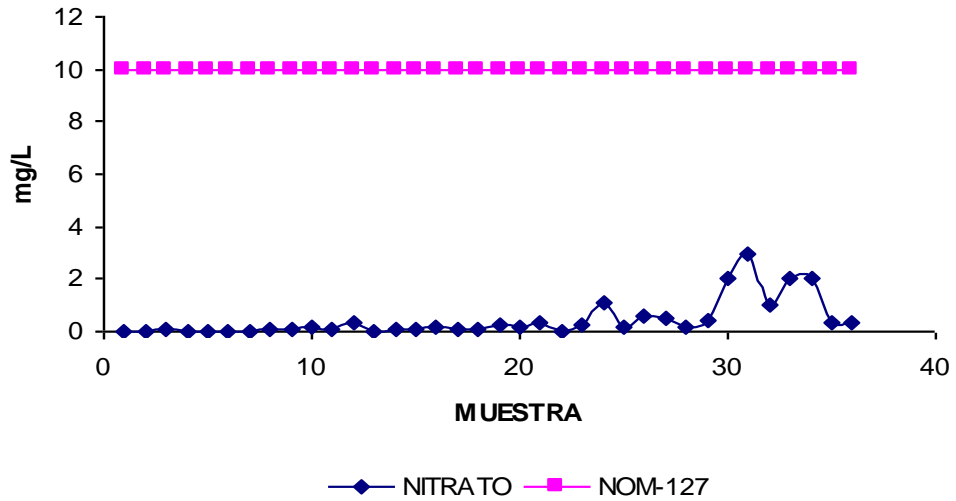


Figura 51. Comportamiento de Fósforo total.

**NITRATO
2006 - 2007**



**NITRATOS
2008 - 2009**

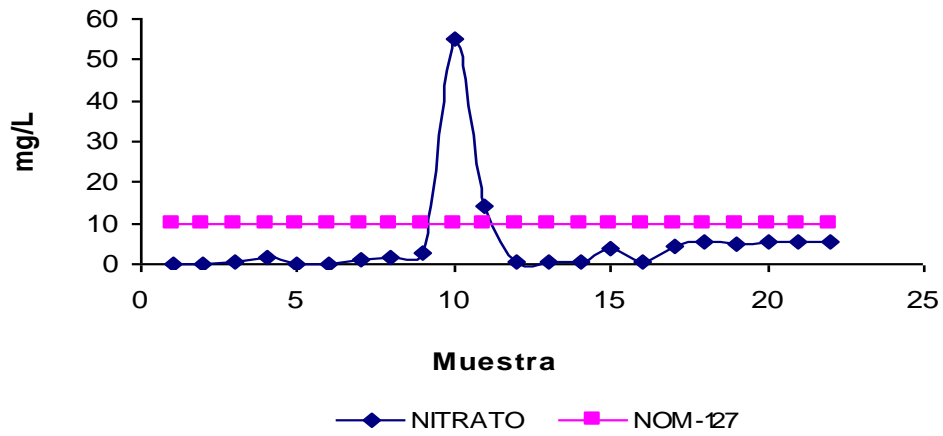
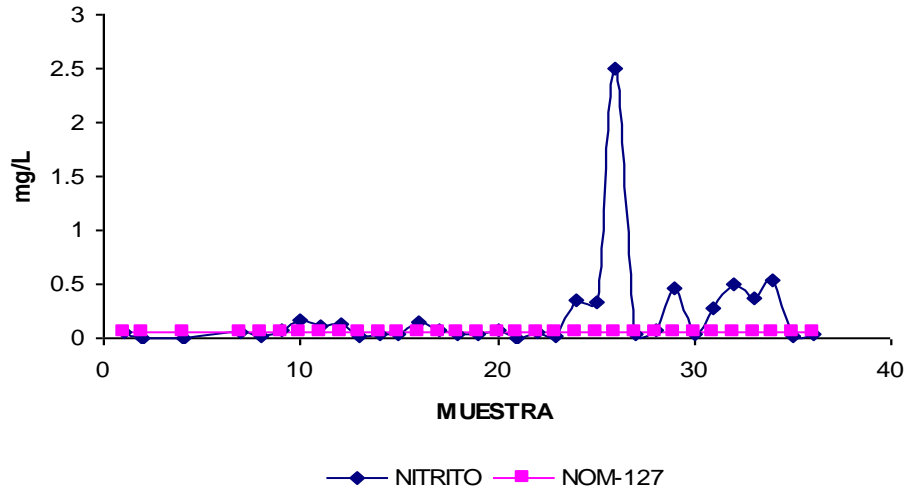


Figura 52. Comportamiento de Nitrógeno como Nitratos.

**NITRITOS
2006 - 2007**



**NITRITOS
2008 - 2009**

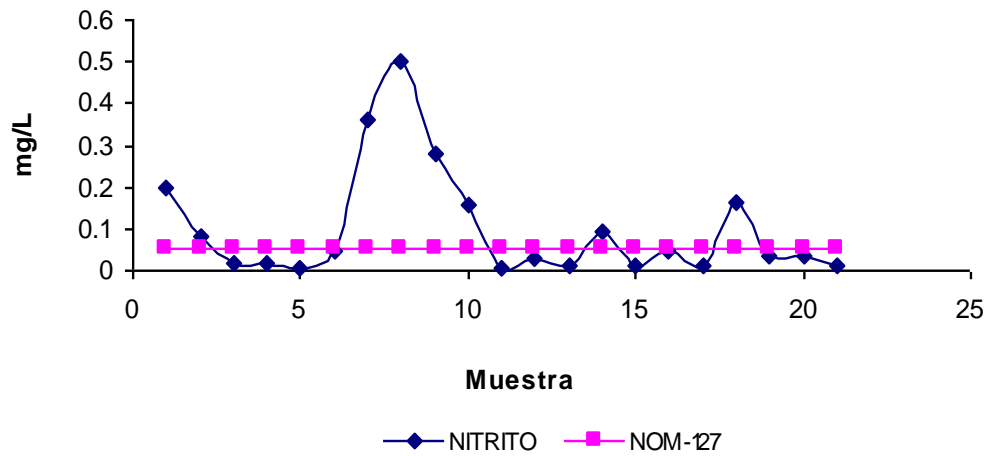


Figura 53. Comportamiento de Nitrógeno como Nitritos.

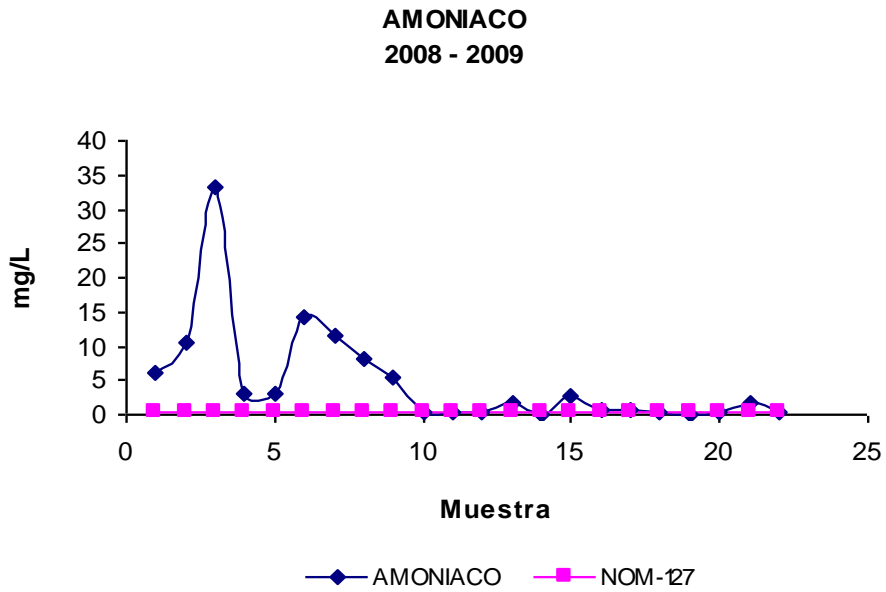
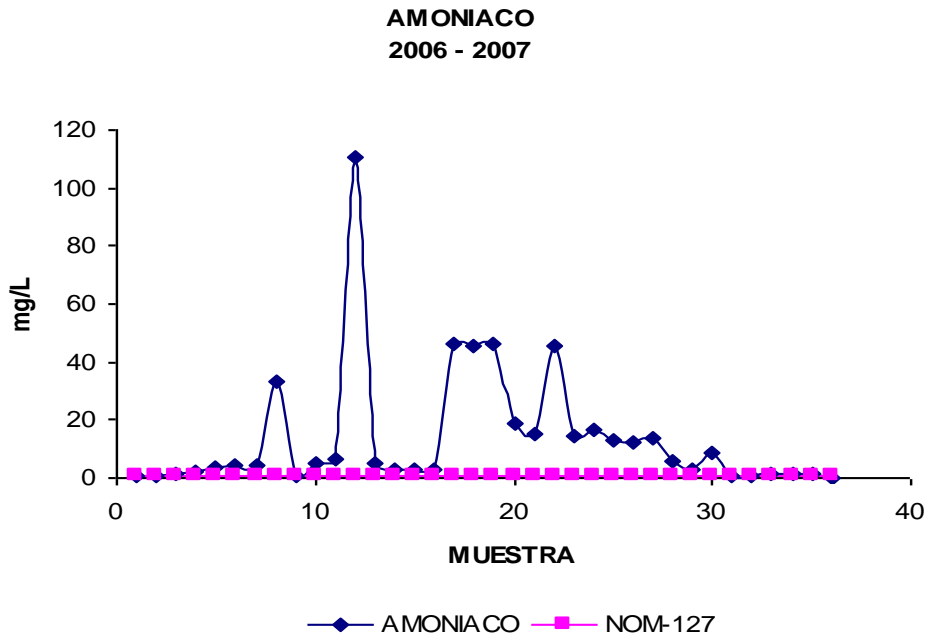


Figura 54. Comportamiento de Nitrógeno como Amoniac.

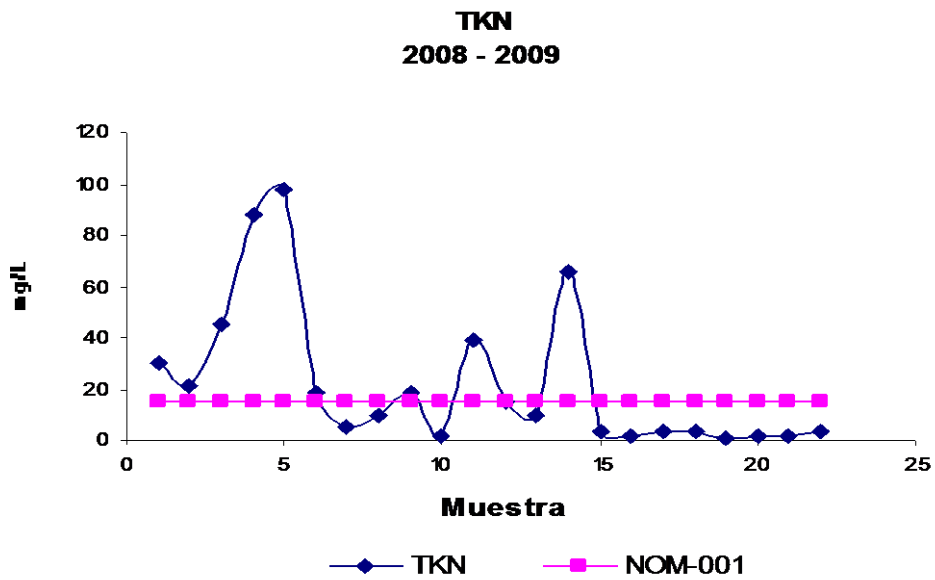
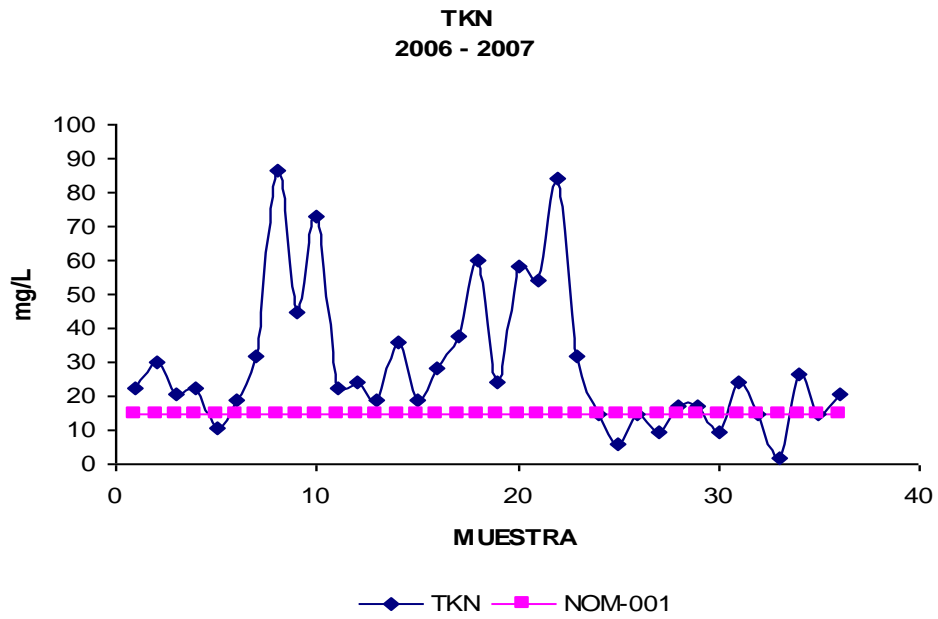


Figura 55. Comportamiento de Nitrógeno Total Kjendalh.

ANEXO III

Resultados de análisis estadístico de parámetros fisicoquímicos por estaciones.

Tabla 102. Resultados estación invierno 2006 – 2007.

MUESTRA	pH	COND.	COLOR	TURBIDEZ	SDT	SST	DUREZA TOTAL	CLORUROS	FLUORURO
1	7.6	1630	52	< 14	1100	23	520	259	1.5
2	7.6	1830	49	< 14	1300	42	1394	268	1.7
3	7.3	NR	58	< 14	1900	138	744	289	1.4
4	7.5	2190	48	< 14	1411	< 10	670	206	1.3
5	7.43	2150	120	15	1634	< 10	476	231	NR
MEDIA	7.48	1950	65.4	< 8.2	1469	36.6	760.8	250.6	1.475
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.126	267.33	30.77	12.969	308.65	60.908	370.325	32.485	0.170
VARIANZA	0.015	71466.6	946.8	168.2	95268	3709.8	137141.2	1055.3	0.0291

Tabla 103. Resultados estación invierno 2006 – 2007, continuación.

MUESTRA	FENOL TOTAL	SAAM'S	COLOR TOTAL	COLOR LIBRE	CIANURO	NITRATO	NITRITO	AMONIACO	TKN
1	< 0.001	0.18	NR	NR	< 0.01	0.02	0.05	0.44	22.5
2	< 0.001	0.16	NR	NR	-0.01	0.03	0.007	0.41	30
3	< 0.001	0.36	NR	NR	0.02	0.05	< 0.001	1.3	20.6
4	< 0.001	0.25	2.2	1.6	0.035	0.02	0.005	2.35	22.5
5	< 0.001	NR	0.05	< 0.02	0.034	0.03	< 0.001	3.9	10.3
MEDIA	< 0.001	0.2375	1.125	0.79	0.0138	0.03	0.012	1.68	21.18
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0	0.0903	1.520	1.1455	0.0225	0.0122	0.0215	1.472	7.0708
VARIANZA	0	0.00815	2.311	1.312	0.0005	0.00015	0.00046	2.1680	49.997

Tabla 104. Resultados estación invierno 2006 – 2007, continuación.

MUESTRA	ORTO FOSFATO	FOSFORO TOTAL	SULFATOS	GyA	DBO	DQO
1	32	NR	338	< 5	< 5	53
2	10.6	NR	315	< 5	< 5	53
3	12.5	NR	444	< 5	< 5	38
4	4.3	NR	730	< 5	< 5	59
5	12.8	NR	197	< 5	< 5	58
MEDIA	14.44	NR	404.8	< 5	< 5	52.2
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	10.396	NR	201.865	0	0	8.40
VARIANZA	108.093	NR	40749.7	0	0	70.7

Tabla 105. Resultados estación primavera - verano 2007.

MUESTRA	pH	COND.	COLOR	TURBIDEZ	SDT	SST	DUREZA TOTAL	CLORUROS	FLUORURO
6	7.2	2050	180	25	1300	-10	560	272	1.2
7	7.09	2090	81	-14	1388	-10	472	302	0.9
8	6.45	1820	70	-14	1272	-10	532	291	1
9	7.5	1900	67	-14	1398	-10	890	298	1.2
10	7.6	2180	87	17	1408	-10	520	298	2.2
11	7.6	2150	55	-14	1406	-10	470	285	2.2
12	7.6	2100	77	18	1395	-10	476	285	2.2
13	7.4	2240	54	-14	1182	-10	498	276	1.5
14	7.4	2050	47	-14	1233	-10	484	289	0.9
15	7.4	2130	72	-14	1120	-10	375	268	1.4
16	7.5	2180	71	-14	1297	-10	405	289	1
17	7.7	2230	69	-14	1259	-10	512	285	1.2
18	7.4	2190	65	-14	NR	-10	524	140	1.3
19	7.6	2100	111	21	1443	27	404	264	1.2
20	7.5	2000	51	-14	1322	-10	410	308	1.6
21	7.5	2110	57	-14	1332	-10	450	319	1.8
22	7.7	2170	113	-14	1317	-10	400	304	1.4
23	7.6	2060	60	-14	1338	-10	405	323	1.9
MEDIA	7.43	2097.22	77.055	-6.388	1318.23	-7.9444	488.166	283.111	1.45
DES. STD	0.291	108.671	31.504	14.729	86.817	8.7209	114.103	39.202174	0.4422
VARIANZA	0.0848	11809.477	992.526	216.957	7537.316	76.055	13019.6	1536.810	0.1955

Tabla 106. Resultados estación primavera - verano 2007, continuación.

MUESTRA	FENOL TOTAL	SAAM'S	CLORO TOTAL	CLORO LIBRE	CIANURO	NITRATO	NITRITO	AMONIACO	TKN
6	-0.001	0.22	-0.01	-0.02	0.022	0.04	-0.001	4.43	18.8
7	-0.001	0.19	0.01	-0.02	-0.01	0.01	0.05	4.6	31.9
8	-0.001	0.15	-0.01	-0.02	0.01	0.1	0.01	33.25	86.3
9	0.001	0.16	0.1	-0.02	0.03	0.07	0.08	0.78	45
10	0.002	0.36	0.04	0.03	0.03	0.17	0.17	5.24	73.13
11	0.003	0.13	0.05	0.03	0.04	0.06	0.11	6.3	22.5
12	0.001	0.03	0.05	0.03	-0.01	0.33	0.13	110.8	24.3
13	0.006	0.16	0.06	0.04	-0.01	0.04	0.01	5.3	18.8
14	-0.001	0.18	0.3	0.04	0.02	0.08	0.03	2.9	35.6
15	-0.001	0.17	0.01	-0.02	0.01	0.05	0.03	2.9	18.8
16	0.006	0.22	0.03	-0.02	0.02	0.18	0.15	2.8	28.1
17	0.004	0.14	0.08	0.06	0.01	0.05	0.07	46.4	37.5
18	NR	0.25	0.19	0.14	0.015	0.08	0.04	45.5	60
19	-0.001	0.8	0.25	0.2	0.014	0.23	0.03	46.2	24.4
20	0.001	0.16	0.1	0.1	0.02	0.16	0.07	18.5	58.1
21	0.001	0.15	0.13	0.12	0.2	0.32	0.003	15.4	54.4
22	-0.001	0.11	0.14	0.06	0.02	0.04	0.05	45.8	84.3
23	0.001	0.13	0.1	0.03	0.01	0.25	0.01	14.3	31.9
MEDIA	0.001117	0.206	0.09	0.0422	0.0245	0.1255	0.0578	22.85	41.87
DES. ESTAND.	0.0023	0.162	0.086	0.0633	0.0458	0.10030	0.0519	28.054	22.417
VARIANZA	5.73E-06	0.0264	0.00748	0.00401	0.00210	0.0100	0.0026	787.053	502.53

Tabla 107. Resultados estación primavera - verano 2007, continuación.

MUESTRA	ORTO FOSFAT.	FOSFORO TOT.	SULFATOS	GyA	DBO	DQO
6	13.4	NR	325	-5	-5	63
7	9.86	NR	600	-5	41	59
8	7.2	NR	338	-5	-5	36
9	5.4	NR	870	-5	6	111
10	6.2	34	600	-5	-5	78
11	7.9	29.1	260	7	-5	111
12	6.8	30.3	350	6	-5	363
13	4.5	33.1	330	6	-5	54
14	4.8	35.3	320	-5	-5	60
15	6.5	31.1	371	-5	-5	108
16	4.5	31.2	413	67	-5	32
17	8	28.5	312	13	-5	30
18	7.1	34.6	332	42	-5	96
19	8	30.3	442	-5	-5	66
20	4.1	15.5	429	-5	11	43
21	4.2	24.2	487	82	-5	51
22	6.1	30.4	399	33	-5	100
23	4.1	31.5	434	28	-5	51
MEDIA	6.592222222	29.93571429	422.8888889	13.27777778	-0.944444444	84
DESV. STD	2.367755342	5.015300764	145.3287911	26.77972358	11.36802648	74.73876071
VARIANZA	5.606265359	25.15324176	21120.45752	717.1535948	129.2320261	5585.882353

Tabla 108. Resultados estación otoño - invierno 2007.

MUESTRA	pH	COND.	COLOR	TURBIDEZ	SDT	SST	DUREZA TOTAL	CLORUROS	FLUORURO
24	7.3	2020	70	-14	1285	-10	320	277	1.3
25	7.6	2000	50	-14	1295	-10	110	362	0.9
26	6.7	2040	52	-14	2115	-10	455	298	0.9
27	7.6	2010	63	-14	1300	-10	555	295	0.5
28	7.3	2020	58	-14	1288	-10	370	319	0.96
29	7	1940	56	-14	1457	-10	490	319	1.1
30	7.7	2200	64	-14	1401	-10	495	319	0.8
31	7.4	2020	40	-14	1311	-10	475	266	1.13
32	7.6	1980	47	-14	NR	NR	460	213	0.26
33	7.5	2060	50	-14	1283	-10	505	319	0.09
34	7.6	2040	66	-14	1611	-10	480	317	0.12
35	7.7	1840	48	-14	1168	-10	390	340	1.3
36	7.5	2040	255	-14	1506	-10	445	319	1.5
MEDIA	7.423	2016.15	70.69	-14	1418.33	-10	426.923	304.84	0.835
DESVIACIÓN E ESTÁNDAR	0.291	79.53	56.048	0	250.168	0	113.624	37.098	0.462
VARIANZA	0.085	6325.64	3141.39	0	62584.24	0	12910.576	1376.30	0.213

Tabla 109. Resultados estación otoño - invierno 2007, continuación.

MUESTRA	FENOL TOTAL	SAAM'S	CLORO TOTAL	CLORO LIBRE	CIANURO	NITRATO	NITRITO	AMONIACO	TKN
24	-0.001	0.07	0.1	0.04	0.03	1.1	0.36	16.7	15
25	0.006	0.07	0.19	0.16	0.028	0.21	0.33	13.2	5.6
26	-0.001	0.13	0.11	0.07	0.024	0.6	2.5	12.2	15
27	0.003	0.07	0.1	0.09	0.042	0.5	0.03	14	9.4
28	0.003	0.11	0.16	0.1	0.04	0.2	0.08	5.6	16.9
29	0.003	0.12	0.17	0.02	0.03	0.45	0.47	2.9	16.9
30	0.002	0.11	0.1	0.08	0.01	2	0.04	8.8	9.4
31	0.003	0.12	0.08	0.07	0.02	3	0.28	1.06	24.3
32	0.003	0.14	0.2	0.1	0.016	1	0.5	0.5	15
33	0.004	0.12	0.11	0.08	0.014	2	0.37	1.69	1.9
34	0.003	1	0.09	0.07	0.016	2	0.54	1.52	26.25
35	0.002	0.12	0.11	0.03	0.03	0.3	0.023	1.75	15
36	0.003	0.11	0.08	0.02	0.021	0.3	0.045	0.25	20.6
MEDIA	0.002	0.176	0.123	0.071	0.024	1.05	0.428	6.166	14.71
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.0018	0.248	0.041	0.038	0.0097	0.90	0.65	5.989	6.911
VARIANZA	3.43E-06	0.061	0.0017	0.0014	9.55E-05	0.827	0.424	35.87	47.77

Tabla 110. Resultados estación otoño - invierno 2007, continuación.

MUESTRA	ORTO FOSFAT.	FOSFORO TOT.	SULFATOS	GyA	DBO	DQO
24	2.4	23.2	502	270	-5	55
25	6.3	24.4	254	131	-5	68
26	17.7	20.8	470	133	8	47
27	19.1	17.5	1200	117	-5	58
28	18	16.5	437	41	-5	66
29	30.9	30.8	413	89	-5	33
30	28.4	32.8	392	63	-5	50
31	32.9	38.2	425	-5	-5	43
32	31.2	32.06	770	5	-5	110
33	33.6	34.45	775	8	-5	41
34	24.1	28.2	410	-5	-5	54
35	27.4	30.1	454	-5	-5	37
36	27.4	29.5	469	-5	-5	76
MEDIA	23.03076923	27.57769231	536.2307692	64.38461538	-4	56.76923077
DESV. STD	9.919037639	6.631538476	245.4391146	82.3149829	3.605551275	20.33532987
VARIANZA	98.38730769	43.97730256	60240.35897	6775.75641	13	413.525641

Tabla 111. Resultados estación primavera - verano 2008.

MUESTRA	pH	COND.	COLOR	TURBIDEZ	SDT	SST	DUREZA TOTAL	CLORUROS	FLUORURO
1	7.4	2270	30	-14	1466	-10	482	298	0.9
2	7.1	2140	74	-14	1419	-10	490	287	1.8
3	6.6	2180	82	-14	1307	-10	560	283	1.19
4	7	2280	27	-14	1392	-10	481	351	1.16
5	7.83	2200	55	-14	1326	-10	518	291	1.5
6	7.25	2110	105	22	1304	-10	426	281	0.94
7	6.74	2040	71	256	1301	57	430	308	0.7
8	7.15	2020	74	-14	1317	10	414	274	1.1
9	7.32	2080	108	15	1323	-10	396	283	1
10	6.5	2050	54	-14	1733	-10	430	287	2.2
11	7.35	1920	43	-14	1315	-10	408	298	1.21
MEDIA	7.11	2117.27	65.72	16.45	1382.091	-2.09	457.72	294.63	1.24
DESV. STD	0.38	110.189	27.0262	80.52	128.5795	20.49	51.96	20.95	0.43
VARIANZA	0.150	12141.8	730.41	6483.4	16532.69	420.09	2700.4	439.05	0.18

Tabla 112. Resultados estación primavera - verano 2008, continuación.

MUESTRA	FENOL TOTAL	SAAM'S	COLOR TOTAL	COLOR LIBRE	NITRATO	NITRITO	AMONIACO	TKN	ORTO FOSFATO
1	-0.001	0.17	0.15	0.01	0.24	0.2	6.1	30	21.8
2	0.001	0.12	0.08	0.05	0.05	0.08	10.4	21	33
3	0.002	0.09	0.06	0.05	0.3	0.02	33.35	45	25.4
4	-0.001	0.1	17	5.5	1.7	0.02	2.9	88	19.6
5	0.004	0.06	0.05	0.02	0.02	0.0048	2.9	98	31
6	0.015	0.09	0.1	-0.02	0.2	0.049	14.4	19	26.3
7	0.002	0.023	0.4	0.13	1.3	0.36	11.5	5.63	30.2
8	0.002	0.077	0.04	0.04	1.5	0.5	8.3	9.4	23.3
9	0.002	0.086	0.06	0.03	2.7	0.28	5.5	18.75	19.2
10	0.002	0.053	0.03	-0.02	55	0.16	0.5	1.875	49.2
11	0.002	0.061	0.2	0.14	14.1	0.003	0.18	39.38	23.13
MEDIA	0.0027	0.084	1.651	0.539	7.01	0.152	8.73	34.185	27.466
DESV. STD	0.0043	0.038	5.091	1.64	16.424	0.166	9.354694	32.00	8.526
VARIANZA	1.8E-05	0.0014	25.92	2.709	269.75	0.027	87.5103	1024.61	72.70

Tabla 113. Resultados estación primavera - verano 2008, continuación.

MUESTRA	FOSFORO TOT.	SULFATOS	GyA	DBO	DQO	ALCALINIDAD	ACIDEZ	Cianuro
1	23.7	423	69	21	402	274	132	0.025
2	35.7	504	121	16	284	268	120	0.024
3	27	450	41	16	278	238	78	0.026
4	20.7	451	18	-5	306	248	106	0.055
5	34.6	438	22	16	338	284	108	0.012
6	27.07	450	-5	28	337	232	100	0.045
7	35.5	505	16	117	578	280	160	0.078
8	23.6	520	66	NR	309	210	80	0.032
9	21.1	290	20	NR	213	160	60	0.091
10	52	110	61	23	300	160	4	-0.001
11	28.5	461	-5	16	198	94	61	0.045
MEDIA	29.95182	418.3636	38.54545	27.55556	322.0909	222.5455	91.72727	0.039273
DESV. STD	9.132685	119.1749	37.85595	34.7459	101.9622	61.05139	41.94303	0.027423
VARIANZA	83.40594	14202.65	1433.073	1207.278	10396.29	3727.273	1759.218	0.000752

Tabla 114. Resultados estación otoño - invierno 2008-2009.

MUESTRA	pH	COND.	COLOR	TURBIDEZ	SDT	SST	DUREZA TOTAL	CLORUROS	FLUORURO
12	6.04	1869	27	-14	1489	-10	482	303	1.81
13	6.97	2070	860	103	1356	-10	400	313	1.63
14	7.16	2040	30	-14	1361	-10	422	313	1.27
15	7.53	1952	380	-14	1295	-10	400	325	1.22
16	7.5	1912	68	-14	1275	-10	510	298	0.94
17	7.66	1978	24	-14	1314	-10	506	308	0.95
18	7.71	1804	3	-14	1197	-10	408	283	0.57
19	7.36	2002	25	-14	1350	-10	536	323	1.7
20	7.1	2170	45	-14	1445	-10	440	323	0.96
21	7.5	1832	23	-14	1220	-10	550	285	0.063
22	7.54	1855	40	-14	1238	-10	462	277	0.23
MEDIA	7.27	1953.09	138.63	-3.36	1321.81	-10	465.09	304.6	1.03
DESVIACIÓN ESTÁNDAR.	0.47	112.49	261.57	35.27	90.86	0	55.17	17.04	0.57
VARIANZA	0.22	12655.69	68419.65	1244.4	8256.56	0	3044.29	290.4	0.33

Tabla 115. Resultados estación otoño - invierno 2008-2009, continuación.

MUESTRA	FENOL TOTAL	SAAM'S	COLORO TOTAL	COLORO LIBRE	NITRATO	NITRITO	AMONIACO	TKN	ORTO FOSFATO
12	0.006	0.073	0.63	0.05	0.3	0.03	0.37	15	22.8
13	0.001	0.06	0.2	-0.02	0.3	-0.001	1.68	9.38	54.3
14	0.005	0.098	5.4	0.43	0.3	0.009	0.137	65.63	28.7
15	0.011	0.136	0.05	-0.02	3.9	0.094	2.85	3.56	30.37
16	-0.001	0.073	0.06	-0.02	0.8	0.01	0.78	1.875	24.75
17	0.009	0.031	0.21	-0.02	4.5	0.046	0.513	3.75	24.61
18	-0.001	0.001	0.28	0.04	5.5	0.012	0.337	3.75	14.5
19	-0.001	0.036	0.31	-0.02	5.1	0.165	0.077	1.03	19.9
20	-0.001	0.025	0.15	0.01	5.5	0.035	0.33	1.69	21.5
21	0.002	0.043	0.44	0.02	5.5	0.035	1.76	2.06	15.1
22	-0.001	0.049	0.21	-0.02	5.5	0.013	0.23	3.75	19.4
MEDIA	0.002	0.056	0.72	0.03	3.38	0.04	0.82	10.13	25.08
DESVIACIÓN ESTÁNDAR.	0.004	0.037	1.56	0.13	2.39	0.04	0.88	18.86	10.88
VARIANZA	1.9E-05	0.001	2.43	0.017	5.75	0.002	0.78	355.7	118.38

Tabla 116. Resultados estación otoño - invierno 2008-2009, continuación.

MUESTRA	FOSFORO TOTAL	SULFATOS	GyA	DBO	DQO	ALCALINIDAD	ACIDEZ	Cianuro
12	35.12	442	126	-5	105	40	46	0.052
13	79	465	49	180	257	88	154	0.028
14	37	468	119	-5	254	222	210	0.013
15	31.3	494	46	28	40	184	118	0.003
16	25.7	460	-5	18	78	214	118	0.044
17	25.54	453	-5	18	270	156	82	0.04
18	14.64	342	-5	11	249	132	84	0.046
19	29.9	374	42	14.8	184	63	29	0.033
20	29.9	457	29	14	86	112	148	0.03
21	15.2	422	-5	-5	50	150	40	0.042
22	19.6	497	34	NR	-25	186	170	0.055
MEDIA	31.17	443.09	38.63	26.88	140.72	140.63	109	0.035
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	17.50	47.5	46.89	54.99	105.21	60.07	58.40	0.01
VARIANZA	306.43	2261.4	2199.45	3024.18	11070.6	3608.45	3411.4	0.0002

ANEXO IV

Resultados de análisis de regresión Probit.

Para cloro total (CLTOT) la expresión estaría dada como:

$$\text{indxcltot} = 12.11185 + 0.241977 * \text{cltot} + 0.158421 * 5.29 - 0.006282 * 2030.118 - 5.410257 * 0.0681 - 0.01731 * 53.417 \quad (7)$$

La serie de probabilidades para el parámetro cloro total se muestra en la figura 56.

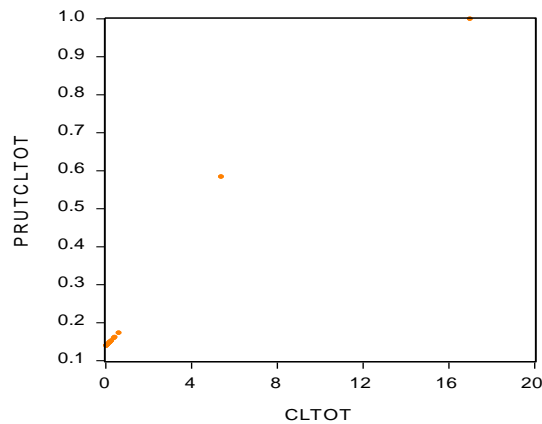


Figura 56. Calculo serie de probabilidades $UT_{a_{bin}}$ Vs Cloro total.

Los efectos marginales de CLTOT para cada valor de probabilidad se obtienen calculando la *fdp* en cada valor indexado multiplicado por el coeficiente de regresión de CLTOT, y los resultados se muestran enseguida en la figura 57.

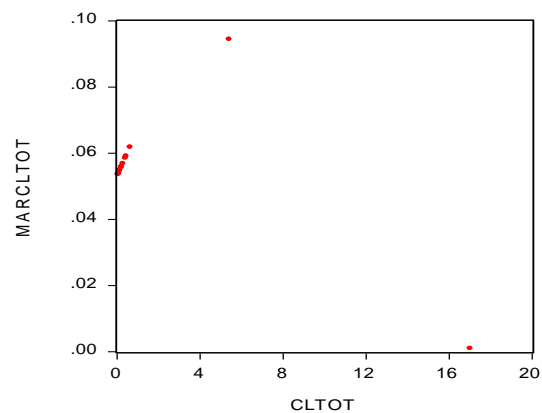


Figura 57. Función de densidad de probabilidad para $UT_{a_{bin}}$ y cloro total. Para la variable conductividad (COND) la ecuación sería:

$$\text{indxcond} = 12.11185 + 0.241977 * 1.493 + 0.158421 * 5.29 - 0.006282 * \text{cond} - 5.410257 * 0.0681 - 0.01731 * 53.417 \quad (8)$$

La serie de probabilidades para el parámetro conductividad se muestra en la figura 58.

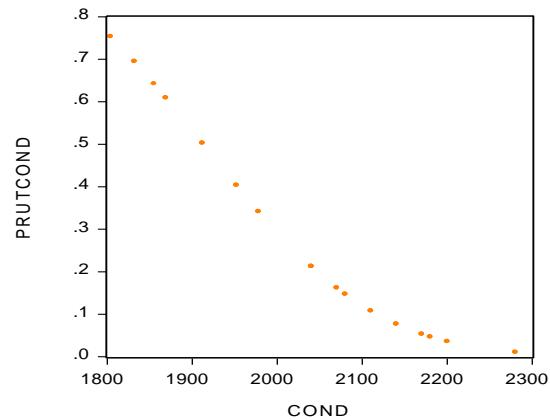


Figura 58. Calculo serie de probabilidades UTA_{bin} Vs Conductividad.

Los efectos marginales de COND para cada valor de probabilidad se obtienen calculando la *fdp* en cada valor indexado multiplicado por el coeficiente de regresión de COND, y los resultados se muestran enseguida en la figura 59.

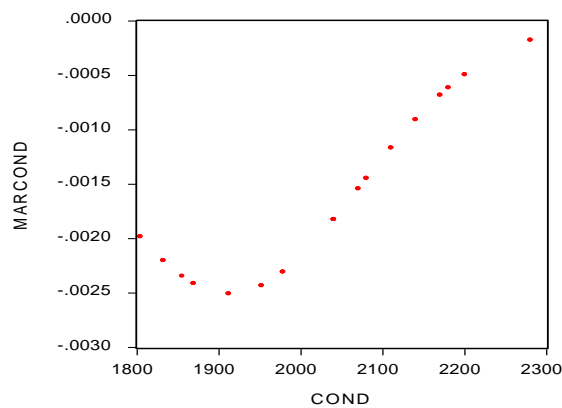


Figura 59. Función de densidad de probabilidad para UTA_{bin} y conductividad.

Para nitritos (NITRITO2) la expresión estaría dada como:

$$\text{Indxnitrito2} = 12.11185 + 0.241977 * 1.493 + 0.158421 * 5.29 - 0.006282 * 2030.118 - 5.410257 * \text{nitrito2} - 0.01731 * 53.417 \quad (9)$$

La serie de probabilidades para el parámetro nitritos se muestra en la figura 60.

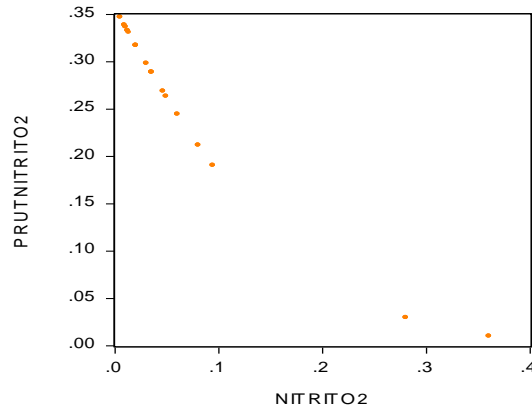


Figura 60. Calculo serie de probabilidades UTA_{bin} Vs Nitritos.

Los efectos marginales de NITRITO2 para cada valor de probabilidad se obtienen calculando la *fdp* en cada valor indexado multiplicado por el coeficiente de regresión de NITRITO2, y los resultados se muestran enseguida en la figura 61.

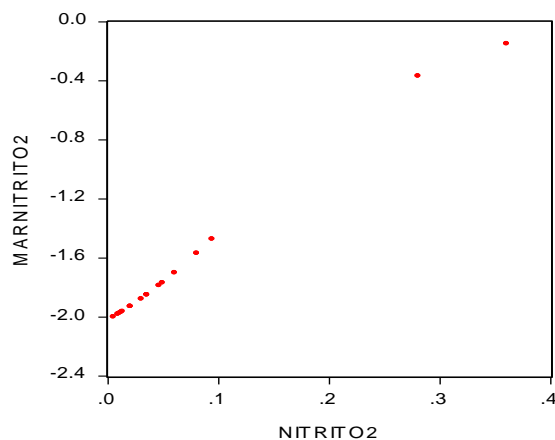


Figura 61. Función de densidad de probabilidad para UTA_{bin} y nitritos.

Para Grasas y Aceites (GYA) la expresión estaría dada como:

$$\text{indxgya} = 12.11185 + 0.241977 * 1.493 + 0.158421 * 5.29 - 0.006282 * 2030.118 - 5.410257 * 0.0681 - 0.01731 * \text{gya} \quad (10)$$

La serie de probabilidades para el parámetro Grasas y Aceites se muestra en la figura 62.

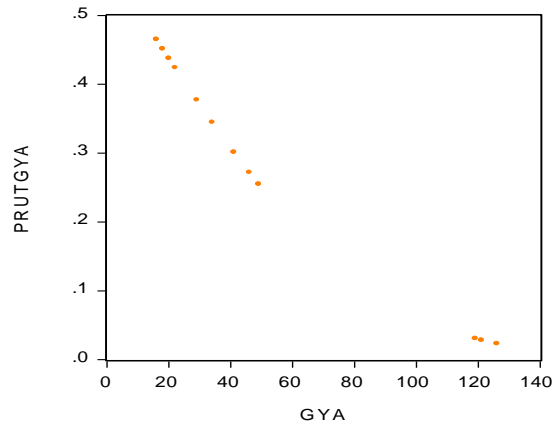


Figura 62. Calculo serie de probabilidades UTA_{bin} Vs Grasas y Aceites.

Los efectos marginales de GYA para cada valor de probabilidad se obtienen calculando la *fdp* en cada valor indexado multiplicado por el coeficiente de regresión de GYA, y los resultados se muestran enseguida en la figura 63.

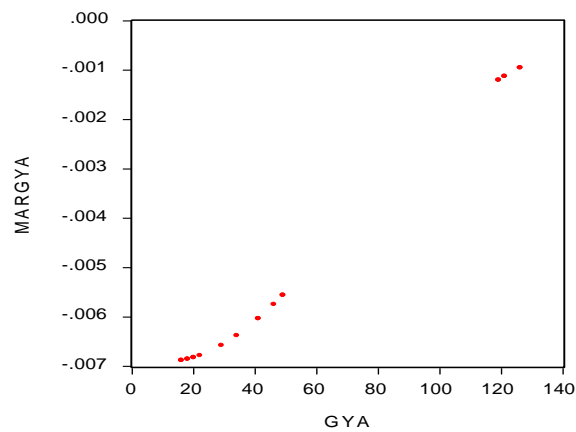


Figura 63. Función de densidad de probabilidad para UTA_{bin} y Grasas y Aceites.

ANEXO V

Datos del Influyente y Efluente de la Planta de Tratamiento Rosarito Norte (PTARRN).

Tabla 117. Influyente PTARRN 2005

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
D.B.O.5. (total)	237	161	196	143	204	200	197	230	281	237	292	219	216.4
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (total)	558	404	609	503	551	532	512	678	558	578	710	613	567.2
GRASAS Y ACEITES	56.9	20.7	5	41.4	62.6	39	43.6	74.3	65.0	66.9	59	58.2	49.4
SÓLIDOS TOTALES	1,700	1,438	5,100	1,393	1,320	1,305	1,375	1,444	1,315	1,460	1,307	1,517	1,722.8
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	320	293	-	287	340	310	338	368	360	352	320	317	327.7
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	436	161	4,110	267	306	193	233	229	251	214	244	197	570.1
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	147	120	533	129	198	131	149	166.0	164	162	153	134	182.2
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	2.3	1.3	32	2.7	5.2	1.7	2.5	3.6	2.7	3.2	3.9	2.4	5.3
FOSFORO TOTAL	10.8	9.1	-	8.5	10.5	9.8	10.1	11.7	10.4	10.1	11.5	9.1	10.1
NITRÓGENO AMONIAICAL	61.9	47.5	18.0	57.6	29.3	32.2	36.3	24.0	32.6	21.2	30.2	32.8	35.3
TEMPERATURA (Grados centígrados)	18.5	17.1	17.6	19.5	21.0	22.1	22.4	24.6	24.7	21.5	18.4	16.4	20.3
POTENCIAL DE HIDROGENO (Unidades de pH)	8.2	7.6	8.3	7.7	7.7	7.6	7.7	7.6	7.4	7.5	7.5	7.8	7.7

NOTA: Unidades en mg/L, excepto cuando se indica

Tabla 118. Efluente PTARRN 2005

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
D.B.O.5. (total)	< 5	< 5	6	6	7	7	16	12	11	7	10	15	9.7
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (total)	202	32	38	69	55	58	91	74	64	35	62	61	60.7
GRASAS Y ACEITES	< 5	< 5	< 5	< 5	33.9	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	33.9
SÓLIDOS TOTALES	1,390	1,402	1,420	1,300	1,080	1,095	1,210	1,156	1,213	1,185	1,047	1,290	1,232.3
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	270	230	-	190	107	105	163	132	167	118	107	120	134.3
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	20	16	23	13	23	22	42	31	37	14	22	17	23.3
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	10	7	14	8	14	14	26	22.0	22	8	13	11	14.1
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1	< 0.1	0.1	< 0.1	0.1	0.1	0.1
FOSFORO TOTAL	10.6	9.9	-	8.5	9.4	9.6	11.6	9.7	10.3	8.0	8.7	9.4	9.6
NITRÓGENO AMONICAL	< 1.5	< 1.5	< 1.5	2.7	12.0	23.5	21.6	12.5	< 1.5	6.1	9.7	5.0	11.6
TEMPERATURA (Grados centígrados)	17.9	15.4	18.0	20.2	20.7	22.6	21.9	24.5	23.9	20.6	19.0	17.4	20.2
POTENCIAL DE HIDROGENO (Unidades de pH)	6.9	7.4	8.2	7.5	7.8	7.7	7.8	7.8	7.5	7.6	7.5	7.8	7.6

NOTA: Unidades en mg/L, excepto cuando se indica

Tabla 119. Porcentajes de remoción PTARRN 2005

PARÁMETRO	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCIÓN
D.B.O.5. (total)	216.4	9.7	95.52
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (total)	567.2	60.7	89.30
GRASAS Y ACEITES	49.4	33.9	31.38
SÓLIDOS TOTALES	1,722.8	1,232.3	28.47
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	327.7	134.3	59.02
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	570.1	23.3	95.91
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	182.2	14.1	92.26
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	5.3	0.1	98.11
FOSFORO TOTAL	10.1	9.6	4.95
NITRÓGENO AMONICAL	35.3	11.6	67.14

NOTA: Unidades en mg/L

Tabla 120. Influyente PTARRN 2006

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
D.B.O.5. (total)	282	259	258	251	310	262	258	10	264	341	211	374	256.7
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (total)	756	727	587	631	717	656	659	39	648	885	681	900	657.2
GRASAS Y ACEITES	84.1	70.9	67	60.0	78.3	42	59.5	<4.2	68.6	88.2	59	79.0	68.8
SÓLIDOS TOTALES	1,870	1,736	1,555	1,735	1,656	1,633	1,590	1,360	1,560	1,666	1,380	1,790	1,627.6
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	445	444	350.0	405	408	393	390	150	360	518	380	480	393.6
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	574	351	177	350	240	216	205	22	186	316	184	403	268.7
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	269	251	135	203	185	152	150	14.0	139	248	145	269	180.0
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	7.2	17.7	1.9	3.6	2.3	2.9	4.3	0.1	4.8	4.0	2.0	5.6	4.7
FOSFORO TOTAL	8.5	5.5	5.1	5.1	5.3	4.7	5.9	4.6	5.4	5.8	6.0	6.6	5.7
NITRÓGENO AMONIACAL	29.0	33.8	28.5	29.8	51.5	39.0	38.4	11.2	36.5	41.7	36.6	34.9	34.2
TEMPERATURA (Grados centígrados)	19.3	15.4	16.2	18.7	20.8	21.9	25.8	27.1	23.6	21.4	22.2	17.2	20.8
POTENCIAL DE HIDROGENO (Unidades de pH)	7.5	7.5	7.6	7.7	7.8	8.2	7.2	7.9	7.3	7.5	7.6	7.7	7.6

NOTA: Unidades en mg/L, excepto cuando se indica

Tabla 121. Efluente PTARRN 2006

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
D.B.O.5. (total)	8	6	<5	5	6	5	7	13	10	9	8	29	9.6
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (total)	44	44	42	31	42	23	50	38	60	47	42	61	43.7
GRASAS Y ACEITES	9.8		6	4.4		-		5.5	6.0		4	4.2	5.7
SÓLIDOS TOTALES	1,380	1,392	1,460	1,545	1,404	1,420	1,333	1,400	1,340	1,220	1,130	1,240	1,355.3
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	105	152	195.0	238	184	180	120	160	127	137	120	100	151.5
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	13	20	22	22	13	9	17	27	25	16	11	15	17.5
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	8	13	12	8	8	6	10	12.0	16	9	9	9	10.0
SÓLIDOS SEDIMENTABLES							0.2		0.3		0.1	0.1	0.2
FOSFORO TOTAL	6.2	4.4	5.7	6.0	4.7		4.9	4.6	4.7	4.6	5.7	5.9	5.2
NITRÓGENO AMONICAL	3.9		0.4	1.0	1.4		4.1	11.1	8.9	4.4	2.0	3.3	4.1
TEMPERATURA (Grados centígrados)	18.3	16.4	19.9	22.0	20.8	20.0	26.9	28.9	26.7	21.4	24.9	20.9	22.3
POTENCIAL DE HIDROGENO (Unidades de pH)	7.5	7.2	7.4	7.4	7.2	7.8	7.2	7.9	7.7	7.1	7.6	7.9	7.5

NOTA: Unidades en mg/L, excepto cuando se indica

Tabla 122. Porcentajes de remoción PTARRN 2006

PARÁMETRO	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCIÓN
D.B.O.5. (total)	256.70	9.60	96.26
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (total)	657.20	43.70	93.35
GRASAS Y ACEITES	68.80	5.70	91.72
SÓLIDOS TOTALES	1627.60	1355.30	16.73
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	393.60	151.20	61.59
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	268.70	17.50	93.49
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	180.00	10.00	94.44
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	4.70	0.20	95.74
FOSFORO TOTAL	5.70	5.20	8.77
NITRÓGENO AMONICAL	34.20	4.10	88.01

NOTA: Unidades en mg/L

Tabla 123. Influyente PTARRN 2007

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
D.B.O.5. (total)	342	317	213	280	240	314	258	341	247	198	253	297	273.00
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (total)	877	787	641	687	563	799	670	782	613	688	622	633	702.64
GRASAS Y ACEITES	82	94.7	103	76.7	57.2	89	62.6	87.2	59.0	63.5	80	83.6	77.75
SÓLIDOS TOTALES	1,767	1,700	1,580	1,670	1,600	1,660	1,520	1,720	1,814	1,560	1,600	1,468	1,653.73
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	470	400	360	410	460	440	360	500	534	356	391	170	425.55
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	256	233	218	249	170	204	150	402	294	192	246	424	237.64
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	203	176	162	179	130	156	110	305	226	122	199	296	178.91
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	3.8	2.4	4	24.0	3.5	5.8	2.5	10.0	8.0	2.0	7.1	9.5	6.65
FOSFORO TOTAL	5.3	6.9	4.0	5.9	6.5	6.9	6.9	6.1	7.2	1.4	6.0	14.0	5.74
NITRÓGENO AMONICAL	37.9	37.0	17.1	45.5	48.2	6.9	45.3	47.6	60.1	46.5	33.0	42.6	38.65
TEMPERATURA (Grados centígrados)	15.1	18.0	17.6	17.8	18.4	20.1	23.5	25.3	26.5	21.9	19.7	16.5	20.35
POTENCIAL DE HIDROGENO (Unidades de pH)	7.7	7.8	8.0	7.6	7.6	7.4	7.4	7.8	7.5	7.6	7.7	7.5	7.65

NOTA: Unidades en mg/L, excepto cuando se indica

Tabla 124. Efluente PTARRN 2007

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
D.B.O.5. (total)	5	10	10	9	5	10	11	6	10	6	10	25	9.75
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (total)	36	50	65	34	38	31	56	25	42	53	92	364	73.83
GRASAS Y ACEITES	4	4.2	8	<4.2	4.2	<4.2	4.2	4.2	4.2	9.3	7	45.6	9.45
SÓLIDOS TOTALES	1,417	1,407	1,360	1,380	1,300	1,360	1,360	1,340	1,382	1,352	1,352	1,636	1,387.17
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	110	133	120	120	140	120	140	140	144	130	112	304	142.75
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	10	15	19	12	10	19	30	4	10	3	7	194	27.75
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	7	9	10	8	5	11	14	3	7	3	5	126	17.33
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.0	0.18
FOSFORO TOTAL	3.9	4.5	4.2	5.4	3.0	4.8	5.8	4.5	4.4	2.4	8.4	11.0	5.19
NITRÓGENO AMONICAL	4.6	13.9	29.8	4.8	29.8	4.8	4.1	0.3	31.6	19.8	0.7	20.3	13.71
TEMPERATURA (Grados centígrados)	12.7	15.8	12.6	17.0	18.7	21.0	24.0	26.1	26.1	22.0	21.0	21.9	19.91
POTENCIAL DE HIDROGENO (Unidades de pH)	7.5	7.8	7.9	7.6	7.5	7.8	7.6	7.3	7.7	7.6	7.6	7.8	7.64

NOTA: Unidades en mg/L, excepto cuando se indica

Tabla 125. Porcentajes de remoción PTARRN 2007

PARÁMETRO	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCIÓN
D.B.O.5. (total)	273.00	9.75	96.43
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (total)	702.64	73.83	89.49
GRASAS Y ACEITES	77.75	9.45	87.85
SÓLIDOS TOTALES	1653.73	1387.17	16.12
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	425.55	142.75	66.46
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	237.64	27.75	88.32
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	178.91	17.33	90.31
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	6.65	0.18	97.29
FOSFORO TOTAL	5.74	5.19	9.58
NITRÓGENO AMONICAL	38.65	13.71	64.53

NOTA: Unidades en mg/L

Tabla 126. Influyente PTARRN 2008

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
D.B.O.5. (total)	436	403	360	262	196	190	257	324	306	267	207	305	292.75
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (total)	882	739	680	866	812	847	681	709	671	814	490	615	733.83
GRASAS Y ACEITES	77	78.3	64	70.3	78.7	54	91.0	96.0	57.4	122.1	51	66.5	75.48
SÓLIDOS TOTALES	1,728	1,758	1,760	1,726	1,778	1,622	1,610	1,514	1,446	1,732	2,384	1,672	1727.50
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	466	390	452	420	486	379	394	358	288	432	620	392	423.08
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	217	281	272	212	338	172	252	120	190	262	548	282	262.17
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	170	187	220	165	238	96	176	100	130	198	232	200	176.00
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	20.0	5.2	4.5	4.0	5.9	2.5	3.5	3.0	2.3	2.3	4.3	3.5	5.08
FOSFORO TOTAL	15.0	11.7	8.0	12.4	12.3	10.1	20.6	13.8	6.2	7.5	5.4	6.1	10.74
NITRÓGENO AMONICAL	67.7	36.8	43.2	52.3	48.1	51.1	28.5	36.0	48.6	34.9	56.3	45.9	45.78
TEMPERATURA (Grados centígrados)	14.5	14.8	17.4	21.2	19.8	21.3	22.2	25.8	24.8	26.6	18.5	18.3	20.43
POTENCIAL DE HIDROGENO (Unidades de pH)		7.4	7.8	7.9	7.6	7.8	7.4	7.5	7.4	7.7	8.0	7.6	7.65

NOTA: Unidades en mg/L, excepto cuando se indica

Tabla 127. Efluente PTARRN 2008

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
D.B.O.5. (total)	23	11	5	18	7	48	23	5	5	12	5	5	13.92
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (total)	55	42	39	46	21	269	45	22	35	52	63	8	58.08
GRASAS Y ACEITES	24	4.3	16	4.2	4.2	4	5.1	17.7	4.2	7.1	4	4.2	8.28
SÓLIDOS TOTALES	1,408	1,388	1,414	1,360	1,372	1,590	1,274	1,390	1,526	1,512	1,362	1,254	1404.17
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	128	98	130	128	124	284	138	176	270	222	90	174	163.50
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	9	13	6	10	10	116	11	5	6	15	8	28	19.75
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	7	5	5	9	5	16	6	5	5	13	5	27	9.00
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	70.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	5.93
FOSFORO TOTAL	5.7	7.5	2.0	5.3	10.4	11.5	11.2	11.1	6.8	5.2	4.4	2.2	6.94
NITRÓGENO AMONICAL	0.3	8.7	11.1	31.7	18.3	18.5	6.5	0.3	0.6	0.5	0.3	0.3	8.09
TEMPERATURA (Grados centígrados)	15.0	13.6	21.5	18.9	19.8	20.8	22.6	26.8	23.2	22.4	20.3	18.5	20.28
POTENCIAL DE HIDROGENO (Unidades de pH)	7.4	7.5	7.4	7.3	7.3	7.4	7.6	7.4	7.0	6.9	7.5	7.6	7.36

NOTA: Unidades en mg/L, excepto cuando se indica

Tabla 128. Porcentajes de remoción PTARRN 2008

PARÁMETRO	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCIÓN
D.B.O.5. (total)	292.75	13.92	95.25
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (total)	733.83	58.08	92.09
GRASAS Y ACEITES	75.48	8.28	89.03
SÓLIDOS TOTALES	1727.5	1404.17	18.72
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	423.08	163.5	61.35
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	262.17	19.75	92.47
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	176	9	94.89
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	5.08	5.93	-16.73
FOSFORO TOTAL	10.74	6.94	35.38
NITRÓGENO AMONICAL	45.78	8.09	82.33

NOTA: Unidades en mg/L