

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



**“Determinación de los Niveles de Residuos Peligrosos en Sedimentos
del Río Nuevo”**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA**

Presenta

JOSÉ OSVALDO MORALES

Directora

DRA. M. SOCORRO ROMERO HERNÁNDEZ

Mexicali, B.C.

Octubre de 2011

RESUMEN

El Río Nuevo es un río binacional que se origina en la ciudad de Mexicali, estado de Baja California, México. Este río corre de sur a norte y descarga en el Lago Salton Sea en el estado de California, EE.UU. Actualmente la mayor parte del agua que se descarga al Río Nuevo es agua de drenaje agrícola. Sin embargo, durante muchos años la ciudad de Mexicali descargó a este río aguas residuales e industriales sin tratar. Debido a esto, en EE.UU., se considera a este río como uno de los más contaminados del país.

El objetivo de esta investigación fue evaluar los niveles de peligrosidad de los sedimentos depositados en el Río Nuevo. Se fijaron 6 sitios para la recolección de muestras de sedimentos a lo largo del río en ambos lados de la frontera y en el Lago Salton Sea. Del lado mexicano, los sitios que se ubicaron fueron los siguientes: Laguna Xochimilco, el Dren Tula West, y los Patios Aduanales en la línea internacional México – EE.UU.; del lado americano, se ubicaron los siguientes sitios: la ciudad de Calexico, la ciudad de Westmorland y en el Lago Salton Sea. Se tomaron un total de 40 muestras en los sitios mencionados. Además se fijó como sitio testigo, un canal no revestido que conduce agua blanca del Río Colorado. A las muestras se les analizaron todos los parámetros necesarios para evaluar si tenían características de desechos peligrosos, los cuales incluyeron pruebas de bioensayos en peces. Las muestras fueron recolectadas y analizadas de acuerdo a la metodología establecida por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de California (Cal-EPA, por sus siglas en inglés). Los resultados fueron comparados con las normas establecidas para la caracterización de desechos peligrosos por el Departamento para el Control de Sustancias Tóxicas de California (DTSC, por sus siglas en inglés) y con las normas de México establecidas en las normas oficiales mexicanas: NOM-052-SEMARNAT-2005 y NOM-053-SEMARNAT-2005. Los resultados obtenidos del estudio indican que los sedimentos del Río Nuevo no presentan características de residuos peligrosos, ya que las concentraciones de metales pesados, PCBs, compuestos volátiles y semivolátiles, se encuentran abajo de los valores establecidos que hacen a un residuo peligroso. Tampoco presentaron características de corrosividad, explosividad e inflamabilidad. Los resultados obtenidos de las pruebas de bioensayos en peces estuvieron abajo de los límites máximos permisibles para toxicidad acuática aguda: 96-hr $LC_{50} < 500$ mg/L, establecido por la norma de Cal-EPA.

DEDICATORIA

A mis padres, Manuel de Jesús Padilla y Juana Morales, por haber inculcado en mí el valor de la educación como único medio para salir de la pobreza. A mi esposa Leti y mis hijos Osvaldito y Christopher por ser la fuente de mi energía.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias a la Agencia Estatal para la Protección Ambiental de California, Departamento para el Control de Sustancias Tóxicas, por el invaluable apoyo que hizo posible este proyecto. También me gustaría dar las gracias a la Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería por haber abierto las puertas a este proyecto y a los maestros de esta misma por haber enriquecido mi conocimiento. Especialmente quisiera darle las gracias a la Dra. María Socorro Romero H., por sus valiosos consejos y visión en materia de la problemática del agua en la región, los cuales han sido una fuente de inspiración profesional en estos dos últimos años.

Gracias Leti por siempre apoyarme incondicionalmente en todos mis proyectos, aún a costa de los tuyos.

Índice

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE FOTOS	xv
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2 Justificación	5
1.3 Planteamiento del problema.....	6
1.4 Hipótesis	8
1.5 Objetivos	8
1.6 Localización del sitio de estudio	8
CAPÍTULO 2.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 El agua como un recurso indispensable para la existencia	15
2.2 El estado de Baja California, México	15
2.3 El municipio de Mexicali.....	17
2.3.1 El clima de la Región.....	19
2.3.2 Recursos hídricos de la región	21
2.4 Contaminación de ríos	24
2.5 Legislación ambiental en materia de manejo de residuos peligrosos.....	27
2.5.1 Manejo de residuos peligrosos en EE.UU.....	28

2.5.2 Manejo de residuos peligrosos en México.....	28
2.6 Características de residuos peligrosos.....	30
2.6.1 Corrosividad.....	30
2.6.2 Reactividad	30
2.6.3 Explosividad	31
2.6.4 Inflamabilidad	31
2.6.5 Tóxico ambiental.....	32
CAPÍTULO 3.....	34
MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1 Muestreo	34
3.1.1 Materiales para la obtención de muestras	34
3.1.2 Método para la obtención de muestras.....	35
3.2 Sitios de muestreo	35
3.2.1 Sitios de estudio en el Valle Imperial, EE.UU.....	37
3.2.2 Sitios de estudios en la Ciudad de Mexicali, México	46
3.3 Parámetros y métodos de análisis	52
3.3.1 Constituyentes inorgánicos	53
3.3.2 Constituyentes orgánicos semivolátiles	54
3.3.3 Constituyentes orgánicos volátiles.....	55
3.4 Normas de California para el manejo de los residuos peligrosos	56
3.5 Métodos para los análisis de laboratorio.....	59
3.5.1 Corrosividad:.....	59

3.5.2 Inflamabilidad:	59
3.5.3 Metales pesados:	60
3.5.4 Bifenilos policlorados (PCB's):.....	60
3.5.5 Percloratos:	61
3.5.6 Compuestos orgánicos volátiles:.....	61
3.5.7 Compuestos orgánicos semivolátiles:	62
3.5.8 Bioensayos en peces:	62
CAPÍTULO 4.....	63
RESULTADOS.....	63
4.1 Sitio de estudio No. 1 (Ciudad de Calexico).....	63
4.1.1 Corrosividad.....	63
4.1.2 Reactividad	64
4.1.3 Inflamabilidad	65
4.1.4 Toxicidad ambiental.....	66
4.2 Sitio de estudio No. 2 (Red Hill Marina, Salton Sea)	74
4.2.1 Corrosividad.....	74
4.2.2 Reactividad	75
4.2.3 Inflamabilidad	75
4.2.4 Toxicidad ambiental.....	75
4.3 Sitio de estudio No. 3 (Ciudad de Westmorland, Lack Road)	78
4.3.1 Corrosividad.....	78
4.3.2 Reactividad	78

4.3.3 Inflamabilidad	79
4.3.4 Toxicidad ambiental.....	79
4.4 Sitio de estudio 4 (Canal Dogwood)	83
4.4.1 Corrosividad.....	83
4.4.2 Reactividad	84
4.4.3 Inflamabilidad	84
4.4.4 Toxicidad ambiental.....	84
4.5. Sitio de estudio No. 5 (Laguna Xochimilco)	88
4.5.1 Corrosividad.....	88
4.5.2 Reactividad	88
4.5.3 Inflamabilidad	89
4.5.4 Toxicidad ambiental.....	89
4.6 Sitio de estudio No. 6 (Dren Tula West).....	93
4.6.1 Corrosividad.....	93
4.6.2 Reactividad	93
4.6.3 Inflamabilidad	93
4.6.4 Toxicidad ambiental.....	94
4.7 Sitio de estudio No. 7 (Patios Aduanales).....	97
4.7.1 Corrosividad.....	97
4.7.2 Reactividad	97
4.7.3 Inflamabilidad	98
4.7.4 Toxicidad ambiental.....	98

CAPÍTULO 5.....	102
DISCUSIÓN	102
5.1 Corrosividad.....	102
5.1.1 Corrosividad de muestras tomadas en EE.UU.	102
5.1.2 Corrosividad de muestras tomadas en México.....	104
5.2 Reactividad	105
5.3 Inflamabilidad	105
5.4 Toxicidad	105
5.4.1 Metales pesados	105
5.4.2 Compuestos ftalatos	106
5.4.3 PCB's	107
5.4.4 Perclorato	108
5.4.5 Bioensayo en peces	108
5.5 Discusión final	109
CAPÍTULO 6.....	112
CONCLUSIONES	112
6.1. Resultados del estudio.....	112
6.2 Recomendaciones	113
REFERENCIAS.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca del Río Colorado.	1
Figura 2. Cuenca del Lago Saltón Sea.	2
Figura 3. Cuenca del Río Colorado y sus tributarios.	4
Figura 4. Río Nuevo, agosto de 1975.	4
Figura 5. Descarga de la empresa Química Orgánica, julio, 1983.....	4
Figura 6. Mapa del sistema de aguas residuales en la Ciudad de Mexicali.	6
Figura 7. Sitios de estudio 1 y 2, Laguna Xochimilco y Dren Tula West.....	9
Figura 8. Sitio de estudio 3 (Patios Aduanales de México).	10
Figura 9. Sitio de estudio 1 en la Ciudad de Calexico, EE.UU.....	11
Figura 10. Sitio de estudio 2, en la Ciudad de Westmorland.....	12
Figura 11. Sitio de estudio 3, Red Hill Marina en el Lago Salton Sea.	13
Figura 12. Sitio testigo (Canal Dogwood).	14
Figura 13. Mapa del estado de Baja California y sus 5 municipios.	16
Figura 14. Marco geoestadístico municipal.	18
Figura 15. Marco geoestadístico municipal de Mexicali.	20
Figura 16. Sitio de estudio No. 1.	38
Figura 17. Sitio de estudio No. 2, Red Hill Marina.	40
Figura 18. Sitio de estudio No. 3,(Westmorland/Lack Rd).	42
Figura 19. Sitio de estudio No. 3 (Westmorland/Lack Rd).	43
Figura 20. Sitio de estudio No. 4, Laguna Xochimilco.....	46
Figura 21. Dren Tula West.	49
Figura 22. Patios aduanales federales mexicanos, Mexicali, México.....	51

Figura 23. pH en lodos del Río Nuevo en EE.UU.	103
Figura 24. pH en suelos del Río Nuevo en EE.UU.....	103
Figura 25. pH en lodos del Río Nuevo en México.....	104
Figura 26. pH en suelos del Río Nuevo en México.	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de puntos de muestreo.	37
Tabla 2. Constituyentes inorgánicos (metales)	54
Tabla 3 Constituyentes orgánicos semivolátiles	55
Tabla 4. Constituyentes orgánicos volátiles.....	56
Tabla 5. Sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables de constituyentes inorgánicos.....	57
Tabla 6. Sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables.....	58
Tabla 7. Resultados de pH de muestras tomadas en Calxico.	64
Tabla 8. Resultados de inflamabilidad de muestras tomadas en Calxico.	65
Tabla 9. Resultados de metales pesados totales de muestras tomadas en Calxico.	67
Tabla 10. Resultados de metales pesados totales de muestras tomadas en Calxico.	68
Tabla 11. Resultados de los compuestos volátiles de muestras tomadas en Calxico.	69
Tabla 12. Resultados de compuestos semivolátiles de muestras tomadas en Calxico.	70
Tabla 13. Resultados de PCB's de muestras tomadas en Calxico.....	71
Tabla 14. Resultados de PCB's de muestras tomadas en Calxico.....	72
Tabla 15. Resultados de análisis de perclorato de muestras tomadas en Calxico.	73
Tabla 16. Resultados de análisis de perclorato de muestras tomadas en Calxico.	73
Tabla 17. Resultados de bioensayos en peces de muestras tomadas en Calxico.....	74
Tabla 18. Resultados de pH de muestras tomadas en Red Hill Marina.	75
Tabla 19. Resultados de metales pesados totales de muestras tomadas en Red Hill Marina.	76
Tabla 20. Resultados de semivolátiles de muestras tomadas en Red Hill Marina.	77
Tabla 21. Resultados de PCB's de muestras tomadas en Red Hill Marina.....	77
Tabla 22. Resultado de bioensayos en peces de muestras tomadas en Red Hill Marina.	78

Tabla 23. Resultados de pH de muestras tomadas en Lack Road.....	78
Tabla 24. Resultados de inflamabilidad de muestras tomadas en Lack Road.....	79
Tabla 25. Resultados de metales pesados en muestras tomadas en Lack Road.....	80
Tabla 26. Resultados de compuesto volátiles en muestras tomadas en Lack Road.	81
Tabla 27. Resultados de compuesto semivolátiles en muestras tomadas en Lack Road.....	81
Tabla 28. Resultados de PCB's en muestras tomadas en Lack Road.	82
Tabla 29. Resultados de perclorato en muestras tomadas en Lack Road.....	82
Tabla 30. Resultados de bioensayos en peces de muestras tomadas en Lack Road.....	83
Tabla 31. Resultados de pH en muestras tomadas en el Canal Dogwood.	83
Tabla 32. Resultados de inflamabilidad de muestras tomadas en el Canal Dogwood.	84
Tabla 33. Resultados de análisis de metales pesados de muestras tomadas en el Canal Dogwood.	85
Tabla 34. Resultados de compuestos volátiles de muestras tomadas en el Canal Dogwood.	86
Tabla 35. Resultados de compuestos semivolátiles de muestras tomadas en el Canal Dogwood.....	86
Tabla 36. Resultados de PCB's de muestras tomadas en el Canal Dogwood.....	87
Tabla 37. Resultados de perclorato de muestras tomadas en el Canal Dogwood.	87
Tabla 38. Resultados de bioensayos de muestras tomadas en el Canal Dogwood.....	88
Tabla 39. Resultados de pH de muestras tomadas en Laguna Xochimilco.....	88
Tabla 40. Resultados de análisis de inflamabilidad de muestras tomadas en Laguna Xochimilco.....	89
Tabla 41. Resultados de análisis de metales pesados de muestras tomadas en la Laguna Xochimilco.	90
Tabla 42. Resultados de compuestos volátiles en muestras tomadas en Laguna Xochimilco.	91
Tabla 43. Resultados de compuestos semivolátiles de muestras tomadas en la Laguna Xochimilco.....	91
Tabla 44. Resultados de PCB's en muestras tomadas de la Laguna Xochimilco.	92
Tabla 45. Resultado de perclorato en muestras tomadas en la Laguna Xochimilco	92
Tabla 46. Resultados de bioensayo en peces de muestra tomada en la Laguna Xochimilco.	93

Tabla 47. Resultado de pH de muestra tomada en DrenTula West.....	93
Tabla 48. Resultado de metales pesados en muestra tomada en el Dren Tula West.	94
Tabla 49. Resultado de compuestos volátiles en muestra tomada en Dren Tula West.	95
Tabla 50. Resultado de compuestos semivolátiles en muestra tomada en el Dren Tula West.....	95
Tabla 51. Resultados de PCB's en muestra tomada en el DrenTula West.....	96
Tabla 52. Resultado de perclorato en muestra tomada en el Dren Tula West.	96
Tabla 53. Resultado de bioensayo en peces de muestra tomada en el Dren Tula West.....	97
Tabla 54. Resultados de pH de muestras tomadas en los Patios Aduanales.	97
Tabla 55. Resultados de inflamabilidad de muestras tomadas en los Patios Aduanales.....	98
Tabla 56. Resultados de metales pesados de muestras tomadas en los Patios Aduanales.	99
Tabla 57. Resultados de compuestos volátiles de muestras tomadas en los Patios Aduanales.....	99
Tabla 58. Resultados de semivolátiles de muestras tomadas en los Patios de Aduanales.	100
Tabla 59. Resultados de PCB's de muestras tomadas en los Patios Aduanales.....	100
Tabla 60. Resultados de perclorato de muestras tomadas en los Patios Aduanales.	101
Tabla 61. Resultados de bioensayo en peces de muestras tomadas en los Patios Aduanales.	101
Tabla 62. Valores de metales encontrados en ríos contaminados.....	110

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Cavador agrícola	36
Foto 2. Cuchara de plástico esterilizada	36
Foto 3. Vasos de vidrios certificados	36
Foto 4. Cinta de cadena de custodia	36
Foto 5. Agua destilada	36
Foto 6. Jabón biodegradable	36
Foto 7. Muestras de agua del Río Nuevo en la Ciudad de Calexico.	39
Foto 8. Colección de sedimentos del Río Nuevo en la Ciudad de Calexico.	39
Foto 9. Muestra de lodo colectado en el Río Nuevo en la Ciudad de Calexico.	39
Foto 10. Muestras colectadas en el Río Nuevo en la Ciudad de Calexico.	39
Foto 11. Muestra de suelo colectado en Red Hill Marina.	40
Foto 12. Muestra de sedimento colectado en Red Hill Marina.	40
Foto 13. Muestra de sedimento colectado en Red Hill Marina.	41
Foto 14. Muestra de sedimento colectado en Red Hill Marina.	41
Foto 15. Estación de flujo de aforo de USGS.	42
Foto 16. Estación de flujo de aforo de USGS.	42
Foto 17. Muestras de agua tomadas desde la estación de USGS.	43
Foto 18. Muestra de suelo tomada cerca de la estación de USGS.	43
Foto 19. Muestras de sedimento tomadas del punto sur del sitio No. 3.	44
Foto 20. Muestras de sedimento tomadas del punto sur del sitio No. 3.	44
Foto 21. Muestras de sedimento tomadas del punto sur del sitio No. 3.	44
Foto 22. Muestras de sedimento tomadas del punto sur del sitio No. 3.	44

Foto 23. Canal Dogwood.....	45
Foto 24. Canal Dogwood.....	45
Foto 25. Muestras de sedimento tomadas del Canal Dogwood.....	45
Foto 26. Muestras de agua tomadas del canal Dogwood.....	45
Foto 27. Laguna Xochimilco.....	47
Foto 28. Muestra de sedimento obtenida del este de la Laguna Xochimilco.....	47
Foto 29. Muestra de suelo obtenida del este de la Laguna Xochimilco.....	47
Foto 30. Muestra de sedimento y suelo obtenida del este de la Laguna Xochimilco.....	47
Foto 31. Muestra de sedimento obtenida al oeste de la Laguna Xochimilco.....	48
Foto 32. Muestra de sedimento obtenida al oeste de la Laguna Xochimilco.....	48
Foto 33. Muestra de suelo obtenida al oeste de la Laguna Xochimilco.....	48
Foto 34. Muestra de suelo obtenida al oeste de la Laguna Xochimilco.....	48
Foto 35. Dren Tula West.....	49
Foto 36. Dren Tula West.....	49
Foto 37. Muestra sedimento del Dren Tula West.....	50
Foto 38. Muestra sedimento del Dren Tula West.....	50
Foto 39. Muestra de sedimento tomada en los Patios Aduanales.....	52
Foto 40. Muestra de sedimento tomada en los Patios Aduanales.....	52
Foto 41. Muestra de sedimento tomada en los Patios Aduanales.....	52
Foto 42. Muestra de sedimento tomada en los Patios Aduanales.....	52

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La cuenca del Río Colorado, como se puede apreciar en la Figura 1, es la cuenca hídrica más grande del suroeste de EE.UU. Esta cuenca comienza en las Montañas Rocallosas en EE.UU. y finaliza en el Golfo de California, México. La cuenca atraviesa los estados Mexicanos de Sonora y Baja California (Carpio y Gaona, 2001). Las aguas del Río Colorado son las que facilitan la existencia del ser humano en los valles de Imperial, EE.UU. y Mexicali, B.C., México. Estos dos valles no existirían si no fuera por las asignaciones de agua que se concesionaron a través de acuerdos binacionales entre EE.UU. y México.

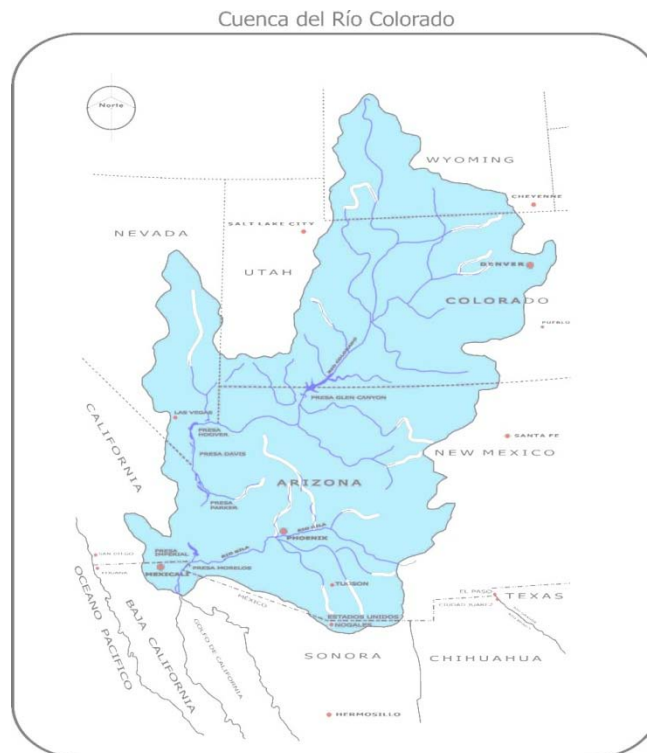


Figura 1. Cuenca del Río Colorado.

Fuente: “Water in the US-Mexico Border: Convergences, Divergences and Challenges” (Peña y Erie, 2003)

Dentro de la cuenca baja del Río Colorado se encuentra la cuenca Binacional Salton Sea. Dentro de esta cuenca se encuentran los Valles de Mexicali en B.C., México y el Valle Imperial, en California, EE.UU. También dentro de la cuenca se encuentra el Lago Salton Sea, en el Valle Imperial, EE.UU. Este es el cuerpo de agua más grande del estado de California. Los tributarios principales de este lago son tres: El Río Whitewater en la parte norte del lago, ubicado en el Valle de Coachella y los Ríos Álamo y Nuevo ubicados en la parte sur del lago en el Valle Imperial. El Salton Sea se formó durante el periodo de 1904 a 1907 debido a los trabajos de desvío de las aguas del Río Colorado al Valle Imperial, California (Walker, 1961) y (Hely *et al.*, 1966, citado en Saiki, 1990). En la Figura 2, se puede apreciar la cuenca del Lago Salton Sea y sus tributarios.

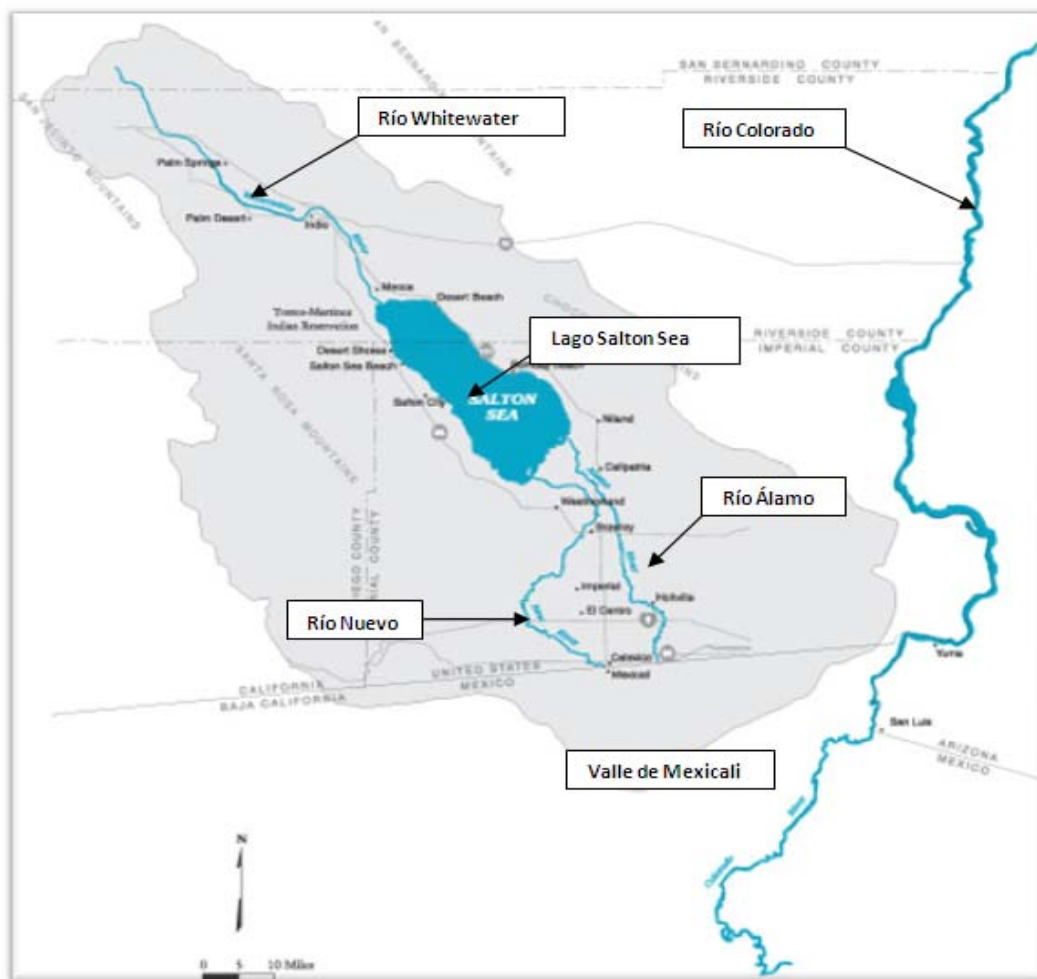


Figura 2. Cuenca del Lago Saltón Sea.

Fuente: Departamento para el Recurso del Agua de California, 2010, y adaptaciones propias.

El Salton Sea es un lago salado en una cuenca cerrada de aproximadamente 56 kilómetros de largo por 14.4 a 24 kilómetros de ancho, con aproximadamente 360 kilómetros cuadrados de superficie de agua y 105 kilómetros de costa. Debido a que el lago no tiene salida, en la actualidad, el agua es 25% más salada que la del océano, con un incremento de salinidad de aproximadamente 1% por año (State Water Resources Control Board, Colorado River RWQCB, Fact Sheet, 2002).

El Río Nuevo es un cuerpo de agua que fluye de sur a norte en el Valle de Mexicali y que desemboca finalmente en el Lago Salton Sea en el Valle Imperial, California, EE.UU. El Río Nuevo en si no es un río, este es un canal de drenaje que se formó al mismo tiempo que el Lago Salton Sea, durante los años de 1905 a 1907 debido a que los trabajos que EE.UU. estaba haciendo para desviar las aguas del Río Colorado al Valle Imperial fallaron. El flujo de las aguas del Río Colorado entonces siguió el curso de la cuenca del Lago Salton Sea, formando así los canales de drenaje que se conocen como Río Nuevo y Río Álamo, además de lo que ahora es el Lago Salton Sea (Gruenberg, 1998).

De acuerdo a la Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y los Estados Unidos (IBWC, por sus siglas en inglés), en la minuta No. 288, se indica que el Río Nuevo tiene su origen aproximadamente 35.3 kilómetros al sur de la línea fronteriza internacional y el recorrido del río, como se puede apreciar en la Figura 3, es de sur a norte a través de Mexicali, B.C. El río, después de cruzar la línea fronteriza internacional en Calexico, California, sigue su cauce a través de tierras agrícolas y varias comunidades en el Valle Imperial. Finalmente descarga sus aguas al Lago Salton Sea, aproximadamente 96 kilómetros al norte del límite entre México y EE.UU. (IBWC, 1992).

La Figura 3 muestra la cuenca del Río Colorado y los tributarios del Lago Salton Sea. Como se puede observar, el Río Nuevo es parte de la depresión geológica conocida como la cuenca del Lago Salton Sea. En la Figura 3 se puede observar que ésta cuenca esta delineada en blanco. La cuenca es una extensión del Golfo de California. En tiempos prehistóricos en esta depresión existía un antiguo lago llamado Cahuilla (California State Water Resources Control Board, 2006).

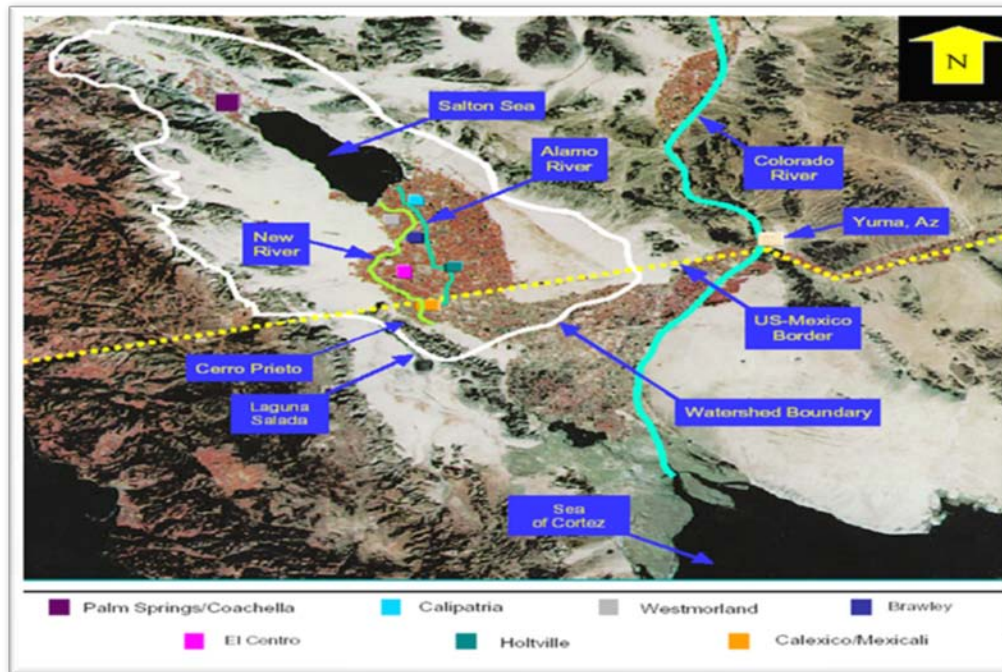


Figura 3. Cuenca del Río Colorado y sus tributarios.
Fuente: Adaptado de Gruenberg, 1998.

El Río Nuevo es uno de los principales tributarios del Lago Salton Sea. En un principio, las descargas al Río Nuevo eran primordialmente agrícolas. Sin embargo, como se puede observar en las Figuras 4 y 5, con el crecimiento industrial y de la población en la Ciudad de Mexicali, se empezaron a descargar aguas negras y efluentes industriales sin tratar. Esta situación se convirtió en un problema de gran preocupación para las autoridades y para los residentes aledaños al cauce del río.



Figura 4. Río Nuevo, agosto de 1975.
Fuente: Adaptado de Gruenberg, 1998.



Figura 5. Descarga de la empresa Química Orgánica, julio, 1983.
Fuente: Adaptado de Gruenberg, 1998.

Desde 1960, México y EE.UU reconocieron los problemas ambientales y de salud que el Río Nuevo causa a las poblaciones de ambos lados de la frontera. Las preocupaciones acerca de la calidad del agua en el Río Nuevo son abordadas a través de “The Integrated Border Environment Plan” aprobado por el Presidente de los EE.UU., George W. Bush y el Presidente de México Carlos Salinas de Gortari el 25 de Febrero de 1992.

Existen varias minutas acerca de la calidad del agua en la Ciudad de Calexico y Mexicali. La minuta 261 con fecha de 24 de septiembre de 1979 provee recomendaciones para la solución sanitaria en la frontera. La minuta 264 con fecha de agosto de 1980, provee recomendaciones para resolver el problema sanitario en las Ciudades de Calexico, California y Mexicali, Baja California Norte (Tanji *et al.*, 1993). Sin embargo las medidas de remediación apenas comenzaron a principios de los años ochentas (Gruenberg, 1998)

1.2 Justificación

El Río Nuevo ha sido considerado como uno de los ríos más contaminados, en EE.UU., y por lo consiguiente uno de los ríos más estudiados por EE.UU., en lo que respecta a la calidad de agua. El Río Nuevo está en la lista de cuerpos de aguas que no cumplen con las normas de calidad de agua establecidas por la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés). Por estos motivos hay un interés por la calidad de agua de este río. La Agencia para la Protección Ambiental de California (Cal-EPA, por sus siglas en inglés) a través de la Junta Regional para el Control del Agua del Río Colorado (RWQCB, por sus siglas en inglés), realizan un monitoreo mensual de la calidad del agua en el río. Sin embargo, no hay estudios acerca de las características de peligrosidad de los sedimentos del Río Nuevo, en México y/o EE.UU. Por lo tanto este estudio es importante porque aportaría información acerca de la calidad de sedimentos depositados en el Río Nuevo, lo cual, en conjunto con la información de la calidad del agua que ya existe, conformaría una información más completa acerca de la calidad del río.

1.3 Planteamiento del problema

Más del 50 por ciento del agua que fluye en el Río Nuevo, es agua residual tratada y sin tratar de Mexicali, provocando problemas de contaminación al río y al Lago Salton Sea, destino final del cauce del río. Esta situación ha sido causa de reuniones entre dependencias de los Estado Unidos y de México y ha originado el establecimiento de acuerdos binacionales para el saneamiento del agua (Quintero, 2006). El resto de las descargas al río son principalmente de origen agrícolas del Valle de Mexicali, México. El sistema de aguas residuales municipales de la ciudad de Mexicali está dividido en dos: Mexicali I, y Mexicali II. Mexicali I es el sistema más antiguo de la ciudad. El sistema II es relativamente nuevo y abarca la parte más nueva de la ciudad al este de ella y la cual es donde el desarrollo de la ciudad se ha enfocado. En la Figura 6 se puede apreciar el plano del sistema de aguas residuales de Mexicali.

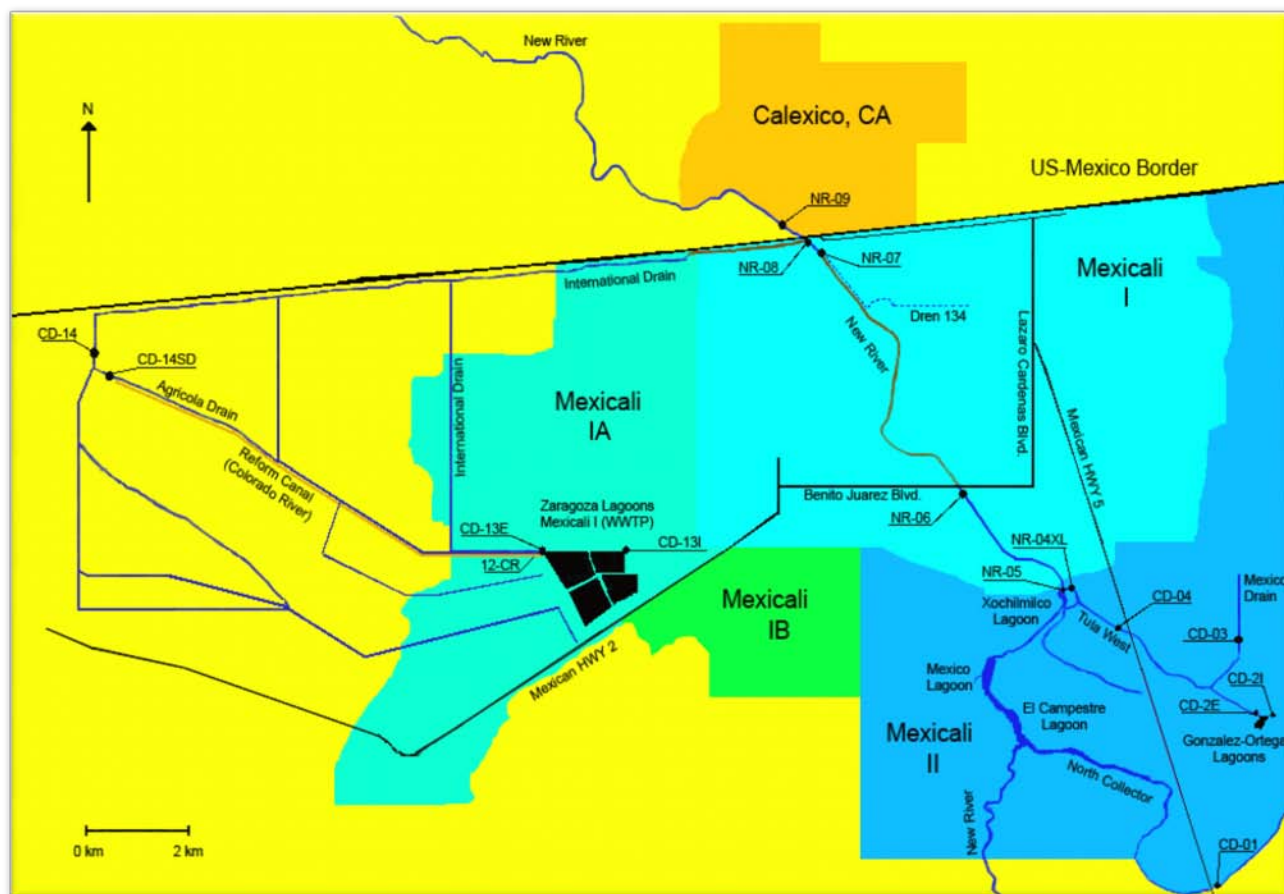


Figura 6. Mapa del sistema de aguas residuales en la Ciudad de Mexicali.
Fuente: Adaptado de Viau, 2005.

El sistema de saneamiento Mexicali I consiste en lagunas estabilizadoras que descargan al Dren Internacional, éste conduce el agua residual tratada por gravedad al Río Nuevo a la altura del límite internacional Mexicali-Calexico. De acuerdo a la minuta No. 288, este sistema de lagunas tiene una capacidad de descarga de 980 litros/segundo (22.34 millones de galones/día) (IBWC, 1992). El sistema trata las aguas residuales de la parte oeste de la ciudad. En el sureste de la ciudad se encontraban las lagunas González-Ortega, que en la actualidad están clausuradas. El sistema González-Ortega trataba parte de las aguas residuales e industriales del oeste de la ciudad. Este sistema fue clausurado con la inauguración de la planta de tratamiento de agua residuales “Las Arenitas” al sur de la ciudad. Tanto Mexicali I (lagunas de Zaragoza) como las lagunas de González-Ortega descargaban las aguas residuales tratadas al Río Nuevo. En la actualidad solamente el Sistema Mexicali I descarga al Río Nuevo.

Por mucho tiempo estos fueron los únicos sistemas de tratamiento de aguas residuales e industriales que existía en el municipio de Mexicali. Sin embargo, con la inauguración de la planta de tratamiento de agua residual “Las Arenitas,” al sur de la Ciudad de Mexicali en el año 2008, la cantidad de agua residual e industrial, tratada y sin tratar, que actualmente fluye en el río ha disminuido substancialmente.

Las comunidades más afectadas por el río son la ciudad de Mexicali en territorio mexicano y la ciudad de Calexico en territorio estadounidense. En ambos países, existe preocupación acerca de la mala calidad del agua del Río Nuevo y el poco beneficio que ésta representa para ellos. Además, se sabe muy poco de cómo los sedimentos de este río podrían afectar a la salud pública de estas ciudades debido a la contaminación histórica del río.

El clima de la cuenca del Río Colorado es considerado un clima árido y semiárido y con un escaso recurso de agua. Debido a la escasez de este vital líquido, en la Ciudad de Mexicali ya se están implementando programas para el reúso de aguas residuales tratadas, principalmente en la agricultura y la industria (Quintero, 2006). Estos programas están en aumento debido no solamente al problema de escasez de agua, sino también a la reducción de agua de los mantos acuíferos por el revestimiento del Canal Todo Americano, en el Valle Imperial, EE.UU.

Estos factores también están forzando a la ciudad de Mexicali a crear programas para el reúso de aguas municipales tratadas. Si estos programas de reúso de agua tratada se siguen

impulsando; en un futuro no muy lejano, el agua que fluye sobre el Río Nuevo disminuirá sustancialmente o dejará de fluir completamente. Si esto llegase a ocurrir, los sedimentos que en la actualidad están cubiertos por el agua, estarán al descubierto. Estos sedimentos entonces podrían ser aerotransportados y respirados por la población. Además, el río es periódicamente dragado y los lodos son depositados a la orilla del mismo. Debido a esto es muy importante evaluar las características de estos sedimentos para crear un plan de manejo de éstos.

1.4 Hipótesis

Por los antecedentes planteados, en relación al tipo de descargas que por muchos años se han descargado en el Río Nuevo, los sedimentos formados en su cuenca pudieran tener características de residuos peligrosos.

1.5 Objetivos

Determinar los niveles de residuos peligrosos en los sedimentos del Río Nuevo para evaluar si los sedimentos del río poseen características de desechos peligrosos. Se determinó por medio de análisis de muestras, utilizando métodos establecidos por la USEPA, si los sedimentos del Río Nuevo poseen características de inflamabilidad, reactividad, corrosividad y toxicidad.

1.6 Localización del sitio de estudio

El Río Nuevo se localiza en la Ciudad de Mexicali, Baja California, México. Este es un río binacional que tiene su recorrido de sur a norte, el cual tiene su origen en la Ciudad de Mexicali, y desemboca en el Lago Salton Sea, en el Valle Imperial, estado de California, EE.UU. En la Figura 3, se puede apreciar el Río Nuevo y su trayectoria hasta la línea fronteriza entre las Ciudades de Mexicali-Calexico, EE.UU., y la desembocadura de este al Lago Salton Sea.

Debido a que el Río Nuevo es un río binacional, los sitios de estudio para esta investigación se identificaron en territorio mexicano y en territorio estadounidense. En territorio mexicano se ubicaron tres sitios de estudio dentro de la ciudad de Mexicali, específicamente; Laguna Xochimilco, Dren Tula West y los Patios Aduanales adyacentes a la línea fronteriza con Calexico. En las siguientes Figuras: 7 y 8 se pueden apreciar los sitios de estudio y los puntos de muestreo ubicados en la ciudad de Mexicali, México.



Figura 7. Sitios de estudio 1 y 2, Laguna Xochimilco y Dren Tula West.
Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010.



Figura 8. Sitio de estudio 3 (Patios Aduanales de México).

Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010.

En la Figura 8, se puede apreciar los puntos de muestreo en los Patios Aduanales que se encuentran adyacentes a la línea fronteriza con EE.UU. Este sitio es de mucha importancia ya que es el punto donde el Río Nuevo cruza la línea fronteriza con EE.UU., rumbo al Lago Salton Sea. Es aquí donde los efluentes del río, primordialmente de drenaje agrícolas, se mezclan con los efluentes de aguas residuales tratadas de la planta de tratamiento Mexicali I, que son lagunas de oxidación que proveen tratamiento primario a las aguas municipales e industriales que se generan al occidente de la ciudad, la cual está ubicada en la Colonia Zaragoza. El efluente de esta planta de tratamiento de aguas residuales es descargado al Río Nuevo, a través del dren internacional que corre paralelamente con la línea fronteriza como se puede apreciar en la Figura 6. El efluente se mezcla con las aguas de drenaje agrícola del río que proceden del Valle de Mexicali y continúa su trayectoria hacia el norte rumbo al Lago Salton Sea.

Los sitios de estudio fijados en territorio estadounidense, también fueron tres. El primer sitio de estudio se ubicó cerca de la línea fronteriza en la Ciudad de Calexico. Este sitio de estudio se puede apreciar en la Figura 9.



Figura 9. Sitio de estudio 1 en la Ciudad de Calexico, EE.UU.
Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010.

La selección de este sitio de estudio es muy importante ya que se consideró que si los sedimentos tenían características de desechos peligrosos procedentes de Mexicali, y que estarían afectando al territorio Norteamericano, sería aquí a donde se deberían de detectar los mayores niveles de contaminación.

El sitio de estudio número dos en EE.UU., se localizó cerca de la bocana del Río Nuevo al Lago Salton Sea, en la ciudad de Westmorland. La Figura 10, indica este sitio de estudio. Aquí se identificaron dos puntos de muestreo.



Figura 10. Sitio de estudio 2, en la Ciudad de Westmorland.

Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010.

El sitio de estudio numero tres se ubicó en las playas del Lago Salton Sea, específicamente en el lugar conocido como “Red Hill Marina”. En este sitio de estudio se ubicaron dos puntos de muestreo de los cuales se obtuvieron cuatro muestras de sedimento y suelo. Este sitio de estudio se puede apreciar en la Figura 11, y se escogió debido a que es aquí donde se observarían los efectos de la contaminación de los Valles de Mexicali e Imperial al lago antes de que el río desemboque en éste.



Figura 11. Sitio de estudio 3, Red Hill Marina en el Lago Salton Sea.
Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010.

La razón por la que se propuso tomar muestras de sedimento y suelo en este punto fue para comparar resultados de análisis de muestras obtenidas en este sitio con las obtenidas en el cauce del Río Nuevo, ya que es a este cuerpo de agua que el Río Nuevo desemboca y su calidad del agua afecta, positiva o negativamente. Además este punto está cerca de la bocana donde desemboca el río al lago.

Además de los sitios de estudio en el Río Nuevo, se fijó un sitio de estudio testigo. Este es un canal que transporta agua blanca del Río Colorado en el Valle Imperial. Este sitio se puede apreciar en la Figura 12. De este sitio se tomaron muestras testigo para compararlas con los resultados obtenidos en las muestras del Río Nuevo.

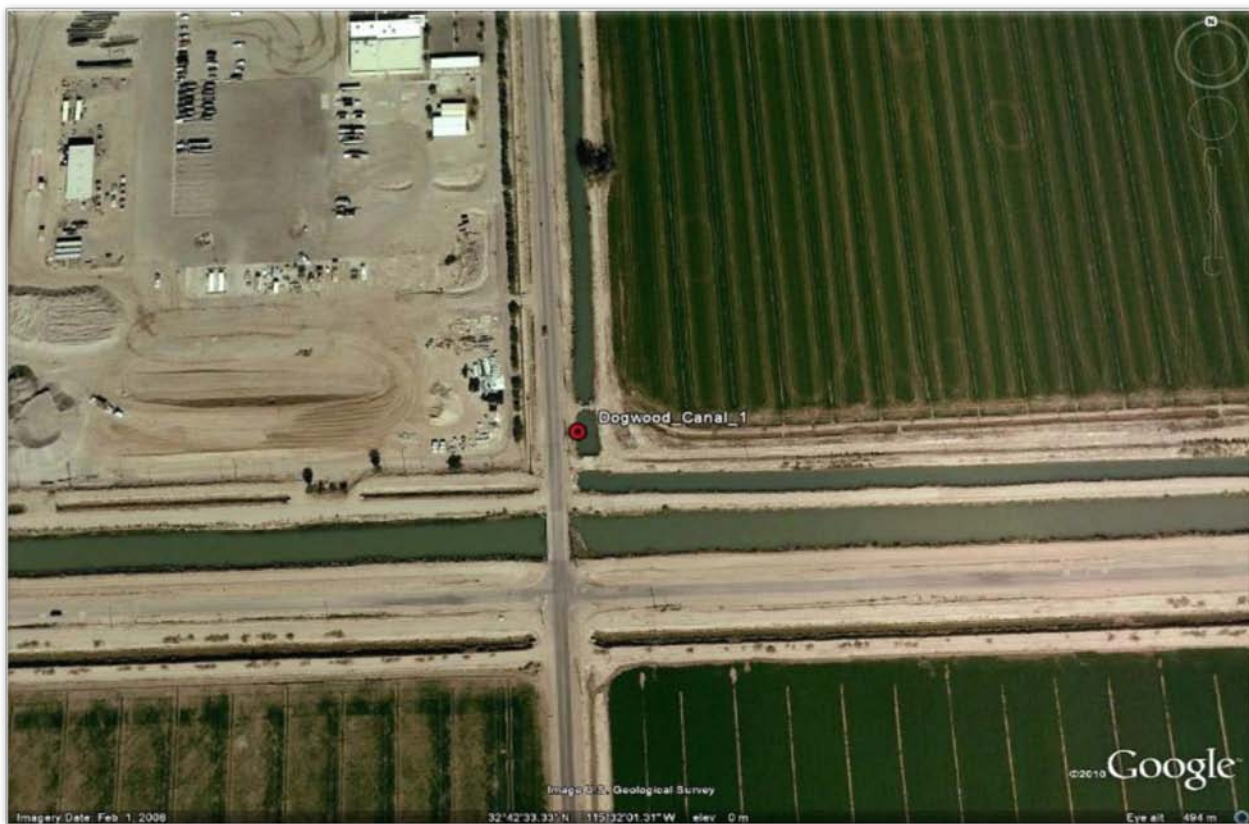


Figura 12. Sitio testigo (Canal Dogwood).
Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 El agua como un recurso indispensable para la existencia

El agua es esencial para la vida y es lo que hace posible la civilización humana. El agua es uno de los pocos compuestos químicos vitales para la existencia. Todos los organismos que habitan la tierra están compuestos en su mayoría por agua. En el planeta tierra el agua es el compuesto químico que hace posible nuestra existencia. La mayoría de células contienen un promedio de 75 a 95% agua. La superficie de la tierra está cubierta por un 75% de agua, líquida, sin embargo el agua también existe en forma de hielo y vapor (Ray, 2011).

El agua es la única sustancia común que existe en las tres formas físicas: sólido, líquido y gaseoso (Campbell, 1996). La disponibilidad de agua dulce en el mundo es muy limitada. En el planeta tierra existe un 2.5-3% de agua dulce, pero de ésta menos de 1% está disponible para su consumo el resto se encuentra en forma gaseosa y en las diferentes capas de hielo localizadas alrededor del mundo, así como ríos, pantanos, mantos acuíferos, entre otros.

De acuerdo a la Organización Mundial para la Salud (OMS) casi 900 millones de personas en el mundo no reciben agua potable en sus hogares. A medida que la población global continúa creciendo, también crece la demanda. Más y más agua se necesita para sostener la población en crecimiento. De hecho la demanda del agua para el consumo humano se ha duplicado desde 1950 (Ray, 2011). Sin embargo, el ser humano es el único organismo en el planeta que sistemáticamente está afectando la disponibilidad de este vital líquido, aun para el uso benéfico de él mismo.

2.2 El estado de Baja California, México

El estado de Baja California se localiza en la región norte noroeste de la República Mexicana, en la parte norte de la península del mismo nombre y se ubica geográficamente entre los meridianos 122 26' y 117 06' de longitud oeste y entre los paralelos 28 00' y 32 43' de

latitud norte. Limita al este con el Golfo de California; al noreste con el estado de Sonora; al norte con la frontera de los Estados Unidos de Norteamérica en una extensión de 265 kilómetros, de los cuales 233 corresponden al estado de California y 32 al estado de Arizona; al oeste con el Océano Pacífico y al sur con el estado de Baja California Sur (COSAE, 1994)

El estado de Baja California está integrado por cinco municipios: Mexicali, Tecate, Tijuana, Playas de Rosarito y Ensenada, este tiene una extensión de 70,113 kilómetros cuadrados, los cuales representan el 3.6 por ciento del territorio nacional. La división municipal del estado se puede observar en la Figura 13.

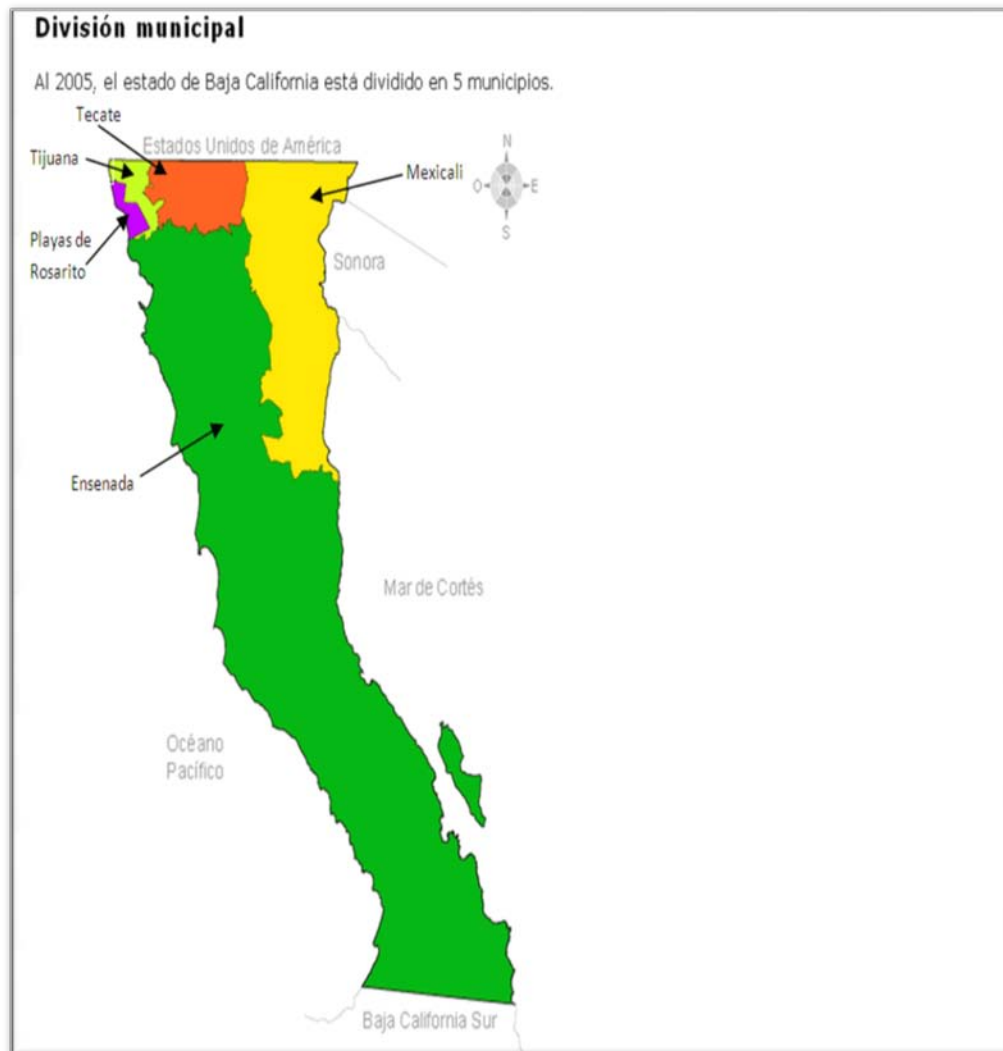


Figura 13. Mapa del estado de Baja California y sus 5 municipios.
Fuente: INEGI con adaptaciones.

2.3 El municipio de Mexicali

Mexicali es la capital del estado de Baja California, México y abarca un área de 13, 607 km². Este es un valle que está localizado al nivel del mar, este valle consiste de tierra agrícola fértil rodeada por el desierto, y limita al sur/sureste con el Golfo de California y la Sierra Pintas y al oeste con la Sierra Cucapah. ((Liden, 2003, CRBRWQCB, 2002) citado en Viau, 2005).

Mexicali se localiza al noroeste del estado de Baja California, y se ubica geográficamente entre los paralelos 30 57'40''- 32 43'00'' latitud norte y los meridianos 115 21'50''-115 40'20'' longitud oeste. Como se puede observar en la Figura 14., Mexicali es una zona desértica con una variedad de suelos que van de tierras muy fértiles a tierras no fértiles, dunas, tierra limo, entre otros.

La ciudad de Mexicali nació a principios del siglo XIX, al iniciarse las obras de regadío en el bajo delta del Río Colorado. El valle donde está situada la ciudad tomó el mismo nombre y de éste derivó el del municipio. En 1903 se realizó el primer trazo de la ciudad por parte de ingenieros norteamericanos, que abarcó lo que se conoce como primera sección y estaba habitada en su mayoría por ciudadanos chinos, mientras que gran parte de la población mexicana se ubicaba en la zona llamada Pueblo Nuevo. En 1915 Mexicali se convirtió en la capital del entonces Distrito Norte de Baja California, se instalaron en la ciudad instituciones gubernamentales y se inició la construcción de edificios públicos de importancia (COSAE, 1994).

La urbanización del Valle de Mexicali ha estado relacionada con el crecimiento y evolución del sector agrícola en la región. Este desarrollo fue enteramente sostenido por el Río Colorado debido a su proximidad estratégica y clima. La ciudad tuvo su máximo desarrollo hasta 1907 cuando finalmente se resolvió el problema de los hundimientos de las tierras de cultivo debido al rompimiento del sistema canal de riego. Esto llevo al asentamiento de agricultores pequeños, gente de negocios y proveedores de servicios básicos, que a su vez atrajo nuevos inmigrantes para trabajar en los sistemas de riego y proyectos de comunicación (Ganster, 2006).

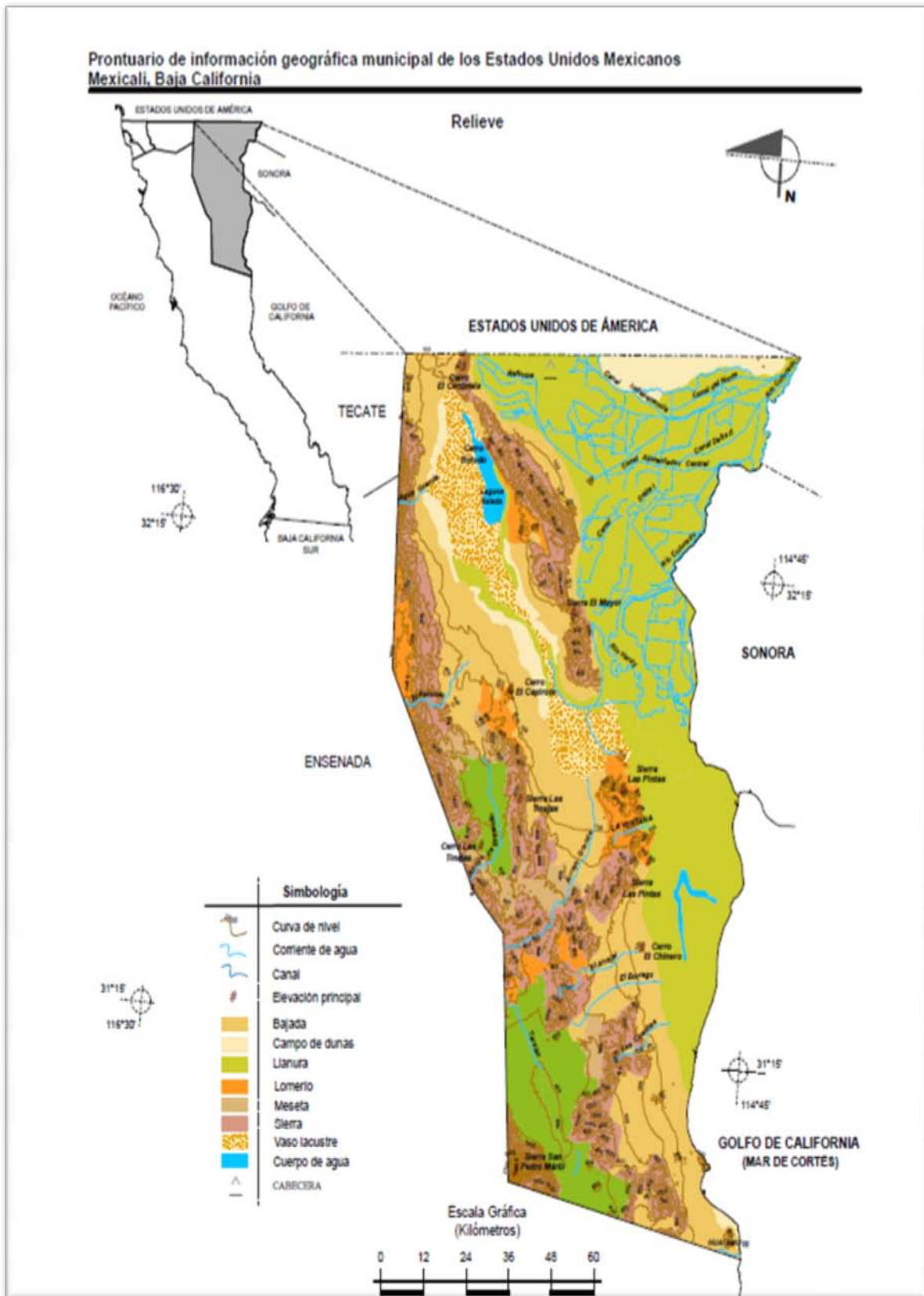


Figura 14. Marco geoestadístico municipal.
Fuente: INEGI, 2005

En la porción mexicana de la Cuenca Baja del Río Colorado, se encuentra el Distrito de Riego 014 Río Colorado, con una superficie dominada con obra de 250,000 hectáreas, de las que 207,506 se cultivan por ciclo agrícola, aproximadamente un 60% en el ciclo otoño-invierno y un 30% en ciclo primavera-verano y un 10% de cultivos perennes (Cobo, 2002).

2.3.1 El clima de la Región

Debido a la situación geográfica donde se encuentra el municipio de Mexicali, éste presenta climas extremos, principalmente en el verano e invierno. El municipio de Mexicali presenta cuatro climas diferentes dentro del grupo de secos-áridos, con escasa precipitación. El clima cálido seco que comprende a la Ciudad de Mexicali, su valle y San Felipe. Este clima predomina en el 47% del territorio municipal, aproximadamente.

El clima semiárido seco abarca un 37% del territorio y se manifiesta en la parte central del municipio representando un 6% del área municipal. El 10% es de clima templado y semiseco y se localiza en la zona central oeste, comprendiendo parte de las sierras Juárez y San Pedro Mártir. Por otro lado, el flujo de vientos provienen de noroeste a suroeste la mayor parte del año; la precipitación pluvial anual promedio es de 132 milímetros (COSAE, 1994). Los rangos de temperaturas en el Valle de Mexicali en verano oscilan entre 20-52 °C y en invierno entre 5-30 °C. En la Figura 15, se puede apreciar los diferentes tipos de clima en la región.

Aún con estos climas extremos en la región, Mexicali es una ciudad con una calidad de vida superior a muchas ciudades del país, siendo una atracción para personas que viven en el interior del país. De acuerdo al INEGI, la población de Mexicali en 2005 fue de 855,962 personas y esta se espera que aumente debido al nivel de inmigración interna que experimenta la ciudad (INEGI, 2008).

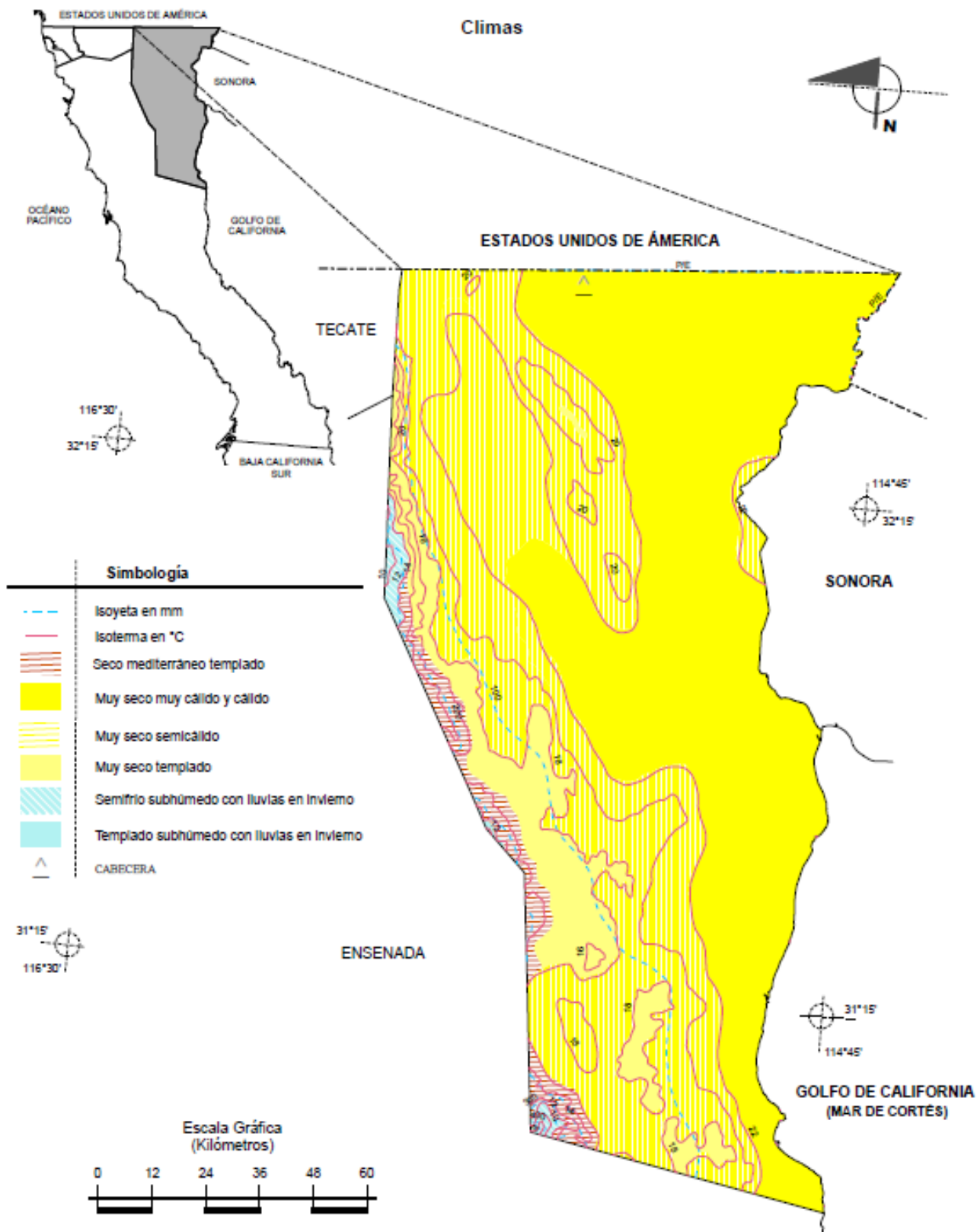


Figura 15. Marco geoestadístico municipal de Mexicali.
Fuente: INEGI, 2005

2.3.2 Recursos hídricos de la región

El Río Colorado es la principal fuente hídrica de la región. El Río Colorado es el río más largo en el sur-oeste de EE.UU. y es el quinto más grande del país. Muchas presas, incluyendo dos de las más grandes del mundo, las presas Hoover y Glen Canyon, se encuentran en el Río Colorado para crear embalses, desviar agua y producir electricidad (Ray, 2011). Este río tiene su inicio en las montañas Rocallosas en los EE.UU. y desemboca en el Golfo de California, México. El río tiene una superficie de aproximadamente 637,140 km². El Río Colorado atraviesa por siete estados de la Unión Americana. Estos estados son: Colorado, Wyoming, Utah, New México, Nevada, Arizona y California, como a su vez los estados mexicanos de Baja California y Sonora. Son aproximadamente 2044 km el recorrido que el río tiene desde las Montañas Rocosas, hasta formar la línea limítrofe entre EE.UU. y México entre las ciudades de Yuma y San Luis, Arizona. Aquí, el Río Colorado, tiene un recorrido de 39 km. El río subsecuentemente hace un recorrido de 160 km en México antes de desembocar en el Golfo de California (Carpio y Gaona, 2001). La dimensión de la cuenca del Río Colorado se puede apreciar en las Figuras 1 y 2.

El Río Colorado es la principal fuente de abastecimiento de agua en la ciudad de Mexicali y su valle. Este río nace en las montañas del Norte de los EE.UU. y recorre para llegar a los valles de Mexicali e Imperial una distancia de más de 2,000 Km. Una vez que llega al país, pasa por Baja California y Sonora. Cuando llega a Mexicali, lo recibe la presa Morelos, y ésta a su vez distribuye el agua con ayuda de canales de riego a todo el valle y la ciudad. El agua que llega a la ciudad se recibe a través del canal Bennassini. Este conduce el agua a tres plantas potabilizadoras: La planta potabilizadora No.1 (colonia Pro-hogar), la No.2 (colonia Calles) y la No.3 (Xochimilco), (CESPM, 2011).

De acuerdo a la CESPM, la ciudad de Mexicali tiene asignados por la Comisión Nacional del Agua 82 millones de metros cúbicos anuales, cantidad que ya fue rebasada por la demanda debido al acelerado crecimiento que ha tenido este municipio. Uno de los problemas de la escasez del agua en la región es el manejo inapropiado del agua. Otro problema del agua en la región es que cuando se asignaron las aguas del Río Colorado en los 1920's, se repartieron usando datos pluviales de años extremadamente lluviosos que no son acordes a la hidrología

histórica del río. El punto es de que estas aguas ya han sido asignadas y ahora tanto en EE.UU., como en México dependen de ella y de los cultivos que ella produce (Ray, 2011).

La disponibilidad del agua pareciera no ser un problema para las ciudades del norte del estado de Baja California, México, especialmente para la Ciudad de Mexicali ya que obtienen este vital líquido 365 días al año y a un precio relativamente bajo. Pero de acuerdo a un plan estatal hidráulico elaborado en 1994 por la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas y la Comisión de Servicios de Agua del Estado, Subdirección de Planeación, (COSAE) este vital líquido alcanzaría un déficit en la Ciudad de Mexicali para el año 2003 de un 2% de la demanda proyectada para ese año. Este plan estatal hidráulico abarca 1994-2015.

Estas predicciones ya han sido comprobadas por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM) pues esta institución indica que los 82 millones de metros cúbicos anuales, de agua que la ciudad tiene asignados por la Comisión Nacional del Agua ya fue rebasada por la demanda debido al acelerado crecimiento que ha tenido este Municipio. Si a esto se le agrega que Mexicali posee el índice de consumo de agua más elevado por habitante en el estado y que el agua es ofrecida al público a un precio relativamente bajo, lo que propicia el uso irracional del vital líquido (COSAE, 1994). De acuerdo a CESPM el gasto promedio diario por habitante en Mexicali es de aproximadamente 300 litros/día, un promedio muy elevado en comparación con áreas con las mismas características de Mexicali.

Pero, el alto consumo de agua no se limita solamente a Mexicali si no que a la región de sur oeste de los EE.UU. que también utilizan el agua del Río Colorado para suplir necesidades. De acuerdo a (Ray, 2011) la región del suroeste de los EE.UU., tienen el consumo de agua más elevado per cápita en el país y posiblemente en el mundo.

El consumo per cápita es de un promedio de 230 galones (869 litros) per cápita por día (gpcd), con algunas ciudades con un gpcd arriba de 300 (1,134 litros). Para poner esto en perspectiva, el promedio nacional en los EE.UU. es de 101 (382 litros) gpcd, en Canadá es de 86 (325 litros) gpcd, 39 (147 litros) gpcd en Francia y 20 (76 litros) gpcd en Jordania (Ray, 2011). Si comparamos los 20 (76 litros) gpcd de Jordania, que cuenta con una geografía y clima bastante similar al del Valle de Mexicali, con los 80 (302 litros) gpcd de Mexicali, la población estaría usando un 75% más de agua que Jordania.

Sí a esto le agregamos que de acuerdo a la Oficina de Restauración de Estados Unidos (USBR, por sus siglas en inglés), la cuenca del Río Colorado está experimentando una prolongada sequía que inicio en Octubre de 1999, causando que el embalse del Lake Powell en el 2002 experimentara la reducción más baja de agua que este embalse haya tenido y el nivel del embalse del Lake Mead continúa declinando hasta el día de hoy (Ray, 2011). El futuro del suministro de agua en Mexicali es incierto, al menos que las autoridades competentes tomen las acciones necesarias para el cuidado de este vital líquido.

Además, la disponibilidad del agua en los Valles Imperial y Mexicali se agrava debido al calentamiento global. El suroeste de los EE.UU. ha experimentado un incremento en temperatura en la última década. El incremento de temperatura tiene un impacto directo en el recurso del agua y causa un decline en la disponibilidad, suministro, y fiabilidad debido a los altos riesgos de sequía; cambios en precipitación; reducción de las capas de nieve, escorrentía y caudales; y el incremento en la evapotranspiración. El aumento de las temperaturas también aumenta la demanda de agua. El aumento en la demanda del agua debido al aumento de las temperaturas, agregando el crecimiento de la población, el suministro adecuado del agua para las futuras generaciones sigue siendo incierto. De hecho, estudios indican que la demanda actual sobre los recursos hídricos en el suroeste de EE.UU. no se va a poder satisfacer (Ray, 2011). Debido a la escasez del agua en la región, México construyo el Dren La Mesa en 1967 y una serie de pozos para captar las infiltraciones del Canal Todo Americano. Tanto el dren en su tramo inicial como los pozos cuentan con equipo de bombeo. Del Dren se obtienen 1000 litros por segundo (l.p.s.) con una salinidad promedio de 900 ppm que son utilizados para el riego de 1200 hectáreas. Posteriormente abajo al dren se le integran otros 1000 l.p.s. originados por retornos de riego del Valle de Mexicali con una salinidad media de 3500 ppm

Sin embargo, como consecuencia de revestimiento del Canal Todo Americano, en los EE.UU. se estima que se inhabilitarán terrenos agrícolas (1200 hectáreas), que se riegan con aguas iniciales del Dren La Mesa, se incrementaría la salinidad en las aguas del acuífero, los costos de operación aumentarían al profundizarse los niveles de bombeo, lo que también obligaría a rehabilitar algunos pozos y la perdida en cultivos al bajar el rendimiento por la salinidad del acuífero ((CNA, 1991), citado en Cobo, 2002).

Debido a estos problemas, desde 1985, la Comisión Nacional del Agua, CNA, ha estado haciendo investigaciones en la posibilidad de reusar las aguas municipales tratadas de Mexicali I para la producción de trigo, sorgo, cebada, avena y algodón en un sistema de rotación de cultivos (Rodríguez, 1985) citado en (Tanji *et. al.*, 1993). Estos estudios indican que el contenido orgánico que contienen las aguas residuales tratadas han mejorado la calidad de la tierra así como ha reducido en un 10% la necesidad de fertilizar debido a la presencia de Nitrógeno y Fosforo en el agua. Además estas han aumentado la producción de los cultivos hasta por un 30% en comparación con cultivos irrigados con agua regular ((Figuerola, 1991) citado en Tanji *et al.*, 1993).

Además, de la CNA, y debido a que Mexicali, estaría enfrentando una crisis de este vital líquido en un futuro muy cercano, la CESPAM está también impulsando el reúso del agua en la ciudad. En este plan también entra el reúso de aguas residuales tratadas. Debido a estos planes hidráulicos, existe la posibilidad que gran parte del agua que se descarga en la actualidad al Río Nuevo de la planta de tratamiento Zaragoza (Mexicali I) y de las descargas agrícolas del valle, disminuya o cese completamente. Esto implica que en un futuro, si la ciudad continúa experimentando el crecimiento de la población, el agua que actualmente se descarga al Río Nuevo podría ser reusada en la ciudad. Esto implicaría que los sedimentos del río quedarían expuestos, he ahí la necesidad de evaluar el potencial de desechos peligrosos que los sedimentos podrían representar.

El reúso de aguas residuales para el riego de los cultivos es una práctica que se está haciendo muy común. De acuerdo a la Organización Mundial para la Salud, el uso de aguas residuales para el riego de los cultivos está en aumento, especialmente en áreas áridas y semi-áridas. Los rendimientos de los cultivos son más altos ya que no sólo contiene agua para el crecimiento de los cultivos sino también nutrientes para las plantas, principalmente nitrógeno y fósforo (Ayres, 1996).

2.4 Contaminación de ríos

Las diversas actividades humanas para el desarrollo y el bienestar de la misma, han traído consecuencias graves a los ríos. Históricamente se han utilizado los ríos para dos funciones, obtención de agua, y para las descargas municipales e industriales, lo que ha traído como

consecuencia la rápida degradación de éstos. De acuerdo a García y Dorronsoro, en el suelo existen ciertos elementos químicos que se encuentran en muy bajas concentraciones y que ocurren naturalmente, pero ha ocurrido que las concentraciones más altas de estos elementos se han vuelto tóxicas para los organismos. Dentro de este grupo de elementos son muy abundantes los denominados metales pesados. Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos que aunque son metales ligeros o no metales se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados; es este el caso del As, B, Ba y Se (García y Dorronsoro, 2002)

Dentro de los metales pesados hay dos grupos; los oligoelementos o micronutrientes y los metales pesados sin función biológica conocida. Los oligoelementos o micronutrientes son aquellos que en pequeñas cantidades, o cantidades trazas son necesarios por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, pero al pasar cierto umbral, estos son tóxicos. Dentro de este grupo se encuentran; As, B, Co, Cr, Cu, Ni, Mo, Mn, Se y Zn.

Los metales pesados sin función biológica conocida, son aquellos que cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos causan disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Estos son altamente tóxicos y tienen la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Estos metales pesados son principalmente; Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb y Bi. Un estudio realizado en la cuenca del Río Elqui en Chile indica que la intensificación de las faenas minero-metalúrgicas de la región coincidió con incrementos en los contenidos de As y Cu de los ríos Toro, Turbio y Elqui, ya que estos ríos son receptores directos o indirectos del drenaje del área mineralizada (Guevara *et al.*, 2006). Aunque en la región de Mexicali no existen industrias mineras, en Mexicali existen muchas industrias que tienen el potencial de descargar estos metales pesados.

Todos los metales pesados en ciertas concentraciones son tóxicos, por lo que son clasificados como sustancias peligrosas y muchos de ellos son introducidos a los ríos debido a las diversas actividades humanas. En los últimos años, se ha hecho un gran esfuerzo en estudiar la carga, destino y distribución de los metales pesados en ríos y estuarios (Ouyang, 2002).

En estudios de otros ríos se ha encontrado que los sedimentos de los ríos contienen una mezcla compleja y diversas concentraciones de varios contaminantes orgánicos e inorgánicos. Se llevan a cabo una serie de pruebas para evaluar e identificar la causa o causas de la toxicidad por estas sustancias (Kay, 2008). Aunque la mayoría de estos contaminantes son diluidos por el agua o evaporados debido a las características químicas de ellos, muchos tienden a retenerse en los sedimentos de los ríos. En este estudio del Río Nuevo, se analizaron los contaminantes orgánicos e inorgánicos así como los metales pesados, los compuestos volátiles y semivolátiles, entre otros.

Hay que tener en cuenta que la presencia de algunos metales regulados en las normas, no necesariamente significa que hayan sido desechados por el ser humano al río. En un estudio realizado en la Cuenca de San Juan de Otates, Estado de Guanajuato, y que es parte del Sistema Lerma-Chapala, concluye que las concentraciones de Ni y Cr en suelos y sedimentos son el resultado de las características del intemperismo geoquímico dominante, principalmente en la parte alta de la cuenca, donde la red de drenaje (natural y modificado) es reflejo del transporte y es éste quien rige su comportamiento (Hernández *et al.*, 2000). En este estudio se concluye que las rocas piroxenitas y serpentinitas están asociadas a las mayores concentraciones de Ni y Cr en la subcuenca San Juan de Otates. Esto es importante ya que, aunque este estudio, no abarca la identificación de la procedencia de los contaminantes presentes en el Río Nuevo, algunos de éstos en el caso de metales pesados pudieran estar presentes en forma natural.

Sin embargo García y Dorronsoro, 2002, contradicen esta opinión; ellos indican que los metales pesados son muy estables en el suelo y en el proceso natural de transformación de las rocas para originar a los suelos suelen concentrarse, pero, en general, sin rebasar los umbrales de toxicidad y además los metales pesados presentes en las rocas se encuentran bajo formas muy poco asimilables por los organismos. García y Dorronsoro, concluyen que; aunque la producción de estos metales pesados ocurre naturalmente en los procesos edafogenéticos que dan lugar a la formación del suelo, la actividad humana incrementa el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas.

A esto, Gómez *et al.*, 2004, nos indica en su estudio que aunque la alta concentración de metales pesados en el río San Pedro en la ciudad de Cananea, Sonora, México, se debe primordialmente a la industria minera en la región, otra de las posibles fuentes de metales pesados son las aguas residuales de origen doméstico provenientes de un sector de la ciudad de Cananea, Sonora, que son descargadas al río San Pedro sin ningún tratamiento. En otro estudio de la calidad de sedimentos en un río, William *et al.* (1976) y Connell y Miller (1984), citado en Gómez *et al.*, 2003, también indican que los efluentes doméstico que contienen desechos metabólicos y productos de consumo (jabones y detergentes) contribuyen con cantidades apreciables de cobre, cadmio, cromo, plomo y zinc, entre otros. Sin embargo, la contaminación de los ríos no se limita a metales pesados.

El Río Colorado ha sido contaminado con perclorato. Aunque este compuesto químico puede estar presente naturalmente, también este es producido por la industria. En la población de los EE.UU. la exposición a este compuesto es muy alta. Aunque en algunos lugares son más altos aún que otras regiones. Una de estas regiones es la cuenca baja del Río Colorado. En el estado de Nevada, las actividades manufactureras de perclorato de amonio contaminaron las aguas subterráneas y superficiales y eventualmente el Lago Mead y el Río Colorado. La USEPA y las autoridades del estado de Nevada están trabajando conjuntamente en la supervisión de los trabajos de remediación del área contaminada (English *et al.*, 2011). Esto es muy importante ya que la población entera del Valle de Mexicali e Imperial, dependen del Río Colorado y es el único recurso de agua en la región. Por estas razones se trató de encontrar recursos para los análisis de este compuesto en las aguas del Río Nuevo. La Cal-EPA a través del Departamento para el Control de Sustancias Tóxicas (DTSC, por sus siglas en inglés) proveyeron los recursos para los análisis de Perclorato en las aguas y sedimentos del Río Nuevo.

2.5 Legislación ambiental en materia de manejo de residuos peligrosos

Las normas para el manejo de desechos y/o residuos peligrosos en EE.UU. como en México son muy similares, en efecto, son las mismas. Sin embargo, las regulaciones y normas estatales de California para el manejo de desechos y residuos peligrosos son más estrictas. De

hecho hay muchos elementos y compuestos químicos que son regulados únicamente por las normas de California.

Las leyes para el manejo de desechos peligrosos en California se encuentran en California Environmental Laws, Health and Safety Code, Division 20, Chapter 6.5 (Thomson West, 2006). Además estas leyes se encuentran en forma de regulaciones en California Code of Regulations Title 22 Division 4.5 Environmental Health Standards for the Management of Hazardous Waste (West, 1990).

2.5.1 Manejo de residuos peligrosos en EE.UU.

La Ley de Conservación y Recuperación (RCRA, por sus siglas en inglés), es una enmienda del Acta para la Eliminación de Desechos Sólidos. Esta ley fue promulgada en 1965 para el manejo apropiado de desechos sólidos (USEPA, 2008). En 1976 esta ley fue enmendada para agregar normas para el manejo de desechos peligrosos. La meta de esta ley es la protección de la salud humana de los riesgos potenciales de la eliminación de residuos, conservación de energía y recursos naturales, la reducción de desechos generados y garantizar que los desechos se manejen de una manera ambientalmente racional (USEPA, 2008). Esta acta provee a la USEPA con poderes necesarios para la creación de normas para regular los desechos producidos en el país. Estos poderes a su vez son otorgados a los estados de la unión para la implementación de la ley. La meta del gobierno de los EE.UU. con la promulgación de esta ley, es controlar los desechos, sólidos y peligrosos, en el país. Aparte de esta enmienda, ha habido otras enmiendas a la ley de acuerdo a la necesidad del país. Las enmiendas que esta ley a tenido son: la enmienda para los desechos sólidos y peligrosos en 1984, la enmienda para el cumplimiento a la ley de instalaciones federales y el cambio a la norma para la disposición de desechos sólidos en 1996.

2.5.2 Manejo de residuos peligrosos en México

En México, los residuos peligrosos han estado sujetos a regulación desde 1988. Año en el que se publica la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). También en este año se publicaron los reglamentos en materia de residuos peligrosos

como también siete normas técnicas ecológicas en la materia que hoy se conocen como Normas Oficiales Mexicanas o NOMs por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

En octubre de 2003 se publicó la nueva ley que, hasta hoy, regula los residuos peligrosos en México. La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, LGPGIR. Esta ley es un complemento a la ya establecida en 1988. Sin embargo, tras 15 años de experiencia en el manejo de residuos y/o desechos peligrosos, el 30 de noviembre de 2006, se introdujeron cambios a la LGPGIR. Estos cambios fueron en base a lo aprendido en el manejo de éstos desde la promulgación de la LGEEPA, en 1988 (SEMARNAT, 2006). El reglamento a la ley general entró en vigor el 30 de diciembre de 2006.

El manejo de desechos y residuos peligrosos en México está basado en los reglamentos de la LGPGIR así como en las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

- NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos peligrosos.
- NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Protección ambiental, salud ambiental, residuos peligrosos biológico-infecciosos, clasificación y especificaciones de manejo.
- NOM-133-SEMARNAT-2000. Protección ambiental bifenilos policlorados (BPC's)-Especificaciones de manejo.
- NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.
- NOM-141-SEMARNAT-2003. Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y pos operación de presas de jales.
- NOM-147-SEMAARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.

Además, La Dra. Cristina Cortinas de Navas a través de la SEMARNAT ha publicado el libro “Colección Técnica y Estadística, Regulación de los Residuos Peligrosos en México,” el cual es una guía completa para el manejo de ellos.

Esta legislación la complementan otras Normas Oficiales Mexicanas y las disposiciones contenidas en los convenios internacionales de los que México es parte y que fueron aprobadas por el Senado y firmadas por el Ejecutivo, por lo que se han convertido en ley nacional.

2.6 Características de residuos peligrosos

De acuerdo a la norma, los residuos o desechos peligrosos son todos aquellos que presenten características o propiedades de inflamabilidad, corrosividad, reactividad y toxicidad en concentraciones arriba de los niveles establecidos en las normas. Las cuatro características principales que es necesario conocer para caracterizar cualquier sustancia, ya sea, sólido, líquido o gaseoso están definidas de la siguiente manera:

2.6.1 Corrosividad

Una muestra es considerada desecho peligroso cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

1. Es un líquido acuoso y presenta un pH menor o igual a 2.0 o mayor o igual a 12.5
2. Es un sólido que cuando se mezcla con agua destilada presenta un pH menor o igual a 2.0 o mayor o igual a 12.5.
3. Es un líquido no acuoso capaz de corroer el acero al carbón, tipo SAE 1020 a una velocidad de 6.35 milímetros o mas por año a una temperatura de 328 K (55 °C).

2.6.2 Reactividad

Una muestra es considerada desecho peligroso cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

1. Es un líquido o sólido que después de ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a cinco minutos sin que exista una fuente externa de ignición.
2. Cuando se pone en contacto con agua reacciona espontáneamente y genera gases inflamables en una cantidad mayor de 1 litro por kilogramo del residuo por hora.
3. Es un residuo que en contacto con el aire y sin una fuente de energía suplementaria genera calor.
4. Posee en su constitución cianuros o sulfuros liberables, que cuando se expone a condiciones ácidas genera gases en cantidades mayores a 250 mg de ácido cianhídrico por Kg de residuo.

2.6.3 Explosividad

Cuando es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva solo o en presencia de una fuente de energía o si es calentado bajo confinamiento. Esta característica no debe determinarse mediante análisis de laboratorio, por lo que la identificación de esta característica debe estar basada en el conocimiento del origen o composición del residuo.

2.6.4 Inflamabilidad

Una muestra es considerada desecho peligroso cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

1. Es un líquido o una mezcla de líquidos que contienen sólidos en solución o suspensión que tiene un punto de inflamación inferior a 60.5 °C, medido en copa cerrada, quedando excluidas las soluciones acuosas que contengan un porcentaje de alcohol, en volumen, menor a 24%. Cabe mencionar que en California, el límite máximo permisible para esta característica es inferior a 60 °C.
2. No es líquido y es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25 °C.
3. Es un gas que, a 20 °C y una presión de 101.3 kPa, arde cuando se encuentra en una mezcla del 13% o menos por volumen de aire, o tiene un rango de inflamabilidad con

aire de cuando menos 12% sin importar el límite inferior de inflamabilidad.

4. Es un gas oxidante que puede causar o contribuir más que el aire, a la combustión de otro material.

2.6.5 Tóxico ambiental

Una muestra es considerada como desecho peligroso cuando una muestra representativa presenta, mediante el extracto PECT, obtenido mediante el procedimiento establecido en la NOM-053-SEMARNAT-1993, contiene cualquiera de los constituyentes tóxicos listados en esta norma en una concentración mayor a los límites ahí señalados.

Además de las sustancias que la norma identifica como residuo peligroso, la norma también identifica ciertos constituyentes y cantidades como peligrosos tóxicos. Estos constituyentes pueden ser inorgánicos como metales pesados y orgánicos como compuestos volátiles y semivolátiles. Los límites máximos permisibles de estos constituyentes son los mismos en la NOM-052-SEMARNAT-2005 que rige en México como las normas que rigen en los EE.UU.

Otro constituyente de interés es el perclorato (ClO_4). Este es un químico emergente tóxico. Ya que existen evidencias científicas que señalan a este compuesto en la disrupción del funcionamiento normal de la tiroides. El perclorato es un químico que puede estar presente naturalmente y que también es manufacturado para su uso en diferentes ramas de la industria. El perclorato es principalmente usado para la fabricación de combustible para cohetes, fuegos artificiales y explosivos (USEPA, 2011). Este químico es comúnmente se encuentra en sales iónicas. Dos de estas sales son: el perclorato de sodio y el perclorato de amonio. De acuerdo a la Cal-EPA, Perclorato se ha encontrado como impuridad en algunos minerales usados como fertilizantes (Cal Environmental Protection Agency/DTSC, 2006)

En la actualidad la USEPA no ha establecido límites máximos permisibles para este contaminante, pero sí provee orientación con respecto a éste. La USEPA ha adoptado el nivel límite de 24.5 ug/L en agua potable (USEPA, 2006). La USEPA recomienda también este límite para la remediación de sitios contaminados con este compuesto. Aunque en la actualidad no existen regulaciones federales en los EE.UU. para este compuesto químico, en febrero de este

año, 2011, la USEPA publicó la determinación final para la regulación de este compuesto. Debido al potencial que existe de este compuesto de encontrarse en fertilizantes y ya que gran parte de la economía del Valle Imperial y de Mexicali se basan en la agricultura, la Cal-EPA/DTSC demostró interés en analizar los sedimentos del Río Nuevo por este compuesto.

Finalmente, en la norma de California para la caracterización de desechos como peligrosos tóxicos, el código de regulaciones de California título 22, sección 66261.24, señala las pruebas de bioensayos en peces. Debido a que este estudio ha sido posible por el apoyo de la Agencia Estatal para la Protección Ambiental de California, Departamento para el Control de las Sustancias Tóxicas (Cal EPA/DTSC), los bioensayos en peces se realizaron en muestras tomadas de los diferentes puntos identificados para este estudio.

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Muestreo

La recolección y análisis de muestras de sedimento se realizaron de acuerdo a las normativas oficiales de Cal-EPA/DTSC. Se realizaron cuatro etapas de trabajo de recolección de muestras de sedimentos del Río Nuevo. Las muestras fueron obtenidas de la superficie del río, ya que esta representa la zona biológicamente activa, es donde las concentraciones existentes de contaminantes podrían afectar a los organismos acuáticos ahí presentes (Innuzzie *et al.*, 2005).

Las muestras se tomaron a una profundidad de 0-10 cm. (Armstrong *et al.*, 2005). Las muestras se realizaron de acuerdo a las guías establecidas por la USEPA en el documento titulado "Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods", también conocido como SW-846, capítulo nueve titulado "Sampling Plan" (USEPA, 1986). Todas las muestras fueron conservadas a 4 °C en hielo y transportadas al Laboratorio Químico Ambiental de la Cal-EPA en la ciudad de Los Ángeles, California dentro del tiempo de retención establecido, para sus análisis.

3.1.1 Materiales para la obtención de muestras

Los materiales utilizados para la recolección de muestras fueron proveídos por Cal EPA/DTSC. Para la toma de muestras de sedimentos se utilizaron los siguientes materiales:

1. Envases de vidrio aprobados por la USEPA
2. Cavadador Agrícola
3. Cucharas de plástico desechables
4. Guantes de látex
5. Equipo de protección personal
6. Hieleras

7. Hielo
8. Cinta especial para la cadena de custodia
9. Jabón biodegradable
10. Agua destilada

3.1.2 Método para la obtención de muestras

La obtención de muestras de sedimentos del Río Nuevo se llevó a cabo siguiendo el método: “EPA SW-846 Chapter 9” titulado “Sampling Plan.” Para la obtención de los sedimentos se utilizó un cavador agrícola (ver Foto 1). Con este cavador se obtuvieron núcleos de aproximadamente 0-10 cm. Las muestras de suelo superficial se tomaron con espátulas de plástico estériles de 2 onzas (ver Foto 2). Las muestras obtenidas se homogenizaron y se depositaron en recipientes de vidrio de 500 ml, previamente lavados, esterilizados, y cubiertos con tapa de teflón (ver Foto 3). Los envases fueron sellados con la cinta especial para preservar la cadena de custodia (ver Foto 4). El equipo utilizado para la obtención de los sedimentos, se enjuagó con agua destilada (ver Foto 5) después de lavarse bien con jabón biodegradable (ver Foto 6), antes de cada toma de muestra.

3.2 Sitios de muestreo

Se establecieron siete sitios de estudio a lo largo del Río Nuevo. Se identificaron cuatro sitios de estudio, incluyendo un sitio testigo, en el Valle Imperial, EE.UU., y otros tres sitios de estudio en la Ciudad de Mexicali, México. En territorio estadounidense, los sitios fueron los siguientes: Ciudad de Calexico, Red Hill Marina en el Lago Salton Sea, y en el río a la altura de Lack Road en la Ciudad de Westmorland. El sitio testigo fue el canal llamado Dogwood que se encuentra en el condado Imperial cerca de la comunidad de Heber, en los EE.UU. Este sitio es un canal no revestido que transporta agua dulce del Río Colorado. Los sitios de muestreo en la Ciudad de Mexicali fueron los siguientes: Laguna Xochimilco, Dren Tula West y los Patios Aduanales Federales a la altura de la línea internacional con EE.UU, entre Mexicali y Calexico.



Foto 1. Cavador agrícola
Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10



Foto 2. Cuchara de plástico esterilizada
Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10



Foto 3. Vasos de vidrios certificados
Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10



Foto 4. Cinta de cadena de custodia
Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10



Foto 5. Agua destilada
Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10



Foto 6. Jabón biodegradable
Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10

La ubicación geográfica de los puntos de muestreo fue tomada con un Sistema de Posición Global (GPS, por sus siglas en inglés), de la marca Garmin, modelo rino 520. Estos puntos se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de puntos de muestreo.

	Fecha	Puntos	Latitud	Longitud
Calexico	13/11/09	Sample_site_1	N32° 40' 12.0"	W115° 30' 34.9"
Calexico	13/11/09	Sample_site_2	N32° 39' 56.0"	W115° 30' 4.0"
Calexico	13/11/09	Sample_site_3	N32° 39' 55.1"	W115° 30' 4.9"
Calexico	13/11/09	Sample_site_4	N32° 40' 11.3"	W115° 30' 32.5"
Calexico	13/11/09	Sample_site_5	N32° 40' 12.3"	W115° 30' 30.2"
Calexico	13/11/09	Sample_site_6	N32° 40' 22.5"	W115° 30' 55.5"
Calexico	13/11/09	Sample_site_7	N32° 40' 22.1"	W115° 30' 55.9"
Red Hill Marina_Salton Sea	21/05/10	Salton_Sea_1	N33° 11' 41.9"	W115° 36' 52.5"
Red Hill Marina_Salton Sea	21/05/10	Salton_Sea_2	N33° 11' 40.1"	W115° 36' 54.7"
Red Hill Marina_Salton Sea	21/05/10	Salton_Sea_3	N33° 11' 39.8"	W115° 36' 55.6"
Westmorland/Lack Rd	28/08/10	Lack_Rd_1	N33° 06' 0.16"	W115° 39' 5.13"
Westmorland/Lack Rd	28/08/10	Lack_Rd_2	N33° 06' 17.1"	W115° 39' 52.2"
Canal Dogwood	28/08/10	Dogwood_Canal_1	N32° 42' 32.72"	W115° 32' 2.28"
Laguna Xochimilco	15/11/10	Xochimilco_1	N32° 36' 17.5"	W115° 26' 30.8"
Laguna Xochimilco	15/11/10	Xochimilco_2	N32° 36' 19.9"	W115° 26' 55.4"
Canal Tula West	15/11/10	Canal Tula West	N32° 36' 08.1"	W115° 26' 55.4"
Patios Aduanales	15/11/10	Patios_Aduana_1	N32° 39' 46"	W115° 29' 9.38"
Patios Aduanales	15/11/10	Patios_Aduana_2	N32° 39' 51.7"	W115° 29' 56.6"

3.2.1 Sitios de estudio en el Valle Imperial, EE.UU.

Se ubicaron tres sitios de estudio a lo largo del río. Estos sitios de estudio son: Ciudad de Calexico, Ciudad de Westmorland y el Lago Salton Sea. También se ubicó un sitio testigo. Estos sitios se presentan a continuación.

Sitio de estudio No.1

Debido a que la Ciudad de Calexico es la primera área afectada por la contaminación del Río Nuevo en territorio estadounidense, se decidió establecer siete puntos de muestreo en este

sitio. Estos puntos de muestreo se pueden apreciar en la Figura 16.



Figura 16. Sitio de estudio No. 1.

Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010.

Los puntos de muestreo se registraron con un GPS. Las coordenadas de estos puntos se pueden apreciar en la Tabla 1. En noviembre 13 de 2009, como se puede ver en Fotos 7, 8, 9 y 10 se colectaron un total de 15 muestras de sedimento, agua y suelo, en este sitio. Todas las muestras se analizaron por el potencial de desecho peligroso que estas representaban.

Las muestras tomadas se mantuvieron con hielo en una hielera a una temperatura promedio de 4 °C en campo y durante su transporte. Las muestras se llevaron al Laboratorio Químico Ambiental de Cal EPA/DTSC en la Ciudad de Los Ángeles. Las muestras fueron analizadas para determinar si tenían algunas características de desechos peligrosos o tóxicos.



Foto 7. Muestras de agua del Río Nuevo en la Ciudad de Calexico.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 13/11/09



Foto 8. Colección de sedimentos del Río Nuevo en la Ciudad de Calexico.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 13/11/09



Foto 9. Muestra de lodo colectado en el Río Nuevo en la Ciudad de Calexico.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 13/11/09



Foto 10. Muestras colectadas en el Río Nuevo en la Ciudad de Calexico.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 13/11/09

Sitio de estudio No. 2

El día 21 de mayo de 2010 se realizaron tomas de muestras del Lago Salton Sea, específicamente del lugar llamado “Red Hill Marina”. Este sitio se encuentra en la parte sur del lago, entre la bocana del Río Nuevo y el Río Álamo. Este sitio de estudio se puede apreciar en la Figura 17.



Figura 17. Sitio de estudio No. 2, Red Hill Marina.

Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010.

En este sitio se identificaron tres puntos de muestreo de los cuales se tomaron tres muestras de sedimentos y una de suelo como lo muestran las Fotos 11, 12, 13 y 14. Los puntos geográficos de muestreo también fueron registrados con un GPS y se encuentran identificados en la Tabla 1, para su referencia.



Foto 11. Muestra de suelo colectado en Red Hill Marina.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 21/5/10



Foto 12. Muestra de sedimento colectado en Red Hill Marina.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 21/5/10

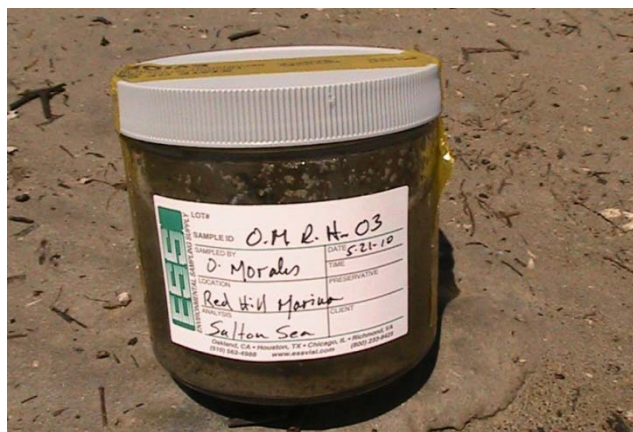


Foto 13. Muestra de sedimento colectado en Red Hill Marina.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 21/5/10



Foto 14. Muestra de sedimento colectado en Red Hill Marina.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 21/5/10

Las muestras tomadas se mantuvieron a una temperatura de 4 °C en el campo y durante su transporte al laboratorio para sus análisis. Las muestras fueron transportadas al Laboratorio Químico Ambiental de la Cal EPA/DTSC en la ciudad de Los Ángeles, California. Al igual que las muestras tomadas en el Río Nuevo, las muestras tomadas en este sitio, también fueron analizadas para determinar si tenían algunas características de desechos peligrosos o tóxicos.

Sitio de estudio No. 3

El tercer sitio de estudio en los EE.UU., fue en el río en la Ciudad de Westmorland en el Valle Imperial a la altura de Vail Road y Lack Road. Específicamente en el punto de medición de flujo del Río Nuevo del departamento para las Encuestas Geológica de EE.UU (USGS, por sus siglas en inglés). Los puntos de muestreo identificados en este sitio de estudio se pueden apreciar en la Figura 18. Este sitio se estableció debido a la proximidad a la bocana del río al Lago Salton Sea. Cabe mencionar que a esta altura el Río Nuevo fluye de este a oeste.



Figura 18. Sitio de estudio No. 3, (Westmorland/Lack Rd).
Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010.

Se tomaron muestras de sedimento en ambas orillas del río. Estos puntos de muestreo, al igual que todos los demás, se registraron con un GPS. Estos puntos se pueden apreciar en la Tabla 1. Las muestras fueron colectadas desde la estación para la medición de flujo de aforo del río de USGS. Esta estación se puede apreciar en las Fotos 15, 16, 17 y 18. Al igual que en los otros puntos las muestras tomadas en este sitio se analizaron por las características peligrosas que pudieran representar.

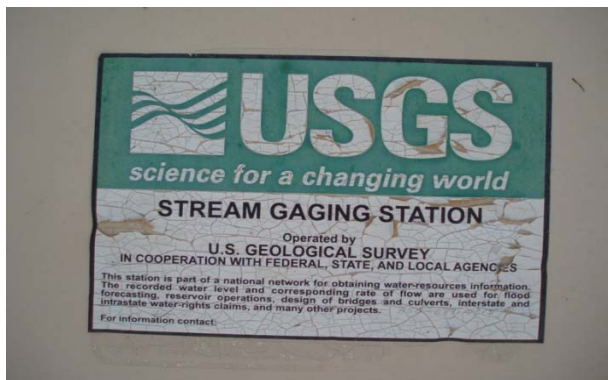


Foto 15. Estación de flujo de aforo de USGS.
Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10



Foto 16. Estación de flujo de aforo de USGS.
Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10



Foto 17. Muestras de agua tomadas desde la estación de USGS.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10



Foto 18. Muestra de suelo tomada cerca de la estación de USGS.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10

Debido a la dificultad del terreno para el acceso a la orilla sur del río en este sitio, las muestras del lado sur del río en este sitio se tomaron a aproximadamente 1.33 kilómetros al este del sitio de muestreo norte del río. Como se puede observar en la Figura 19.



Figura 19. Sitio de estudio No. 3 (Westmorland/Lack Rd).

Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010

En este punto, al igual que en el punto norte del río, se obtuvieron muestras de sedimento, suelo y agua para sus análisis (ver Fotos 19, 20, 21 y 22). Todas las muestras obtenidas se analizaron por su potencial como desecho peligroso.



Foto 19. Muestras de sedimento tomadas del punto sur del sitio No. 3.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10



Foto 20. Muestras de sedimento tomadas del punto sur del sitio No. 3.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10



Foto 21. Muestras de sedimento tomadas del punto sur del sitio No. 3.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10



Foto 22. Muestras de sedimento tomadas del punto sur del sitio No. 3.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10

Las muestras tomadas se mantuvieron en campo y durante la transportación de éstas al laboratorio en una hielera a una temperatura de 4 °C.

Sitio de estudio No. 4

Se realizó una campaña de muestreo en el sitio testigo denominado Canal Dogwood. El Canal Dogwood mostrado en las Fotos 23 y 24 es un canal no revestido que transporta agua dulce del Río Colorado a través del Canal Todo Americano en los EE.UU. En este canal se

tomaron muestras de agua, suelo y sedimentos. Las muestras tomadas que se pueden ver en las Fotos 25 y 26 se mantuvieron en el campo y durante la transportación al laboratorio en una hielera a una temperatura de 4 °C.



Foto 23. Canal Dogwood.
Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010



Foto 24. Canal Dogwood.
Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10



Foto 25. Muestras de sedimento tomadas del Canal Dogwood.
Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10



Foto 26. Muestras de agua tomadas del canal Dogwood.
Fuente: J. Osvaldo Morales, 28/8/10

Las muestras tomadas en el Canal Dogwood se obtuvieron siguiendo la misma norma utilizada en las muestras tomadas en el Río Nuevo. Las muestras tomadas fueron analizadas por sus características y potencial de desecho peligrosos por el Laboratorio Químico Ambiental de Cal EPA/DTSC en la Ciudad de Los Ángeles.

3.2.2 Sitios de estudios en la Ciudad de Mexicali, México

Al igual que en territorio americano se localizaron tres sitios de estudio en territorio mexicano. Estos sitios de estudio fueron los siguientes: Laguna Xochimilco, Dren Tula West y los Patios Aduanales inmediatos a la línea fronteriza con EE.UU.

Sitio de estudio No. 5

El primer sitio de estudio en territorio mexicano se ubicó en la Laguna Xochimilco. En la Laguna Xochimilco se obtuvieron un total de cuatro muestras; dos muestras de sedimentos y dos de suelo. Las muestras se obtuvieron de dos puntos de muestreo en la laguna: Xochimilco 1 y Xochimilco 2, cuya ubicación se puede ver en la Figura 20.

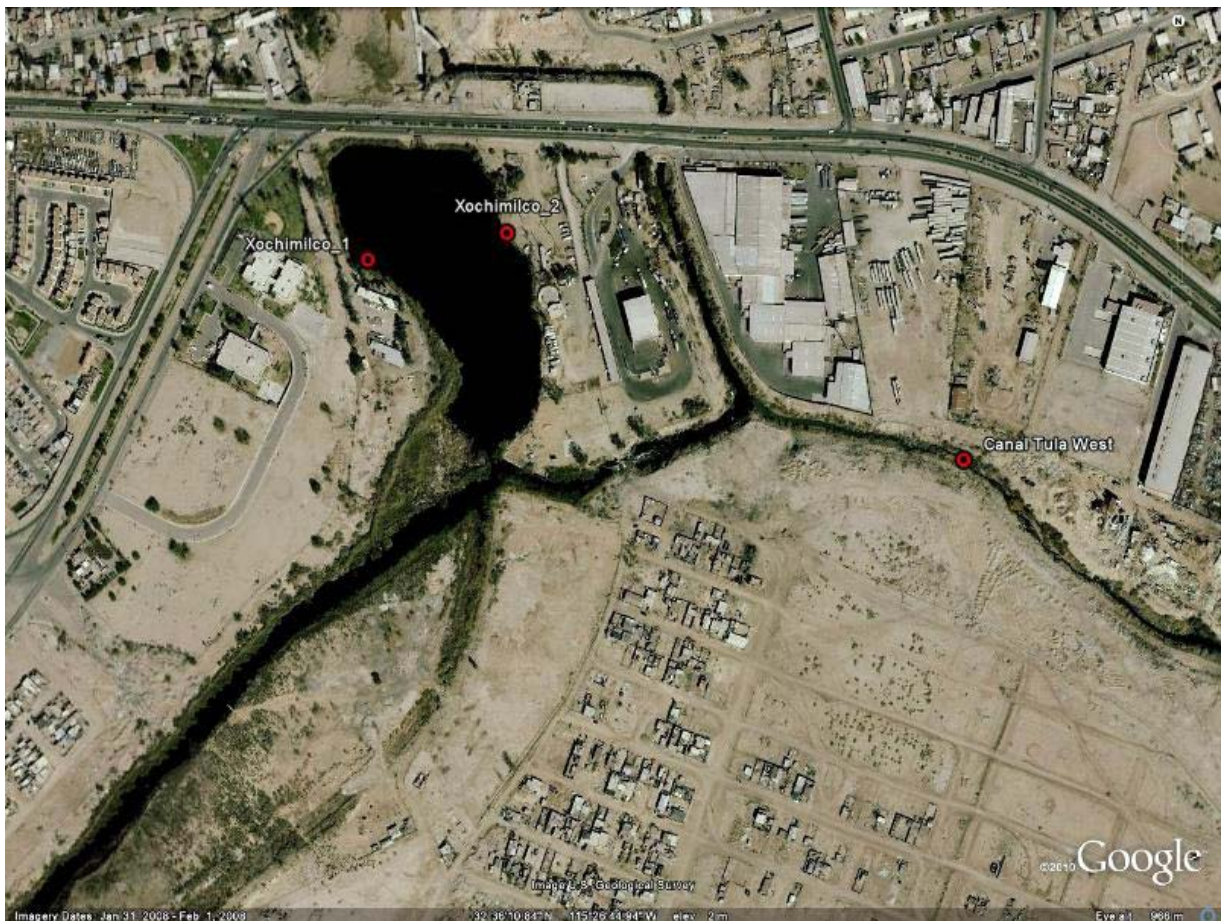


Figura 20. Sitio de estudio No. 4, Laguna Xochimilco.
Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010.

Del lado este de la laguna, la cual se puede apreciar en la Foto 27, se identificó un punto de muestreo del cual se obtuvo una muestra de sedimento y una de suelo (ver Fotos 28, 29 y 30).



Foto 27. Laguna Xochimilco.
Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10



Foto 28. Muestra de sedimento obtenida del este de la Laguna Xochimilco.
Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10



Foto 29. Muestra de suelo obtenida del este de la Laguna Xochimilco.
Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10



Foto 30. Muestra de sedimento y suelo obtenida del este de la Laguna Xochimilco.
Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10

El otro punto de muestreo en la laguna fue al lado oeste de ella. De este punto, también se obtuvieron dos muestras: una de sedimentos y otra de suelo (ver Fotos, 31 y 32, 33 y 34).

El procedimiento para la obtención de las muestras de la laguna fue el mismo utilizado en los otros sitios de estudio. Todas las muestras tomadas, al igual que en los otros sitios, se mantuvieron en el campo y transportación al laboratorio en una hielera a una temperatura de 4°C como está establecido por las normas y se analizaron por su potencial como desecho peligroso.



Foto 31. Muestra de sedimento obtenida al oeste de la Laguna Xochimilco.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10



Foto 32. Muestra de sedimento obtenida al oeste de la Laguna Xochimilco.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10

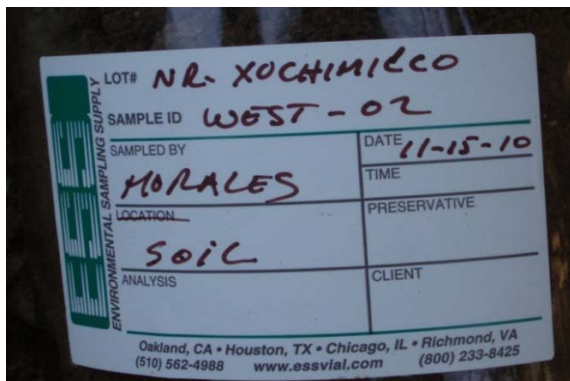


Foto 33. Muestra de suelo obtenida al oeste de la Laguna Xochimilco.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10



Foto 34. Muestra de suelo obtenida al oeste de la Laguna Xochimilco.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10

Sitio de estudio No. 6

El segundo sitio de estudio en Mexicali se identificó en el Dren Tula West. Como se puede observar en la Figura 21, este canal desemboca en el Río Nuevo. Históricamente, este canal conducía el agua residual e industrial tratada de las lagunas González Ortega, al igual que aguas no tratadas del área este de la ciudad (ver Figura 6). Con la apertura de la nueva planta de tratamiento de agua residual “Las Arenitas” se suponía que este canal se clausuraría, sin embargo durante un viaje de campo al sitio, el canal continuaba en uso como se puede observar en las Fotos 35 y 36. Por lo consiguiente se decidió identificar este canal como un sitio de estudio.

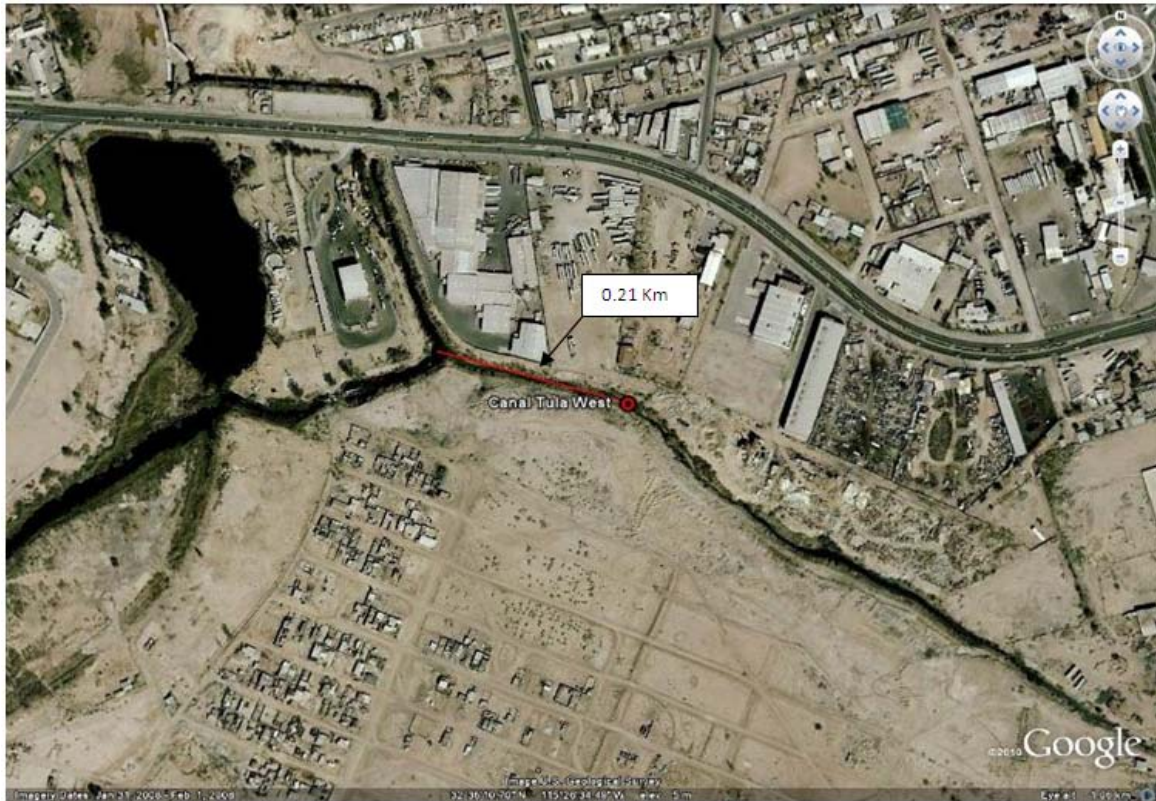


Figura 21. Dren Tula West.
Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010.

La distancia del sitio de estudio en el Dren Tula West a la desembocadura del canal al Río Nuevo es de aproximadamente 0.21 kilómetros, como se puede apreciar en la Figura 21. En este sitio se identificó un punto de muestreo del cual se obtuvo una muestra de sedimento, como se puede apreciar en las fotos 37 y 38.



Foto 35. Dren Tula West.
Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10



Foto 36. Dren Tula West.
Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10

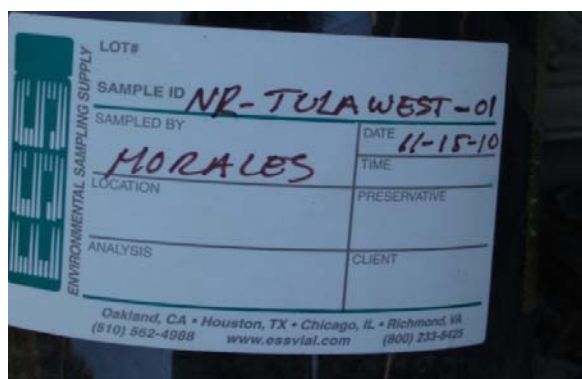


Foto 37. Muestra sedimento del Dren Tula West.
Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10



Foto 38. Muestra sedimento del Dren Tula West
Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10

La muestra tomada en el Dren Tula West, fue también analizada por su potencial como desecho peligroso. Al igual que las otras muestras tomadas en los otros puntos, la muestra se mantuvo en una hielera en campo y durante su transporte a una temperatura de 4 °C. La muestra fue transportada al Laboratorio Químico Ambiental de la Cal EPA/DTSC en la Ciudad de los Ángeles, California.

Sitio de estudio No. 7

El tercer sitio de estudio en la Ciudad de Mexicali se localizó en los patios aduanales. Los patios aduanales se encuentran a la altura de la línea limítrofe de México y EE.UU, entre la Ciudad de Mexicali y Calexico. Este sitio de estudio y los diferentes puntos de muestreo se pueden apreciar en la Figura 22.



Figura 22. Patios aduanales federales mexicanos, Mexicali, México.
Fuente: Adaptado de Google Earth, 2010.

Este punto se estableció debido a la facilidad al acceso al río ya que es el punto final del río en territorio mexicano y por lo consiguiente es aquí donde el río cruza a los EE.UU. Además, el Canal Internacional, que conduce aguas residuales tratadas de la planta de tratamiento Zaragoza, Mexicali, también descarga a esta altura y contribuye al cauce del Río Nuevo. En este sitio de estudio se identificaron dos puntos de muestreo de los cuales se tomaron dos muestras de sedimento y una de suelo del banco del río, como se puede observar en las Fotos 39, 40, 41 y 42.



Foto 39. Muestra de sedimento tomada en los Patios Aduanales.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10



Foto 40. Muestra de sedimento tomada en los Patios Aduanales.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10



Foto 41. Muestra de sedimento tomada en los Patios Aduanales.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10



Foto 42. Muestra de sedimento tomada en los Patios Aduanales.

Fuente: J. Osvaldo Morales, 15/11/10.

Al igual que todas las otras muestras tomadas en los diversos sitios de estudio, las muestras tomadas en este punto se mantuvieron en el campo y transportación al laboratorio en una hielera a una temperatura de 4 °C como está establecido por las normas.

3.3 Parámetros y métodos de análisis

Como antes se ha mencionado, debido a que el apoyo para este estudio fue proporcionado en su totalidad por la Cal EPA/DTSC, los parámetros usados para los análisis de las muestras

fueron las que estipula la Cal EPA/DTSC en la norma oficial de California. Sin embargo, la metodología para la colección de las muestras y los análisis son los mismos los que estipula la USEPA y éstas, a su vez, son las mismas establecidas en la NOM-052-SEMARNAT-2005. Los resultados obtenidos se compararon con los límites máximos permisibles en la NOM-052-SEMARNAT-2005, de México. Todas las muestras tomadas fueron enviadas al Laboratorio Químico Ambiental de Cal EPA/DTSC en la Ciudad de Los Ángeles, California, EE.UU.

La metodología que se utilizó para los análisis de las muestras obtenidas para este estudio fueron las que están establecidas por las normas federales de la USEPA y las normas estatales de la Cal-EPA/DTSC. Estos métodos están descritos en la publicación de la USEPA denominada “Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods,” SW-846, tercera edición, así como en las normas establecidas por la Cal-EPA/DTSC en el Código de Regulaciones de California título 22, sección 66261.20 y en la Norma Oficial Mexicana: NOM-052-SEMARNAT-2005.

3.3.1 Constituyentes inorgánicos

En la Tabla 2, se encuentran los límites máximos permisibles de metales pesados que en las normas estipuladas por la USEPA y México constituyen como un residuo inorgánico peligroso. En la Tabla 2 se puede identificar también el Servicio de Resumen Químico (CAS, por sus siglas en inglés). El CAS es una forma en la cual los gobiernos de EE.UU., México y Canadá, identifican al elemento o químico para el propósito de su transporte y en caso de emergencias.

Tabla 2. Constituyentes inorgánicos (metales)

Contaminante	No. CAS¹	LMP² (mg/L)
Arsénico	7440-38-2	5.0
Bario	7440-39-3	100.0
Cadmio	7440-43-9	1.0
Cromo	7440-47-3	5.0
Mercurio	7439-97-6	0.2
Plata	7440-22-4	5.0
Plomo	7439-92-1	5.0
Selenio	7782-49-2	1.0

¹No. CAS: Número del Chemical Abstracts Service (Servicio de Resúmenes Químicos)

²LMP: Límite Máximo Permisible

3.3.2 Constituyentes orgánicos semivolátiles

Los desechos que contienen compuestos semivolátiles son considerados peligrosos si muestras representativas del desecho están por arriba de los límites máximos permisibles establecidos en la norma NOM-052-SEMARNAT-2005 y en la sección 66261.24 del Capítulo 11 del Código de Regulaciones de California título 22. En este caso, los valores máximos permisibles son iguales para ambas normas y se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3 Constituyentes orgánicos semivolátiles

Contaminante	No. CAS¹	LMP² (mg/L)
Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2.4-D)	94-75-7	10
Ácido 2,4,5-Triclorofenoxipropionico (Silvex)	93-72-1	1
Clordano	57-74-9	0.03
o-Cresol	95-48-7	200
m-Cresol	108-39-4	200
p-Cresol	106-44-5	200
Cresol	1319-77-3	200
2,4-Dinitrotolueno	121-14-2	0.13
Endrín	72-20-8	0.02
Heptacloro (y su epóxido)	76-44-8	0.008
Hexacloroetano	67-72-1	3
Lindano	58-89-9	0.4
Metoxicloro	74-43-5	10
Nitrobenceno	98-95-3	2
Pentaclorofenol	87-86-5	100
Toxafeno	8001-35-2	0.5
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	400
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	2

¹No. CAS: Número del Chemical Abstracts Service (Servicio de Resúmenes Químicos)

²LMP: Límite Máximo Permisible

3.3.3 Constituyentes orgánicos volátiles

Además de los compuestos semivolátiles, algunos compuestos orgánicos volátiles también son considerados como peligrosos y por lo consiguiente, son regulados en la norma. Estos constituyentes volátiles son identificados en la Tabla 4.

Tabla 4. Constituyentes orgánicos volátiles

Contaminante	No. CAS¹	LMP² (mg/L)
Benceno	71-43-2	0.5
Cloro benceno	108-90-7	100
Cloroformo	67-66-3	6
Cloruro de vinilo	75-01-4	0.2
1,4-Diclorobenceno	106-46-7	7.5
1,2-Dicloroetano	107-06-2	0.5
1,1-Dicloroetileno	75-35-4	0.7
Hexaclorobenceno	118-74-1	0.13
Hexaclorobutadieno	87-68-3	0.5
Metil etil cetona	78-93-3	200
Piridina	110-86-1	5
Tetracloroetileno	127-18-4	0.7
Tetracloruro de carbono	56-23-5	0.5
Tricloroetileno	79-01-6	0.5

1 No. CAS: Número del Chemical Abstracts Service (Servicio de Resúmenes Químicos)

2 LMP: Límite Máximo Permisible

3.4 Normas de California para el manejo de los residuos peligrosos

Además de los constituyentes inorgánicos establecidos en la normas federales ya antes mencionadas y que son idénticas a las regidas en México, el estado de California es más riguroso en las normas establecidas para la caracterización y el manejo de los desechos y residuos peligrosos para la protección del medio ambiente y la salud pública. En el estado de California, la Cal-EPA/DTSC, tiene una lista adicional de sustancias que son regulados como residuos peligrosos. Estas sustancias se encuentran divididos en dos Tablas: orgánicos e inorgánicos. En virtud de que este estudio se realizó con apoyos otorgados por Cal-EPA/DTSC y que las normas de Cal-EPA son más estrictas que las normas federales, en algunos parámetros, se analizaron los constituyentes que se presentan en las Tablas 5 y 6. Estas Tablas contienen los constituyentes inorgánicos y orgánicos que están regulados por la USEPA y las normas establecidas en México, en adición a los constituyentes regulados por la Cal- EPA/DTSC.

Tabla 5. Sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables de constituyentes inorgánicos

Sustancia^{a,b}	STLC¹ mg/L	TTLC² Peso-Mojado mg/Kg
Antimonio y/o derivados de antimonio	15	500
Arsénico y/o derivados de arsénico	5.0	500
*Asbestos		1.0 (%)
Bario y/o derivados de bario	100	10,000 ^c
Berilio y/o derivados de berilio	0.75	75
Cadmio y/o derivados de cadmio	1.0	100
*Cromo (VI) derivados	5	500
Cromo, cromo (III) derivados	5 ^d	2,500
Cobalto y/o derivados de cobalto	80	8,000
Cobre y/o derivados de cobre	25	2,500
Sales de fluoruro	180	18,000
Plomo y/o derivados de plomo	5.0	1,000
Mercurio y/o derivados de mercurio	0.2	20
Molibdeno y/o derivados de molibdeno	350	3,500 ^e
Níquel y/o derivados de níquel	20	2,000
Selenio y/o derivados de selenio	1.0	100
Plata y/o derivados de plata	5	500
Talio y/o derivados de talio	7.0	700
Vanadio y/o derivados de vanadio	24	2,400
Zinc y/o derivados de zinc	250	5,000

¹STLC: Soluble Threshold Limit Concentration (Umbral Límite de Concentración Soluble)

²TTLC: Total Threshold Limit Concentration (Umbral Límite de Concentración Total)

*Análisis de asbestos y de cromo VI no se realizó en este estudio

^aValores de STLC y TTLC son calculados en la concentraciones de los elementos, no los compuestos

^bEn el caso de asbestos y metales elementales, los límites de concentración especificados, aplica solamente si la sustancia es friable, estado en polvo o finamente dividido. Asbestos incluye crisotilo, amosita, crocidolita, tremolita, antofilita y actinolita

^cSe excluye sulfato de Bario

^dSi el cromo soluble, es menos que 5 mg/l, el cromo soluble, como está determinado mediante el procedimiento establecido en la norma, es igual o excede 560 mg/l y el residuo no está identificado, de otro modo, federalmente como un residuo peligroso, entonces el desecho es un desecho peligroso en California.

^eSe excluye el disulfuro de molibdeno

Adicionalmente, Cal-EPA ha establecido que si el desecho o residuo se encuentra en la lista de sustancias orgánicas tóxicas persistentes y bioacumulables en los niveles ahí indicados, estos también serán regulados como sustancias peligrosas y tendrán que ser manejados de acuerdo a la normativa establecida. Nuevamente la determinación de estos residuos o desechos tendrán que ser evaluados bajo los métodos establecidos por la Cal-EPA/DTSC.

La lista de sustancias orgánicas completa, incluyendo las sustancias regulados por la USEPA, se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables

Sustancia	STLC¹ mg/L	TTLC² Peso-Mojado mg/kg
Aldrin	0.14	1.4
Clordano	0.25	2.5
DDT, DDE, DDD	0.1	1.0
2,4- Ácido diclorofenoxiacético	10	100
Dieldrin	0.8	8.0
Dioxinas (2,3,7,8-TCDD)	0.001	0.01
Endrina	0.02	0.2
Heptacloro	0.47	4.7
Kepone	2.1	21
Derivados de plomo, orgánico	-----	13
Lindano	0.4	4.0
Metoxicloro	10	100
Mirex	2.1	21
Pentaclorofenol	1.7	17
Bifenilos policlorinados (PCB's)	5.0	50
Toxafeno	0.5	5
Tricloroetileno	204	2,040
2,4,5-Ácido Triclorofenoxipropiónico	1.0	10

¹ STLC: Umbral límite en concentraciones solubles

² TTLC: Umbral límite de concentración total

La diferencia entre la lista establecida de las sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables de constituyentes inorgánicos (metales) por el gobierno federal de los EE.UU. y la establecida por el gobierno del estado de California es en el número de los contaminantes regulados y el ácido que se emplea para la digestión de los análisis. El gobierno federal indica en la metodología que para la extracción de los constituyentes se debe utilizar ácido acético ya que ésta se asimila a lo que podría ocurrir en una lixiviación en un basurero público. Sin embargo el estado de California en la normativa para la extracción de los constituyentes, indica el uso de

ácido cítrico, ya que éste es más agresivo en la extracción de los constituyentes orgánicos e inorgánicos.

3.5 Métodos para los análisis de laboratorio

Los análisis de las muestras se realizaron usando la metodología establecida por la norma de Cal-EPA/DTSC en el código de regulaciones de California, título 22, capítulo 11. A continuación se describen los métodos utilizados para la determinación de los sedimentos del Río Nuevo como desechos o residuos peligrosos.

3.5.1 Corrosividad:

El método utilizado para el análisis de corrosividad es el método 9040 especificado en “Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods,” SW-846, 3rd edition. El método 9040 es usado para medir el pH de los desechos acuosos y desechos que contienen multifase, donde por lo menos el 20% del volumen del desecho es acuoso. El pH se determina electrométricamente usando ya sea un electrodo de vidrio en combinación con un potencial de referencia o una combinación de electrodo. El aparato es calibrado usando soluciones estándar de pH.

3.5.2 Inflamabilidad:

La inflamabilidad de las muestras líquidas obtenidas se determinó usando el método 1010 de la USEPA, en copa cerrada de Pensky-Martens.

Además de la Corrosividad e Inflamabilidad de las muestras tomadas, también se analizaron las características de toxicidad de las muestras obtenidas. Los análisis para determinar la toxicidad de las muestras obtenidas fueron las siguientes: metales pesados, bifenilos policlorinados (PCB's), percloratos, compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles y bioensayo en peces.

3.5.3 Metales pesados:

Los metales pesados fueron analizados de acuerdo a lo establecido en el método EPA 6010B, el cual consiste en el análisis de las muestras mediante la espectrometría de emisión atómica de plasma, la cual tiene la capacidad de determinar los oligoelementos incluyendo metales en solución.

Mercurio:

El análisis de mercurio se llevó a cabo mediante la técnica de vapor frío como está estipulado por la USEPA y la norma oficial mexicana. El método para la detección de mercurio en líquidos es el método 7470, y el método para la detección de mercurio en residuos acuosos y sólidos es el método 7471A. Los métodos 7470 y 7471A son procedimientos de absorción atómica de vapor-frío aprobados para determinar la concentración de mercurio. El método 7470 se utiliza para la determinación de mercurio en los extractos de procedimiento de movilidad de residuos acuosos y aguas subterráneas. El método de 7470 también se puede utilizar para el análisis de residuos en lodos y de tipo sólido. Sin embargo, el método 7471 suele ser el método de elección para estos tipos de residuos. Todas las muestras deben ser sometidas a una disolución apropiada antes de su análisis. Debido a que las muestras de sedimentos obtenidas del Río Nuevo eran de tipo acuoso y sólido, los dos métodos se utilizaron para el análisis de mercurio. En resumen, los métodos 7470 y 7471A es una técnica de absorción atómica de vapor-frío que se basa en la absorción de radiación a 253.7 nm por el vapor de mercurio. El mercurio se reduce a su estado elemental y se aérea la solución en un sistema cerrado. El vapor de mercurio es entonces pasado a través de una celda colocada en la trayectoria de la luz de un espectrofotómetro de absorción atómica. La altura máxima de la absorbancia se mide en función de la concentración de mercurio.

3.5.4 Bifenilos policlorados (PCB's):

Este análisis se llevó a cabo mediante el método EPA 8082, el cual consiste en someter las muestras a una cromatografía de gases y detectores de electrones. Este método, además de utilizarse para determinar las concentraciones de PCB's ya sea individuales o totales, también se

utiliza para los análisis de mezclas de PCB's, o los llamados Aroclors. Este análisis se puede realizar en muestras sólidas y acuosas. Para los PCB's, el extracto se analiza mediante la inyección de una alícuota de 2 uL en un cromatógrafo de gases equipado con detector de electrones. Los datos cromatográficos son utilizados para determinar los aroclors.

3.5.5 Percloratos:

Este análisis se llevó a cabo mediante el método EPA 314, el cual consiste en la medición del perclorato en la muestra mediante la separación de éste. En términos generales el análisis consiste en la introducción de 1,0 ml de muestra en un cromatógrafo iónico. El perclorato se separa y se mide mediante un sistema compuesto por una bomba de cromatografía de ion, una válvula de inyección de la muestra, columna de análisis, un dispositivo supresor, y el detector de conductividad.

3.5.6 Compuestos orgánicos volátiles:

El método 8260, se utilizó para el análisis de los compuestos volátiles. Este método se usa para determinar estos compuestos en una gran variedad de matrices de desechos sólidos y también se utiliza para el análisis de una gran variedad de tipos de muestras como muestras de aire, aguas subterráneas y superficiales, lodos acuosos, licores cáusticos, licores ácidos, residuos de disolventes, residuos de petróleo, espumas, alquitrán, suelos y sedimentos entre otros. El método consiste en introducir el compuesto volátil dentro de un cromatógrafo de gases mediante el método de purga y trampa o por algún otro método aprobado por la norma. El analito es introducido a una columna capilar. La temperatura de la columna es programada para separar los analitos, los cuales son detectados con un espectrómetro de masas. Los analitos e luidos de la columna capilar se introducen en el espectrómetro de masas a través de un separador jet o una conexión directa. La identificación de los analitos se logra mediante la comparación de los espectros de masa de los analitos con los espectros de masa de los electrones estándar. La cuantificación se realiza mediante la comparación de la respuesta de una mayor (cuantificación) de iones en relación a un estándar interno usando una curva de calibración de cinco puntos.

3.5.7 Compuestos orgánicos semivolátiles:

El método de 8270C se utiliza para determinar la concentración de compuestos orgánicos semivolátiles en extractos preparados de muchos tipos de matrices de residuos sólidos, los suelos, muestras de aire y las muestras de agua. Las muestras son analizadas por cromatografía de gases/espectrometría de masas. La identificación de los compuestos semivolátiles se realiza a través de la comparación de sus espectros de masas con los espectros de impacto de electrones de un estándar de laboratorio.

3.5.8 Bioensayos en peces:

Este análisis se utiliza para demostrar el potencial toxicológico que tiene un desecho a la vida acuática. La prueba consiste en la introducción del residuo o desecho en un tanque de agua de ensayo con 10 peces. Estos peces deben de ser una de las tres especies aceptables por la norma. Los peces aceptables por la norma son: Carpita Cabezona (*pimephales promelas*), la Trucha Arco Iris (*Salmo gairdneri*), y Carpa Dorada (*Notemigonus crysoleucas*). En resumen, el desecho o residuo es considerado tóxico para la vida acuática si en 96-horas la Concentración Letal LC_{50} es menor de 500 mg/litro:

96-horas $LC_{50} < 500$ mg/l = toxicidad acuática aguda

(California Department of Fish and Game, Water Pollution Control Laboratory, 1988). El procedimiento completo de este análisis se puede obtener en la página de internet de Cal EPA/DTSC: http://www.dtsc.ca.gov/HazardousWaste/upload/HWMP_bioassay_report.pdf

Los resultados de análisis obtenidos se compararon con las normas establecidas en EE.UU. y México. Debido a que el Estado de California es más riguroso en las leyes para la protección del medio ambiente y la salud pública, los límites de ciertos constituyentes en California, son menores a los establecidos por la USEPA y por los establecidos en la NOM-052-SEMARNAT-2005 de México. Además, en el Estado de California hay ciertos constituyentes que no son considerados como peligrosos por la USEPA y/o por la NOM-052-SEMARNAT-2005 de México.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 Sitio de estudio No. 1 (Ciudad de Calxico)

En este sitio de estudio, se llevó a cabo una tarea de muestreo en siete puntos. Se tomaron un total de 15 muestras. Todas las muestras fueron analizadas por su potencial peligroso. Los parámetros que se analizaron fueron: corrosividad, reactividad, inflamabilidad y toxicidad. Ninguna de las muestras analizadas demostró tener características de desecho o residuos peligrosos.

4.1.1 Corrosividad

Para determinar la corrosividad de las muestras tomadas, se analizó el potencial de Hidrógeno (pH), cuyos resultados se presentan en la Tabla 7. La norma indica que un residuo es corrosivo si tiene un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.5. Ninguna de las muestras analizadas, sobrepasaron el límite máximo y/o mínimo de corrosividad establecido en las normas.

Tabla 7. Resultados de pH de muestras tomadas en Calxico.

Identificación de la muestra	Punto de muestreo	Resultado	Unidades	Media
NR.OM-01A	1	7.8	Unidades de pH	Agua
NR.OM-02	1	7.3	Unidades de pH	Agua
NR.OM-04	1	7.4	Unidades de pH	Agua
NR.OM-06	2	7.7	Unidades de pH	Agua
NR.OM-07	2	7.3	Unidades de pH	Agua
NR.OM-02	1	7.7	Unidades de pH	Lodo
NR.OM-06	2	7.7	Unidades de pH	Lodo
NR.OM-07	2	7.9	Unidades de pH	Lodo
NR.OM-09	3	7.9	Unidades de pH	Lodo
NR.OM-11	4	7.5	Unidades de pH	Lodo
NR.OM-03	1	7.8	Unidades de pH	Suelo
NR.OM-04	1	7.7	Unidades de pH	Suelo
NR.OM-08	2	7.8	Unidades de pH	Suelo
NR.OM-10	3	7.5	Unidades de pH	Suelo
NR.OM-12	4	7.8	Unidades de pH	Suelo
NR.OM-13	5	7.9	Unidades de pH	Suelo
NR.OM-14	6	7.5	Unidades de pH	Suelo
NR.OM-15	7	6.8	Unidades de pH	Suelo

4.1.2 Reactividad

De acuerdo a la normativa en el código de regulaciones de California sección 66261.23 y de la NOM-052-SEMARNAT-2005, sección 7.3 y 7.4, un residuo es considerado reactivo si cumple con las siguientes características:

- (1) Es normalmente inestable y fácilmente se somete a un cambio violento sin ninguna detonación.
- (2) Reacciona violentamente al contacto con el agua
- (3) Forma mezclas potencialmente explosivas con el agua

- (4) Genera vapores, humos o gases tóxicos al contacto con el agua en cantidades suficientes que puedan presentar un peligro para la salud humana o ambiental.
- (5) Posee en su constitución cianuros o sulfuros liberables, que cuando se exponen en condiciones ácidas de entre 2 y 12.5 genera gases tóxicos, vapores o humos en cantidades suficientes que puedan presentar un peligro para la salud humana o ambiental
- (6) Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva solo o en presencia de una fuente de energía o si es calentado bajo confinamiento.
- (7) Fácilmente es capaz de detonar o formar una descomposición o una reacción explosiva temperatura y presión estándar.
- (8) Está definido como un explosivo prohibido en 49 CFR. (sólo en EE.UU.)

Al momento de la toma de muestras se evaluó el parámetro de reactividad y ninguna de las muestras tomadas mostró característica de reactividad según lo establecido por las normas Mexicanas, de los EE.UU., o de California.

4.1.3 Inflamabilidad

A continuación en la Tabla 8 se encuentran los resultados de los análisis de inflamabilidad. Cabe mencionar que el análisis de inflamabilidad se hizo solamente en lodo que tenía suficiente agua para poder hacer el análisis.

Tabla 8. Resultados de inflamabilidad de muestras tomadas en Calxico.

Identificación de la muestra	Punto de muestreo	Resultado	Norma (USA)	Norma (Mx)	Matriz
NR.OM-02	1	> 60 C	< 60 C	< 60.5 C	Lodo/Agua
NR.OM-07	2	> 60 C	< 60 C	< 60.5 C	Lodo/Agua
NR.OM-09	3	> 60 C	< 60 C	< 60.5 C	Lodo/Agua
NR.OM-11	4	> 60 C	< 60 C	< 60.5 C	Lodo/Agua

Ninguna de las muestras analizadas demostró características de inflamabilidad, bajo las condiciones señaladas por las normas establecidas por México y/o EE.UU.

4.1.4 Toxicidad ambiental

Para determinar si el Río Nuevo presentaba características de toxicidad ambiental, se realizaron análisis de: metales pesados, compuestos volátiles y semivolátiles, PCB's y bioensayos en peces. Además en algunos puntos se realizaron análisis de perclorato.

Metales pesados

En las Tablas 9 y 10 se encuentran los resultados de los análisis de metales pesados en suelo y lodo en este sitio. El método utilizado para los análisis de metales fue el de EPA 6010B. Los metales realzados con el color azul, son los que son regulados por la USEPA y la normativa mexicana, NOM-052-SEMARNAT-2005, el resto de los metales están regulados en California por la Cal-EPA solamente.

Los resultados de los análisis de metales pesados en sedimentos del Río Nuevo en este sitio de estudio no sobrepasaron el umbral límite establecido por ninguna norma en México, EE.UU, o la Cal-EPA en el estado de California.

Tabla 9. Resultados de metales pesados totales de muestras tomadas en Calxico.

Sitio-Calxico	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 2	Punto # 3	Punto # 3	LMP*
Matriz	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo	Peso-Mojado
I.D. de muestra	NR.OM-02	NR.OM-03	NR.OM-04	NR.OM-08	NR.OM-09	NR.OM-10	Totales
Fecha de Colección	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	
Unidades	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
Antimonio (Sb)	ND	0.34 j	ND	ND	ND	ND	500
Arsénico (As)	0.75 j	2.9	1.2	1.4	2	1.9	500
Bario (Ba)	63	100	74	97	99	120	10,000 ₁
Berilio (Be)	ND	0.23 j	ND	ND	0.11	0.16 j	75
Cadmio (Cd)	0.2 j	0.31 j	0.22 j	0.36 j	0.41	0.4 j	100
Cromo (Cr)	5.3	6.8	5.8	8.7	12	11	2,500
Cobalto (Co)	2.3	3.1	2.4	2.6	3.3	3.1	8,000
Cobre (Cu)	10	13	15	23	29	23	2,500
Plomo (Pb)	9.9	14	9.2	19	15	13	1,000
Mercurio (Hg)	0.034 j	0.051j	0.047 j	0.12	0.19	0.11	20
Molibdeno (Mo)	0.21 j	0.046 j	0.32 j	0.55 j	1.3	0.71 j	3,500 ₂
Níquel (Ni)	4.3	6.9	6.1	7.8	10	8.6	2,000
Selenio (Se)	0.48 j	0.51 j	ND	0.47 j	0.78 j	0.74 j	100
Plata (Ag)	ND	ND	ND	0.42 j	0.21 j	ND	500
Talio (Tl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	700
Vanadio (V)	7.7	12	8.4	13	12	13	2,400
Zinc (Zn)	33	48	40	83	110	73	5,000

* LMP: Límite Máximo Permisible

1: Se excluye sulfato de bario

2: Se excluye sulfato de molibdeno

ND: No Detectado

j: Analito detectado por debajo de límites prácticos de cuantificación

**El color azul indica los metales pesados regulados por la USEPA y la NOM-052-SEMARNAT-2005

Tabla 10. Resultados de metales pesados totales de muestras tomadas en Calxico.

Sitio-Calxico	Punto # 4	Punto # 4	Punto # 5	Punto # 6	Punto # 7	LMP*
Matriz	Lodo	Lodo	Lodo seco	Lodo seco	Lodo seco	Peso-Mojado
Identificación de muestra	NR.OM-11	NR.OM-12	NR.OM-13	NR.OM-14	NR.OM-15	Totales
Fecha de Colección	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	
Unidades	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
Antimonio (Sb)	0.29	ND	0.35 j	ND	ND	500
Arsénico (As)	2.3	0.91 j	3.5	4.8	4	500
Bario (Ba)	100	80	120	190	130	10,000 ₁
Berilio (Be)	0.14 j	0.069 j	0.39 j	0.43 j	0.39 j	75
Cadmio (Cd)	0.38 j	0.24 j	1.4	0.90 j	0.53 j	100
Cromo (Cr)	10	6.3	11	18	8.8	2,500
Cobalto (Co)	3.2	2.3	4.6	5.8	4.2	8,000
Cobre (Cu)	19	11	26	38	14	2,500
Plomo (Pb)	14	10	34	31	13	1,000
Mercurio (Hg)	0.053 j	0.071 j	0.042 j	0.23	0.028 j	20
Molibdeno (Mo)	0.89 j	0.55 j	0.25 j	0.34 j	ND	3,500 ₂
Níquel (Ni)	6.8	5.3	13	17	11	2,000
Selenio (Se)	0.79 j	0.49 j	ND	0.81 j	0.55 j	100
Plata (Ag)	ND	ND	ND	ND	ND	500
Talio (Tl)	ND	ND	ND	ND	ND	700
Vanadio (V)	12	9.5	18	23	16	2,400
Zinc (Zn)	68	40	110	180	41	5,000

* LMP: Límite Máximo Permisible

1: Se excluye sulfato de bario

2: Se excluye sulfato de molibdeno

ND: No Detectado

j: Analito detectado por debajo de límites prácticos de cuantificación

**El color azul indica los metales pesados regulados por la USEPA y la NOM-052-SEMARNAT-2005

Compuestos volátiles

Se realizó el análisis de los compuestos volátiles, usando el método establecido por el USEPA y Cal-EPA. Como se puede observar en la Tabla 11, los resultados obtenidos de dicho análisis indican que las muestras tomadas en los puntos de muestreo 1, 2, 4, 5, 6 y 7 no se detectaron compuestos orgánicos volátiles, mientras que en las muestras tomadas en el punto 3 sí se detectaron algunos compuestos como: 1,2,4-trimetilbenceno; 1,3,5-trimetilbenceno; n-propilbenceno; 1,4-diclorobenceno, sin embargo estos valores de concentración que se presentan, se reportaron como valores que se encontraron por debajo de los límites prácticos de cuantificación. Y además estos compuestos no están regulados por la norma.

Tabla 11. Resultados de los compuestos volátiles de muestras tomadas en Calxico.

Fecha de colección	Identificación de muestra	Compuestos detectados	Concentración (ug/Kg)	Punto de muestreo	Matriz
13/11/09	NR.OM-02	ND	ND	1	Lodo
13/11/09	NR.OM-03	ND	ND	1	Suelo
13/11/09	NR.OM-04	ND	ND	1	Lodo
13/11/09	NR.OM-06	ND	ND	2	Lodo
13/11/09	NR.OM-07	ND	ND	2	Lodo
13/11/09	NR.OM-08	ND	ND	2	Suelo
13/11/09	NR.OM-09	1,2,4-Trimetilbenceno	1.6 j	3	Lodo/agua
		1,3,5-Trimetilbenceno	2.4 j	3	Lodo/agua
		1,4-Diclorobenceno	1.7 j	3	Lodo/agua
		n-Propilbenceno	1.0 j	3	Lodo/agua
13/11/09	NR.OM-10	ND	ND	3	Suelo
13/11/09	NR.OM-11	ND	ND	4	Lodo/agua
13/11/09	NR.OM-12	ND	ND	4	Suelo
13/11/09	NR.OM-13	ND	ND	5	Suelo
13/11/09	NR.OM-14	ND	ND	6	Suelo
13/11/09	NR.OM-15	ND	ND	7	Suelo

ND: No Detectado

j: Analito detectado por debajo de límites prácticos de cuantificación

De lo anterior se observa que las muestras tomadas del Río Nuevo en la Ciudad de Calxico no rebasan límites máximos permisibles para compuestos orgánicos volátiles establecidos en las normas.

Compuestos semivolátiles

Como se puede apreciar en la Tabla 12, Ninguno de los compuestos volátiles detectados sobrepasó los umbrales establecidos por las normas. Cabe mencionar que el compuesto Bis (2-etilhexil) ftalato en la mayoría de los casos estuvo por debajo de los límites prácticos de cuantificación y este compuesto a su vez no está regulado en las normas establecidas de desechos peligrosos.

Tabla 12. Resultados de compuestos semivolátiles de muestras tomadas en Calxico.

Fecha de colección	I.D. de muestra	Compuestos detectados	Punto de muestreo	Concentración (ug/Kg)	Matriz
13/11/09	NR.OM-02	Bis (2-etilhexil) ftalato*	1	490 j	Lodo
13/11/09	NR.OM-03	Bis (2-etilhexil) ftalato*	1	340 j	Suelo
13/11/09	NR.OM-04	Bis (2-etilhexil) ftalato*	1	680 j	Lodo
13/11/09	NR.OM-06	Bis (2-etilhexil) ftalato*	2	820 j	Lodo
13/11/09	NR.OM-07	Bis (2-etilhexil) ftalato*	2	960	Lodo
13/11/09	NR.OM-08	Bis (2-etilhexil) ftalato*	2	1400	Suelo
13/11/09	NR.OM-09	Bis (2-etilhexil) ftalato*	3	3200	Lodo
13/11/09	NR.OM-10	Bis (2-etilhexil) ftalato*	3	4200	Suelo
13/11/09	NR.OM-11	Bis (2-etilhexil) ftalato*	4	900	Lodo
13/11/09	NR.OM-12	Bis (2-etilhexil) ftalato*	4	880	Suelo
13/11/09	NR.OM-13	Bis (2-etilhexil) ftalato*	5	550 j	Suelo
13/11/09	NR.OM-14	Bis (2-etilhexil) ftalato*	6	1200	Suelo
13/11/09	NR.OM-15	Bis (2-etilhexil) ftalato*	7	260 j	Suelo

* Este compuesto no es regulado como desecho peligroso

j: Analito detectado por debajo de límites prácticos de cuantificación

Bifenilos policlorados (PCB's)

Los PCB's son compuestos que están regulados como desechos peligrosos. Se analizaron estos compuestos en la zona de estudio en Calexico. De acuerdo a la norma de California, el umbral del límite de concentración total de este compuesto no debe de rebasar 50 mg/kg. Como se puede observar en las Tablas 13 y 14, este compuesto solamente fue detectado en 3 muestras tomadas y estos estuvieron por debajo de la norma establecida.

Tabla 13. Resultados de PCB's de muestras tomadas en Calexico.

Sitio Calexico	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 2	Punto # 2	Punto # 2	Punto # 3
Matriz	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo
Identificación de la muestra	NR.OM-02	NR.OM-04	NR.OM-06	NR.OM-07	NR.OM-08	NR.OM-09
Fecha de colección	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09
Unidades	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg
LMP*	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg
Aroclor 1016	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1221	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1232	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1242	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1248	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1254	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1260	ND	ND	5.2 j	5.0 j	5.8 j	ND
Aroclor 1262	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1268	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND: No Detectado

* LMP: Límite Máximo Permissible

j Analito detectado por debajo de límites prácticos de cuantificación

Tabla 14. Resultados de PCB's de muestras tomadas en Calexico.

Sitio Calexico	Punto # 3	Punto # 4	Punto # 4	Punto # 5	Punto # 6	Punto # 7
Matriz	Lodo	Lodo	Lodo	Suelo	Suelo	Suelo
Identificación de la muestra	NR.OM-10	NR.OM-11	NR.OM-12	NR.OM-13	NR.OM-14	NR.OM-15
Fecha de colección	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09
Unidades	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg
LMP*	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg
Aroclor 1016	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1221	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1232	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1242	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1248	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1254	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1260	ND	ND	ND	ND	40	ND
Aroclor 1262	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1268	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND: No Detectado

* LMP: Límite Máximo Permisible

Perclorato

El análisis de este compuesto químico tóxico se realizó debido al interés que existe por la Cal-EPA en estudiar la persistencia de éste en las aguas de la región. Como se puede apreciar en las Tablas No. 15 y 16, ninguna de las muestras analizadas demostró el contenido de este compuesto químico. Cabe mencionar que en la actualidad no existe ninguna norma que regule este compuesto químico como desecho peligroso, sin embargo la USEPA y la Cal-EPA han publicado guías y determinaciones para el manejo de este químico en desechos o residuos.

Tabla 15. Resultados de análisis de perclorato de muestras tomadas en Calxico.

Sitio Calxico	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 2	Punto # 2	Punto # 2	Punto # 2
Matriz	Lodo	Agua	Lodo	Lodo	Agua	Lodo	Lodo	Lodo
Identificación de la muestra	NR.OM-02	NR.OM-01A	NR.OM-03	NR.OM-04	NR.OM-05A	NR.OM-06	NR.OM-07	NR.OM-08
Fecha de colección	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09
Unidades	ug/Kg	ug/L	ug/Kg	ug/Kg	ug/L	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg
Resultados	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND No Detectado

Tabla 16. Resultados de análisis de perclorato de muestras tomadas en Calxico.

Sitio Calxico	Punto # 3	Punto # 3	Punto # 4	Punto # 4	Punto # 5	Punto # 6	Punto # 7
Matriz	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo	Suelo	Suelo
Identificación de la muestra	NR.OM-09	NR.OM-10	NR.OM-11	NR.OM-12	NR.OM-13	NR.OM-14	NR.OM-15
Fecha de colección	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09	13/11/09
Unidades	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg
Resultados	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND No Detectado

Bioensayos en peces

Finalmente, para determinar la toxicidad de los sedimentos se hizo prueba de bioensayos en peces, análisis requerido por las normas de California para determinar si un residuo es peligroso. Los resultados de estos análisis se presentan en la siguiente Tabla 17.

Todos los bioensayos en peces realizados en muestras tomadas en el río en la ciudad de Calexico estuvieron por arriba del umbral límite establecidos en las normas de California, por lo consiguiente los sedimentos no demuestran tener características tóxicas.

Tabla 17. Resultados de bioensayos en peces de muestras tomadas en Calexico

I.D de la muestra	Analito	Límite	Resultado	Unidades	Matriz
NR.OM-01B	96 horas-LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Agua
NR.OM-02	96 horas-LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Sólido
NR.OM-03	96 horas-LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Sólido
NR.OM-07	96 horas-LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Sólido
NR.OM-09	96 horas-LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Sólido
NR.OM-11	96 horas-LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Sólido
NR.OM-13	96 horas-LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Sólido
NR.OM-14	96 horas-LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Sólido

4.2 Sitio de estudio No. 2 (Red Hill Marina, Salton Sea)

En este sitio de estudio, se llevó a cabo una tarea de muestreo en 3 puntos. Se tomaron un total de 4 muestras. Todas las muestras fueron analizadas por su potencial peligroso. Los parámetros que se analizaron fueron: corrosividad, reactividad, inflamabilidad y toxicidad.

4.2.1 Corrosividad

La norma indica que un residuo es corrosivo si tiene un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.5. Como se puede observar en la Tabla 18, ninguna de las muestras tomadas en este

sitio de estudio sobrepasaron el límite máximo y/o mínimo de corrosividad establecido en las normas.

Tabla 18. Resultados de pH de muestras tomadas en Red Hill Marina.

I.D de la muestra	Punto de muestreo	Resultado	Unidades	Media
OM.RH.01	1	4.41	Unidades de pH	Sólido
OM.RH.02	2	8.66	Unidades de pH	Sólido
OM.RH.03	3	7.52	Unidades de pH	Sólido
OM.RH.04	3	8.14	Unidades de pH	Sólido

4.2.2 Reactividad

Ninguna de las muestras tomadas en el sitio de estudio No. 2, mostró característica de reactividad según lo establecido por las normas oficiales mexicanas, de los EE.UU., o de California.

4.2.3 Inflamabilidad

No se realizaron análisis de inflamabilidad en este sitio de estudio debido a que el equipo estaba en reparación.

4.2.4 Toxicidad ambiental

Para determinar si el Río Nuevo presentaba características de toxicidad ambiental, se realizaron análisis de: metales pesados, compuestos volátiles y semivolátiles, PCB's y bioensayos en peces. Los análisis de perclorato no se realizaron en este sitio de estudio debido a que estos no fueron autorizados por la Cal EPA/DTSC debido a que no había más recursos disponibles en el momento que se tomaron las muestras.

Metales pesados

Los resultados de los análisis de metales pesados en sedimentos en este sitio de estudio no sobrepasaron el umbral límite establecido por ninguna norma en México, EE.UU, o la Cal-EPA en el estado de California, como se puede observar en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados de metales pesados totales de muestras tomadas en Red Hill Marina.

Sitio Red Hill Marina	Punto # 1	Punto # 2	Punto # 3	Punto # 3	LMP*
Matriz	Suelo	Lodos	Lodos	Lodos	Peso-Mojado
Identificación de la muestra	OM.RH-01	OM.RH-02	OM.RH-03	OM.RH-04	Totales
Fecha de Colección	21/05/10	21/05/10	21/05/10	21/05/10	
Unidades	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
Antimonio (Sb)	<10	<10	<0.40	<10	500
Arsénico (As)	<10	<10	<0.40	<10	500
Bario (Ba)	34	79	1.8	87	10,000 ₁
Berilio (Be)	<1.0	<1.0	<0.040	<1.0	75
Cadmio (Cd)	<1.0	<1.0	<0.040	<1.0	100
Cromo (Cr)	<10	<10	<0.40	<10	2,500
Cobalto (Co)	<10	<10	<0.40	<10	8,000
Cobre (Cu)	19	27	0.79	17	2,500
Plomo (Pb)	<10	<10	<0.40	<10	1,000
Mercurio (Hg)	**	<0.02	**	<0.02	20
Molibdeno (Mo)	<10	<10	<0.40	<10	3,500 ₂
Níquel (Ni)	22	16	0.48	12	2,000
Selenio (Se)	<1.0	<1.0	<0.40	<1.0	100
Plata (Ag)	<10	<10	<0.40	<10	500
Talio (Tl)	<10	<10	<0.40	<10	700
Vanadio (V)	<10	11	<0.40	<10	2,400
Zinc (Zn)	39	39	0.45	17	5,000

* LMP: Límite Máximo Permisible

** No se realizó análisis

1 Se excluye sulfato de bario

2 Se excluye sulfato de molibdeno

<: Analito detectado por debajo de límites prácticos de cuantificación

***El color azul indica los metales pesados regulados por la USEPA y la NOM-052-SEMARNAT-2005

Compuestos volátiles

Análisis de compuestos volátiles no fueron realizados en este sitio de estudio debido a que el equipo para hacer estos análisis estaba en reparación y para cuando el equipo estaba en funcionamiento, el tiempo de retención para hacer estos análisis ya había caducado.

Compuestos semivolátiles

Como se puede observar en la Tabla 20, ninguno de los compuestos semivolátiles regulados en las normas fue detectado en las muestras tomadas. El único compuesto detectado fue el Di-n-butil ftalato el cual no está regulado como desecho peligroso.

Tabla 20. Resultados de semivolátiles de muestras tomadas en Red Hill Marina.

Fecha de colección	Identificación de la muestra	Compuesto detectado	Punto de muestreo	Concentración (mg/Kg)	Matriz
21/05/10	OM.RH.01	Di-n-butil ftalato*	1	6.9	Suelo
21/05/10	OM.RH.02	Di-n-butil ftalato*	1	3	Lodo
21/05/10	OM.RH.02	Di-n-butil ftalato*	1	4.6	Lodo

* Este compuesto no es regulado como desecho peligroso

Bifenilos policlorados (PCB's)

Como se puede observar en la Tabla 21, este compuesto no fue detectado.

Tabla 21. Resultados de PCB's de muestras tomadas en Red Hill Marina.

Red Hill Marina	Punto # 1	Punto # 2	Punto # 3
Matriz	Suelo	Lodo	Lodo
Identificación de la muestra	OM.RH.01	OM.RH.02	OM.RH.04
Fecha de colección	21/05/10	21/05/10	21/05/10
LMP*	50mg/Kg	50mg/Kg	50mg/Kg
Aroclor 1016	ND	ND	ND
Aroclor 1221	ND	ND	ND
Aroclor 1232	ND	ND	ND
Aroclor 1242	ND	ND	ND
Aroclor 1248	ND	ND	ND
Aroclor 1254	ND	ND	ND
Aroclor 1260	ND	ND	ND

ND: No Detectado

* LMP: Límite Máximo Permisible

Bioensayos en peces

La Tabla 22 muestra los resultados de los análisis del bioensayo en peces realizado en una muestra tomada en esta zona de estudio. Los resultados de este análisis estuvieron por arriba del umbral límite establecidos en las normas, por lo consiguiente los sedimentos no pueden ser considerados como desechos tóxicos.

Tabla 22. Resultado de bioensayos en peces de muestras tomadas en Red Hill Marina.

Identificación de la muestra	Analito	Límite	Resultado	Unidades	Matriz
OM.RH.03	96 horas - LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Lodo

4.3 Sitio de estudio No. 3 (Ciudad de Westmorland, Lack Road)

Este sitio de estudio se ubicó en el Río Nuevo, cerca de su desembocadura al Lago Salton Sea. Todas las muestras tomadas en este sitio también fueron analizadas para determinar si mostraban alguna característica de desecho peligroso.

4.3.1 Corrosividad

La Tabla 23 indica los resultados de corrosividad en este sitio de estudio. Como se puede observar, ninguna de las muestras tomadas en esta zona de estudio sobrepasaron los umbrales límites establecidos de corrosividad.

Tabla 23. Resultados de pH de muestras tomadas en Lack Road.

Identificación de la muestra	Punto de muestreo	Resultado	Unidades	Media
OM-09-NR	2	8.27	pH	Agua
OM-13-NR	2	8.14	pH	Lodo
OM-14-NR	2	8.55	pH	Suelo
OM-15-NR	1	7.30	pH	Suelo
OM-16-NR	1	8.24	pH	Lodo

4.3.2 Reactividad

Ninguna de las muestras tomadas mostró característica de reactividad según lo establecido por las normas mexicanas, de los EE.UU. o de California.

4.3.3 Inflamabilidad

Ninguna muestra tomada en este sitio de estudio demostró tener características de inflamabilidad, como se puede apreciar en la Tabla 24.

Tabla 24. Resultados de inflamabilidad de muestras tomadas en Lack Road

I.D. de la muestra	Sitio	Resultado	Norma (USA)	Norma (Mx)	Matriz
OM-09-NR	Lack Road	> 60 C	< 60 C	< 60.5 C	Agua

4.3.4 Toxicidad ambiental

Para determinar si el Río Nuevo presentaba características de toxicidad ambiental en este sitio de estudio, se realizaron análisis de: metales pesados, compuestos volátiles y semivolátiles, PCBs y bioensayos en peces, al igual que perclorato.

Metales pesados

Ninguna muestra tomada en este sitio de estudio sobrepasó el umbral límite máximo establecido por las normas. Estos resultados se pueden apreciar en la Tabla 25.

Tabla 25. Resultados de metales pesados en muestras tomadas en Lack Road

Sitio Lack Rd	Punto # 2	Punto # 2	Punto # 1	Punto # 1	LMP*
Matriz	Lodo	Suelo	Suelo	Lodo	Peso-Mojado
Identificación de la muestra	OM-13-NR	OM-14-NR	OM-15-NR	OM-16-NR	Totales
Fecha de Colección	28/08/10	28/08/10	28/08/10	28/08/10	
Unidades	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
Antimonio (Sb)	<4.0	<8.0	<8.0	<5.0	500
Arsénico (As)	<4.0	<8.0	<8.0	<5.0	500
Bario (Ba)	120	160	160	88	10,000 ₁
Berilio (Be)	<4.0	<0.80	<0.80	<0.50	75
Cadmio (Cd)	<4.0	<0.80	<0.80	<0.50	100
Cromo (Cr)	<4.0	11	9.1	<5.0	2,500
Cobalto (Co)	<4.0	<8.0	<8.0	<5.0	8,000
Cobre (Cu)	<4.0	19	16	<5.0	2,500
Plomo (Pb)	<4.0	<8.0	<8.0	<5.0	1,000
Mercurio (Hg)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	20
Molibdeno (Mo)	<4.0	<8.0	<8.0	<5.0	3,500 ₂
Níquel (Ni)	7.1	25	24	8	2,000
Selenio (Se)	<4.0	<0.80	<0.80	<0.50	100
Plata (Ag)	<4.0	<8.0	<8.0	<5.0	500
Talio (Tl)	<4.0	<8.0	<8.0	<5.0	700
Vanadio (V)	14	27	24	9	2,400
Zinc (Zn)	13	51	37	15	5,000

* LMP: Límite Máximo Permisible

1 Se excluye sulfato de bario

2 Se excluye sulfato de molibdeno

<: Analito detectado por debajo de límites prácticos de cuantificación

**El color azul indica los metales pesados regulados por la USEPA y la NOM-052-SEMARNAT-2005

Compuestos volátiles

Los Compuestos volátiles no fueron detectados en las muestras tomadas en este sitio de estudio como se puede observar en la Tabla 26.

Tabla 26. Resultados de compuesto volátiles en muestras tomadas en Lack Road.

Fecha de colección	Identificación de la muestra	Compuestos detectados	Concentración	Punto de muestreo	Unidades	Matriz
28/08/10	OM-10-NR	ND	ND	2	ug/L	Agua
28/08/10	OM-13-NR	ND	ND	2	ug/Kg	Lodo
28/08/10	OM-14-NR	ND	ND	2	ug/Kg	Suelo
28/08/10	OM-15-R	ND	ND	1	ug/Kg	Suelo
28/08/10	OM-16-NR	ND	ND	1	ug/Kg	Lodo

ND: No detectado

Compuestos semivolátiles

En la Tabla 27 se encuentran los resultados de los análisis de compuestos semivolátiles. En ninguna muestra tomada en este sitio de estudio se detectaron compuestos semivolátiles regulados como desechos peligrosos.

Tabla 27. Resultados de compuesto semivolátiles en muestras tomadas en Lack Road.

Fecha de colección	Identificación de la muestra	Compuestos detectados	Concentración	Punto de muestreo	Unidades	Matriz
08/09/10	OM-06-NR	ND	ND	2	ug/L	Agua
28/08/10	OM-13-NR	Di-n-butil ftalato*	2.7	2	mg/kg	Lodo
28/08/10	OM-14-NR	ND	ND	2	mg/kg	Suelo
28/08/10	OM-15-NR	Di-n-butil Pftalato*	2.1	1	mg/kg	Suelo
28/08/10	OM-16-NR	Di-n-butil ftalato*	2.6	1	mg/kg	Lodo

* Este compuesto no es regulado como desecho peligroso

ND: No detectado

Bifenilos policlorados (PCB's)

Este compuesto no fue detectado en ninguna muestra tomada en este sitio de estudio como se puede observar en la Tabla 28.

Tabla 28. Resultados de PCB's en muestras tomadas en Lack Road.

Sitio Lack Road	Punto # 2	Punto # 2	Punto # 2	Punto # 1	Punto # 1
Matriz	Agua	Lodo	Suelo	Suelo	Lodo
Identificación de la muestra	OM-10-NR	OM-13-NR	OM-14-NR	OM-15-NR	OM-16-NR
Fecha de colección	28/08/10	28/08/10	28/08/10	28/08/10	28/08/10
LMP*	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg
Aroclor 1016	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1221	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1232	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1242	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1248	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1254	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1260	ND	ND	ND	ND	ND

ND: No detectado

* LMP: Límite Máximo Permissible

Perclorato

Este compuesto no fue detectado en los análisis realizados en muestras tomadas en este sitio de estudio como se puede apreciar en la Tabla 29.

Tabla 29. Resultados de perclorato en muestras tomadas en Lack Road.

Lack Road	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1
Matriz	Agua	Lodo	Suelo	Suelo	Lodo
Identificación de la muestra	OM-09-NR	OM-13-NR	OM-14-NR	OM-15-NR	OM-16-NR
Fecha de colección	28/08/10	28/08/10	28/08/10	28/08/10	28/0810
Unidades	ul/L	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg
Resultados	ND	ND	ND	ND	ND

ND: No detectado

Bioensayos en peces

El bioensayo en peces realizado en muestras tomadas en esta zona de estudio estuvieron por arriba del umbral límite establecidos en las normas de California, por lo consiguiente los sedimentos no pueden ser considerados como desechos tóxicos. Los resultados de estos análisis se encuentran en la Tabla 30.

Tabla 30. Resultados de bioensayos en peces de muestras tomadas en Lack Road.

Lack Rd	Analito	Límite	Resultado	Unidades	Matriz
OM-12-NR	96 horas - LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Agua
OM-13-NR	96 horas - LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Lodo

4.4 Sitio de estudio 4 (Canal Dogwood)

El Canal Dogwood es el sitio testigo que se determinó para este estudio. Este canal es un canal que transporta agua dulce del Río Colorado. El canal se encuentra en el Valle Imperial en EE.UU.

4.4.1 Corrosividad

Los análisis de pH realizados en muestra tomadas en este sitio de estudio están bajo los umbrales límites máximos permisibles como se puede apreciar en la Tabla 31.

Tabla 31. Resultados de pH en muestras tomadas en el Canal Dogwood.

Identificación de la muestra	Punto de muestreo	Resultado	Unidades	Media
OM-01-NR	1	8.46	Unidades de pH	Agua
OM-05-NR	1	7.94	Unidades de pH	Lodo
OM-06-NR	1	8.55	Unidades de pH	Suelo
OM-07-NR	1	8.15	Unidades de pH	Suelo
OM-08-NR	1	7.84	Unidades de pH	Lodo

4.4.2 Reactividad

Ninguna de las muestras tomadas mostró característica de reactividad según lo establecido por las normas mexicanas, de los EE.UU. o de California.

4.4.3 Inflamabilidad

La muestra analizada por esta característica demostró estar bajo el umbral límite máximo permisible, como lo demuestra la Tabla 32.

Tabla 32. Resultados de inflamabilidad de muestras tomadas en el Canal Dogwood.

Identificación de la muestra	Sitio	Resultado	Norma (USA)	Norma (Mx)	Matriz
OM-01	Canal Dogwood	> 60 C	< 60 C	< 60.5 C	Agua

4.4.4 Toxicidad ambiental

Para determinar si el Río Nuevo presentaba características de toxicidad ambiental, se realizaron análisis de: metales pesados, compuestos volátiles y semivolátiles, PCB's, y bioensayos en peces. Además, en algunos puntos se realizaron análisis de perclorato. Debido a que el Canal Dogwood es el sitio testigo de este estudio, los parámetros de los análisis que se realizaron fueron los mismos realizados en el Río Nuevo.

Metales pesados

Los análisis de metales pesados en este sitio de estudio, como era de esperarse, estuvieron por debajo del umbral de metales pesados. Los resultados de estos análisis se pueden apreciar en la Tabla 33.

Tabla 33. Resultados de análisis de metales pesados de muestras tomadas en el Canal Dogwood.

Sitio- Canal Dogwood	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 2	LMP*
Matriz	Lodo	Suelo	Suelo	Lodo	Peso-Mojado
Identificación de la muestra	OM-05	OM-06	OM-07	OM-08	Totales
Fecha de colección	28/11/10	28/11/10	28/11/10	28/11/10	
Unidades	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
Antimonio (Sb)	<5.0	<10	<10	<5.0	500
Arsénico (As)	<5.0	<10	<10	<5.0	500
Bario (Ba)	80	180	170	66	10,000 ₁
Berilio (Be)	<0.50	<1.0	<1.0	<0.50	75
Cadmio (Cd)	<0.50	<1.0	<1.0	<0.50	100
Cromo (Cr)	<5.0	14	10	<5.0	2,500
Cobalto (Co)	<5.0	<10	<10	<5.0	8,000
Cobre (Cu)	5.9	18	13	<5.0	2,500
Plomo (Pb)	<5.0	14	<10	<5.0	1,000
Mercurio (Hg)	**	<0.05	**	<0.05	20
Molibdeno (Mo)	<5.0	<10	<10	<5.0	3,500 ₂
Níquel (Ni)	10	26	23	9	2,000
Selenio (Se)	<0.50	<1.0	<1.0	<0.50	100
Plata (Ag)	<5.0	<10	<10	<5.0	500
Talio (Tl)	<5.0	<10	<10	<5.0	700
Vanadio (V)	11	33	25	9.4	2,400
Zinc (Zn)	17	62	37	14	5,000

* LMP: Límite Máximo Permissible

** No se realizó análisis

1 Se excluye sulfato de bario

2 Se excluye sulfato de molibdeno

<: Analito detectado por debajo de límites prácticos de cuantificación

***El color azul indica los metales pesados regulados por la USEPA y la NOM-052-SEMARNAT-2005

Compuestos volátiles

El benceno fue detectado en este sitio de estudio. Sin embargo, aunque el benceno está regulado por las normas para el control de desechos peligrosos, este se detectó por debajo de lo establecido en ellas. El umbral para benceno es de 0.5 mg/l. En nuestros análisis éste se encontró a 3.1 ug/L, como se puede apreciar en la Tabla 34. Además, el valor encontrado en nuestros análisis se encontró por debajo de los límites prácticos de cuantificación. El tolueno no está regulado como desecho peligroso.

Tabla 34. Resultados de compuestos volátiles de muestras tomadas en el Canal Dogwood.

Fecha de colección	Identificación de la muestra	Compuestos detectados	Concentración	Punto de muestreo	Unidades	Matriz
28/08/10	OM-02	ND	ND	1	ug/L	Agua
28/08/10	OM-05	Benceno	3.1 j	1	ug/Kg	Lodo
		Tolueno	4.2 j		ug/Kg	Lodo
28/08/10	OM-06	ND	ND	1	ug/Kg	Suelo
28/08/10	OM-07	ND	ND	1	ug/Kg	Suelo
28/08/10	OM-08	ND	ND	1	ug/Kg	Lodo

j: Analito detectado por debajo de límites prácticos de cuantificación

ND: No detectado

Compuestos semivolátiles

Como se puede observar en la Tabla 35, no se detectaron compuestos semivolátiles en el sitio testigo.

Tabla 35. Resultados de compuestos semivolátiles de muestras tomadas en el Canal Dogwood.

Fecha de colección	Identificación de la muestra	Compuestos detectados	Concentración	Punto de muestreo	Unidades	Matriz
28/08/10	OM-02	ND	ND	1	ug/L	Agua
28/08/10	OM-05	ND	ND	1	mg/Kg	Lodo
28/08/10	OM-06	ND	ND	1	mg/Kg	Suelo
28/08/10	OM-07	ND	ND	1	mg/Kg	suelo
28/08/10	OM-08	ND	ND	1	mg/Kg	Lodo

ND: No detectado

Bifenilos policlorados (PCB's)

Este compuesto tampoco fue detectado en muestras tomadas en este sitio de estudio como se puede apreciar en la Tabla 36.

Tabla 36. Resultados de PCB's de muestras tomadas en el Canal Dogwood.

Canal Dogwood	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1
Matriz	Agua	Lodo	Suelo	Suelo	Lodo
Identificación de la muestra	OM-01	OM-05	OM-06	OM-07	OM-08
Fecha de colección	28/08/10	28/08/10	28/08/10	28/08/10	28/08/10
LMP*	50 mg/L	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg
Aroclor 1016	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1221	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1232	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1242	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1248	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1254	ND	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1260	ND	ND	ND	ND	ND

ND: No detectado

* LMP: Límite Máximo Permissible

Perclorato

Como se puede apreciar en la Tabla 37, este compuesto no fue detectado en las muestras tomadas en este sitio de estudio.

Tabla 37. Resultados de perclorato de muestras tomadas en el Canal Dogwood.

Canal Dogwood	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1
Matriz	Agua	Lodo	Suelo	Suelo	Lodo
Identificación de la muestra	OM-01	OM-05	OM-06	OM-07	OM-08
Fecha de colección	28/08/10	28/08/10	28/08/10	28/08/10	28/08/10
Unidades	ul/L	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg	ug/Kg
Resultados	ND	ND	ND	ND	ND

ND: No detectado

Bioensayos en peces

Los resultados de estos análisis, se muestran en la Tabla 38. Los análisis de bioensayos en peces estuvieron por arriba del umbral establecido, lo cual era de esperarse ya que este es un canal de agua blanca.

Tabla 38. Resultados de bioensayos de muestras tomadas en el Canal Dogwood.

Canal Dogwood	Analito	Límite	Resultado	Unidades	Matriz
OM-04	96 horas - LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Agua
OM-05	96 horas - LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Lodo

4.5. Sitio de estudio No. 5 (Laguna Xochimilco)

La Laguna Xochimilco fue el primer sitio de estudio en territorio mexicano. Esta laguna se encuentra dentro de la zona urbana de la Ciudad de Mexicali.

4.5.1 Corrosividad

Los análisis de pH se muestran a continuación en la Tabla 39. Los análisis de corrosividad estuvieron por debajo de los umbrales máximos y mínimos establecidos en las normas.

Tabla 39. Resultados de pH de muestras tomadas en Laguna Xochimilco

Identificación de la muestra	Punto de muestreo	Resultado	Unidades	Media
NR-Xochimilco-01	1	8.28	Unidades de pH	Lodo
NR-Xochimilco-02	1	8.31	Unidades de pH	Suelo
NR-XochimilcoWest-01	1	8.08	Unidades de pH	Lodos
NR-XochimilcoWest-01	1	7.77	Unidades de pH	Agua
NR-XochimilcoWest-02	1	7.55	Unidades de pH	Suelo

4.5.2 Reactividad

Ninguna de las muestras tomadas mostró característica de reactividad según lo establecido por las normas mexicanas, de los EE.UU. o de California.

4.5.3 Inflamabilidad

Ninguno de los análisis realizados en las muestras tomadas en este sitio de estudio demostró ser inflamables como se puede apreciar en la Tabla 40.

Tabla 40. Resultados de análisis de inflamabilidad de muestras tomadas en Laguna Xochimilco

Identificación de la muestra	Resultado	Norma (USA)	Norma (Mx)	Matriz
NR-Xochimilco-01	> 60 C	< 60 C	< 60.5 C	Lodos
NR-XochimilcoWest-01	> 60 C	< 60 C	< 60.5 C	Lodos

4.5.4 Toxicidad ambiental

Para determinar si el Río Nuevo presentaba características de toxicidad ambiental, se realizaron análisis de: metales pesados, compuestos volátiles y semivolátiles, PCB's y bioensayos en peces. Además en algunos puntos se realizaron análisis de perclorato.

Metales pesados

Como se puede apreciar en la Tabla 41, ninguna muestra analizada sobrepaso los umbrales límites de los metales pesados regulados por las normas.

Tabla 41. Resultados de análisis de metales pesados de muestras tomadas en la Laguna Xochimilco.

Laguna Xochimilco	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1	LMP*
Matriz	Lodo	Suelo	Lodo	Suelo	Peso-Mojado
Identificación de la muestra	NR-Xochimilco-01	NR-Xochimilco-02	NR-XochimilcoWest-01	NR-XochimilcoWest-02	Totales
Fecha de colección	15/11/10	15/11/10	15/11/10	15/11/10	
Unidades	mg/Kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Antimonio (Sb)	<10	<10	<10	<10	500
Arsénico (As)	<10	<10	<10	<10	500
Bario (Ba)	97	120	71	160	10,000 ₁
Berilio (Be)	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	75
Cadmio (Cd)	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	100
Cromo (Cr)	<10	12	<10	12	2,500
Cobalto (Co)	<10	<10	<10	<10	8,000
Cobre (Cu)	14	16	<10	17	2,500
Plomo (Pb)	<10	46	<10	37	1,000
Mercurio (Hg)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	20
Molibdeno (Mo)	<10	<10	<10	<10	3,500 ₂
Níquel (Ni)	14	15	11	22	2,000
Selenio (Se)	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	100
Plata (Ag)	<10	<10	<10	<10	500
Talio (Tl)	<10	<10	<10	<10	700
Vanadio (V)	19	28	<10	30	2,400
Zinc (Zn)	34	59	17	52	5,000

* LMP: Límite Máximo Permisible

1 Se excluye sulfato de bario

2 Se excluye sulfato de molibdeno

<: Analito detectado por debajo de límites prácticos de cuantificación

**El color azul indica los metales pesados regulados por la USEPA y la NOM-052-SEMARNAT-2005

Compuestos volátiles

Como se puede observar en la Tabla 42, no se detectaron estos compuestos en las muestras tomadas en este sitio de estudio.

Tabla 42. Resultados de compuestos volátiles en muestras tomadas en Laguna Xochimilco.

Fecha	Identificación de la muestra	Compuestos detectados	Punto de muestreo	Concentración (ug/Kg)	Matriz
15/11/10	NR-Xochimilco-01	ND	1	ND	Lodo
15/11/10	NR-Xochimilco-02	ND	1	ND	Suelo
15/11/10	NR-XochimicloWest-01	ND	1	ND	Lodo
15/11/10	NR-XochimicloWest-02	ND	1	ND	Suelo

ND: No detectado

Compuestos semivolátiles

Los resultados de los análisis de compuestos semivolátiles se encuentran en la Tabla 43. Ninguno de los compuestos detectados en las muestras tomadas en este sitio de estudio es regulado como desecho peligroso.

Tabla 43. Resultados de compuestos semivolátiles de muestras tomadas en la Laguna Xochimilco.

Fecha de colección	Identificación de la muestra	Compuestos detectados	Punto de muestreo	Concentración (mg/Kg)	Matriz
15/11/10	NR-Xochimilco-01	ND	1	ND	Lodo
15/11/10	NR-Xochimilco-02	Di-n-butyl ftalato*	1	2.3	Suelo
		Pireno		2.2	Suelo
15/11/10	NR-XochimicloWest-01	ND	1	ND	Lodo
15/11/10	NR-XochimicloWest-02	Di-n-butyl ftalato*	1	2.6	Suelo

ND: No detectado

* Este compuesto no está regulado como residuo peligroso

Bifenilos policlorados (PCB's)

Estos compuestos no fueron detectados en los análisis de las muestras tomadas en este sitio de estudio. Los resultados de estos análisis se encuentran en la siguiente Tabla 44 que se muestra a continuación:

Tabla 44. Resultados de PCB's en muestras tomadas de la Laguna Xochimilco.

Laguna Xochimilco	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1	Punto # 1
Matriz	Lodo	Suelo	Lodo	Suelo
Identificación de la muestra	NR-Xochimilco-01	NR-Xochimilco-02	NR-XochimilcoWest-01	NR-XochimilcoWest-02
Fecha de colección	15/11/10	15/11/10	15/11/10	15/11/10
LMP*	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg
Aroclor 1016	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1221	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1232	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1242	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1248	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1254	ND	ND	ND	ND
Aroclor 1260	ND	ND	ND	ND

ND: No Detectado

* LMP: Límite Máximo Permisible

Perclorato

Como se puede observar en la Tabla 45, estos compuestos no fueron detectados en los análisis de las muestras tomadas en este sitio de estudio.

Tabla 45. Resultado de perclorato en muestras tomadas en la Laguna Xochimilco

Laguna Xochimilco	Punto # 1	Punto # 2
Matriz	Lodo	Lodo
Identificación de la muestra	NR-Xochimilco-01	NR-XochimilcoWest-01
Fecha de colección	15/11/10	15/11/10
Unidades	ug/L	ug/L
Resultados	ND	ND

ND: No detectado

Bioensayos en peces

Los análisis de bioensayos en peces estuvieron por arriba del umbral establecido por la norma, como se puede apreciar en la Tabla 46.

Tabla 46. Resultados de bioensayo en peces de muestra tomada en la Laguna Xochimilco.

Identificación de la muestra	Analito	Límite	Resultado	Unidades	Matriz
NR-Xochimilco-01	96 horas - LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Lodo

4.6 Sitio de estudio No. 6 (Dren Tula West)

En este sitio de estudio solamente se tomó una muestra de sedimentos.

4.6.1 Corrosividad

El análisis de pH de la muestra tomada en este sitio demostró estar bajo el umbral límite establecido en las normas. El resultado de éste análisis se muestra en la Tabla 47.

Tabla 47. Resultado de pH de muestra tomada en DrenTula West.

Identificación de la muestra	Resultado	Unidades	Media
NR-Tula-West-01	7.98	Unidades de pH	Lodo

4.6.2 Reactividad

La muestra tomada no mostró característica de reactividad según lo establecido por las normas mexicanas, de los EE.UU. o de California, en materia de residuos peligrosos.

4.6.3 Inflamabilidad

Debido a que la muestra colectada estaba muy seca, el análisis de inflamabilidad no se realizó.

4.6.4 Toxicidad ambiental

Para determinar si este sitio presentaba características de toxicidad ambiental, se realizaron análisis de: metales pesados, compuestos volátiles y semivolátiles, PCB's, y bioensayos en peces. Además se realizó el análisis de perclorato.

Metales pesados

Como se puede observar en la Tabla 48, los análisis de la muestra tomada en este punto de estudio se encontraron por debajo de los umbrales máximos establecidos.

Tabla 48. Resultado de metales pesados en muestra tomada en el Dren Tula West.

Canal Tula West	Punto # 1	LMP*
Matriz	Suelo	Peso-Mojado
Identificación de la muestra	NR-TulaWest-01	Totales
Fecha de Colección	15/11/10	
Unidades	mg/Kg	mg/Kg
Antimonio (Sb)		500
Arsénico (As)	<10	500
Bario (Ba)	123	10,000 ₁
Berilio (Be)	<1.0	75
Cadmio (Cd)	<1.0	100
Cromo (Cr)	27	2,500
Cobalto (Co)	<10	8,000
Cobre (Cu)	93	2,500
Plomo (Pb)	37	1,000
Mercurio (Hg)	0.36	20
Molibdeno (Mo)	<10	3,500 ₂
Níquel (Ni)	26	2,000
Selenio (Se)	<1.0	100
Plata (Ag)	<10	500
Talio (Tl)	<10	700
Vanadio (V)	15	2,400
Zinc (Zn)	210	5,000

* LMP: Límite Máximo Permisible

1 Se excluye sulfato de bario

2 Se excluye sulfato de molibdeno

<: Analito detectado por debajo de límites prácticos de cuantificación

**El color azul indica los metales pesados regulados por la USEPA y la NOM-052-SEMARNAT-2005

Compuestos volátiles

Como se puede observar en la Tabla 49, de los dos compuestos volátiles detectados, solamente el 1,4-diclorobenceno está regulado, sin embargo la concentración detectada está por debajo del límite máximo permisible para este compuesto; que es de 7.5 mg/L. Además la concentración detectada de 14 ug/Kg estuvo por debajo del límite práctico de cuantificación.

Tabla 49. Resultado de compuestos volátiles en muestra tomada en Dren Tula West.

Fecha de colección	Identificación de la muestra	Compuestos detectados	Punto de muestreo	Concentración (ug/Kg)	Matriz
15/11/10	NR-Tula-West-01	1,4-Diclorobenceno	1	14*	Sedimento
15/11/10	NR-Tula-West-01	p-Tolueno isopropílico	1	11*	Sedimento

* Estimación

Compuestos semivolátiles

La Tabla 50 muestra los resultados de los análisis de compuestos semivolátiles. El compuesto detectado no está regulado en materia de desecho peligroso en las normas.

Tabla 50. Resultado de compuestos semivolátiles en muestra tomada en el Dren Tula West.

Fecha de colección	Identificación de la muestra	Compuestos detectados	Punto de muestreo	Concentración (mg/Kg)	Matriz
15/11/10	NR-Tula-West-01	Di-n-butyl ftalato	1	2.4	Suelo

Bifenilos policlorados (PCB's)

No se detectaron estos compuestos en los análisis realizados en la muestra tomada en este sitio. Los resultados de estos análisis se encuentran en la Tabla 51.

Tabla 51. Resultados de PCB's en muestra tomada en el DrenTula West.

Sitio	DrenTula West
Matriz	Lodo
Identificación de la muestra	NR-Tula-West-01
Fecha de colección	15/11/10
LMP*	50 mg/Kg
Aroclor 1016	ND
Aroclor 1221	ND
Aroclor 1232	ND
Aroclor 1242	ND
Aroclor 1248	ND
Aroclor 1254	ND
Aroclor 1260	ND

ND: No detectado

* LMP: Límite Máximo Permisible

Perclorato

No se detectaron estos compuestos en los análisis realizados en la muestra tomada en este sitio. El resultado de este análisis se muestra en la Tabla 52.

Tabla 52. Resultado de perclorato en muestra tomada en el Dren Tula West.

Sitio	DrenTula West
Matriz	Suelo
Identificación de la muestra	NR-Tula-West-01
Fecha de colección	15/11/10
Unidades	ug/L
Resultados	ND

ND: No detectado

Bioensayos en peces

Los análisis de bioensayos en peces estuvieron por arriba del umbral establecido por la norma como se muestra en la Tabla 53.

Tabla 53. Resultado de bioensayo en peces de muestra tomada en el Dren Tula West.

Identificación de la muestra	Analito	Límite	Resultado	Unidades	Matriz
NR-Tula-West-01	96 horas - LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Suelo

4.7 Sitio de estudio No. 7 (Patios Aduanales)

Los Patios de Aduanales se encuentran adyacentes a la línea fronteriza entre México y EE.UU. Al igual que en los otros sitios de estudio, las muestras tomadas en este sitio fueron analizadas por las características que definen a un residuo como peligroso.

4.7.1 Corrosividad

Los Análisis de pH de las muestras tomadas en este sitio de estudio se muestran en la Tabla 54. Los análisis de pH estuvieron por debajo del umbral límite máximo establecido en las normas.

Tabla 54. Resultados de pH de muestras tomadas en los Patios Aduanales.

Identificación de la muestra	Punto de muestreo	Resultado	Unidades	Media
NR-Aduana-01	1	7.25	Unidades de pH	Lodo
NR-Aduana-01	1	6.82	Unidades de pH	Agua
NR-Border-01	2	7.95	Unidades de pH	Lodos
NR-Border-01	2	6.82	Unidades de pH	Agua
NR-Border-02	2	7.41	Unidades de pH	Suelo

4.7.2 Reactividad

Ninguna de las muestras tomadas mostró característica de reactividad según lo establecido por las normas Mexicanas, de los EE.UU. o de California.

4.7.3 Inflamabilidad

Ninguna de las muestras tomadas mostró característica de inflamabilidad. Los resultados de estos análisis se pueden apreciar en la Tabla 55. Cabe mencionar que en la NOM-052-SEMARNAT-2005, el límite máximo permisible para esta característica es de 0.5 °C más alta.

Tabla 55. Resultados de inflamabilidad de muestras tomadas en los Patios Aduanales

Identificación de la muestra	Resultado	Norma (USA)	Norma (Mx)	Matriz
NR-Aduana-01	> 60 C	< 60 C	< 60.5 C	Lodo
NR-Border-01	> 60 C	< 60 C	< 60.5 C	Lodo

4.7.4 Toxicidad ambiental

Para determinar si el Río Nuevo presentaba características de toxicidad ambiental, se realizaron análisis de: metales pesados, compuestos volátiles y semivolátiles, PCB's y bioensayos en peces. Además en algunos puntos se realizaron análisis de perclorato.

Metales pesados

Todos los metales analizados en las muestras tomadas en este sitio de estudio estuvieron por debajo de los umbrales establecidos por las normas. Estos resultados se presentan en la Tabla 56.

Tabla 56. Resultados de metales pesados de muestras tomadas en los Patios Aduanales.

Patios Aduanales	Punto # 1	Punto # 2	Punto # 2	LMP*
Matriz	Lodo	Lodo	Suelo	Peso-Mojado
Identificación de la muestra	NR-Aduana-01	NR-Border-01	NR-Border-02	Totales
Fecha de Colección	15/11/10	15/11/10	15/11/10	
Unidades	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
Antimonio (Sb)	<10	<10	<10	500
Arsénico (As)	<10	<10	<10	500
Bario (Ba)	76	90	188	10,000 ₁
Berilio (Be)	<1.0	<1.0	<1.0	75
Cadmio (Cd)	<1.0	<1.0	<1.0	100
Cromo (Cr)	<10	<10	27	2,500
Cobalto (Co)	<10	<10	<10	8,000
Cobre (Cu)	17	15	86	2,500
Plomo (Pb)	<10	<10	44	1,000
Mercurio (Hg)	0.03	0.02	0.69	20
Molibdeno (Mo)	<10	<10	<10	3,500 ₂
Níquel (Ni)	12	<10	35	2,000
Selenio (Se)	<1.0	<1.0	<1.0	100
Plata (Ag)	<10	<10	<10	500
Talio (Tl)	<10	<10	<10	700
Vanadio (V)	13	14	37	2,400
Zinc (Zn)	37	72	350	5,000

* LMP: Límite Máximo Permissible

1 Se excluye sulfato de bario

2 Se excluye sulfato de molibdeno

<: Analito detectado por debajo de límites prácticos de cuantificación

**El color azul indica los metales pesados regulados por la USEPA y la NOM-052-SEMARNAT-2005

Compuestos volátiles

Ninguno de los compuestos volátiles regulados en las normas en materia de desechos peligrosos fue detectado en los análisis hechos en las muestras tomadas en este sitio de estudio. Estos resultados se presentan en la Tabla 57.

Tabla 57. Resultados de compuestos volátiles de muestras tomadas en los Patios Aduanales.

Fecha de colección	Identificación de la muestra	Compuestos detectados	Punto de muestreo	Concentración (ug/Kg)	Matriz
15/11/10	NR-Aduana-01	Acetona	1	180*	Lodo
		p-Tolueno isopropílico	1	12*	Lodo
15/11/10	NR-Border-01	ND	2	ND	Lodo
15/11/10	NR-Border-02	ND	2	ND	Suelo

* Estimación

ND: No detectado

Compuestos semivolátiles

Ninguno de los compuestos semivolátiles regulados en las normas fue detectado en los análisis hechos en las muestras tomadas en este sitio de estudio. Los resultados de estos análisis se presentan en la Tabla 58.

Tabla 58. Resultados de semivolátiles de muestras tomadas en los Patios de Aduanales.

Fecha de colección	Identificación de la muestra	Compuestos detectados	Punto de muestreo	Concentración (mg/Kg)	Matriz
15/11/10	NR-Aduana-01	4 o 3-Metilfenol	1	4.4	Lodo
15/11/10	NR-Border-01	ND	2	ND	Lodo
15/11/10	NR-Border-02	Butil bencil ftalato	2	2.1	Suelo
		Bis (2-etil hexil) ftalato		33	Suelo

ND: No detectado

Bifenilos policlorados (PCB's)

No se detectaron estos compuestos en análisis realizados en las muestras tomadas en este sitio de estudio. Los resultados de estos análisis se encuentran en la Tabla 59.

Tabla 59. Resultados de PCB's de muestras tomadas en los Patios Aduanales.

Sitio-Patios Aduanales	Punto # 1	Punto #2	Punto #2
Matriz	Lodo	Lodo	Suelo
Identificación de la muestra	NR-Aduana-01	NR-Border-01	NR-Border-02
Fecha	15/11/10	15/11/10	15/11/10
LMP*	50 mg/Kg	50 mg/Kg	50 mg/Kg
Aroclor 1016	ND	ND	ND
Aroclor 1221	ND	ND	ND
Aroclor 1232	ND	ND	ND
Aroclor 1242	ND	ND	ND
Aroclor 1248	ND	ND	ND
Aroclor 1254	ND	ND	ND
Aroclor 1260	ND	ND	ND

ND: No detectado

* LMP: Límite Máximo Permisible

Perclorato

Como se puede apreciar en la Tabla 60, no se detectaron estos compuestos en los análisis realizados en las muestras tomadas en este sitio de estudio.

Tabla 60. Resultados de perclorato de muestras tomadas en los Patios Aduanales.

Sitio	Patios Aduanales	Patios Aduanales
Matriz	Lodo	Lodo
Identificación de la muestra	NR-Aduana-01	NR-Border-01
Fecha de colección	15/11/10	15/11/10
Unidades	ug/L	ug/L
Resultados	ND	ND

ND: No detectado

Bioensayos en peces

Los análisis de bioensayos en peces realizados en las muestras tomadas en este sitio de estudio, estuvieron por arriba del umbral establecido en la norma. Estos resultados se presentan en la Tabla 61.

Tabla 61. Resultados de bioensayo en peces de muestras tomadas en los Patios Aduanales.

Identificación de la muestra	Analito	Límite	Resultado	Unidades	Matriz
NR-Aduana-01	96 horas - LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Lodos
NR-Border-01	96 horas - LC ₅₀	< 500	> 750	mg/L	Lodos

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN

En este estudio se propuso determinar los niveles de residuos peligrosos en los sedimentos del Río Nuevo. Para lograr este objetivo se propuso caracterizar los sedimentos del río usando los parámetros establecidos por las normas oficiales mexicanas, de la USEPA y Cal-EPA/DTSC para la caracterización de un residuo como desecho peligroso. Estos parámetros son los siguientes: corrosividad, reactividad, inflamabilidad y toxicidad. Dentro de los parámetros de toxicidad, se analizaron las siguientes características: metales pesados, compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles, percloratos, bioensayo en peces, así como PCB's.

5.1 Corrosividad

Ninguna de las muestras tomadas del Río Nuevo, tanto en los EE.UU. como en México sobrepasó los límites permisibles de corrosividad indicados en las normas.

5.1.1 Corrosividad de muestras tomadas en EE.UU.

De acuerdo a las normas un residuo es considerado como peligroso si el residuo muestra un pH de > 12.5 y/o < 2.0 . Ninguna muestra tomada de sedimentos del Río Nuevo en el lado de los EE.UU, sobrepasó los niveles establecidos en las normas de desechos peligrosos. En la Figura 23, las barras rojas son los límites de pH estipulados en la norma mexicana y de EE.UU. El sitio testigo está indicado con barras verdes. Como se puede apreciar, los valores de las muestras tomadas del Río Nuevo son similares a los valores de las muestras tomadas en el sitio testigo.

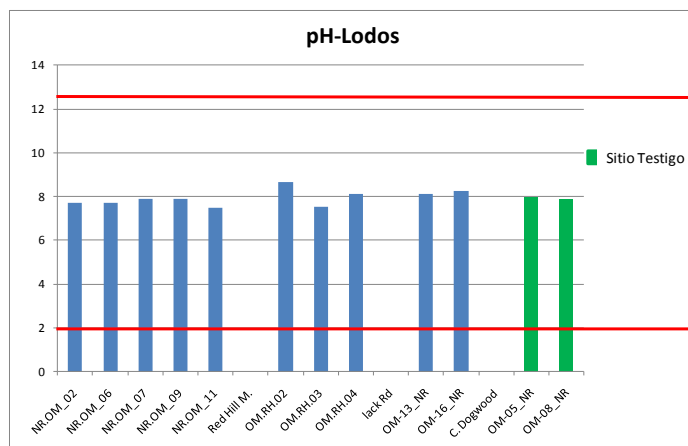


Figura 23. pH en lodos del Río Nuevo en EE.UU.

Además de los lodos, se midió el pH de suelos en el río. Como se puede apreciar en la Figura 24, ninguna muestra tomada de suelo del Río Nuevo en el lado de los EE.UU. sobrepasó los niveles establecidos en las normas.

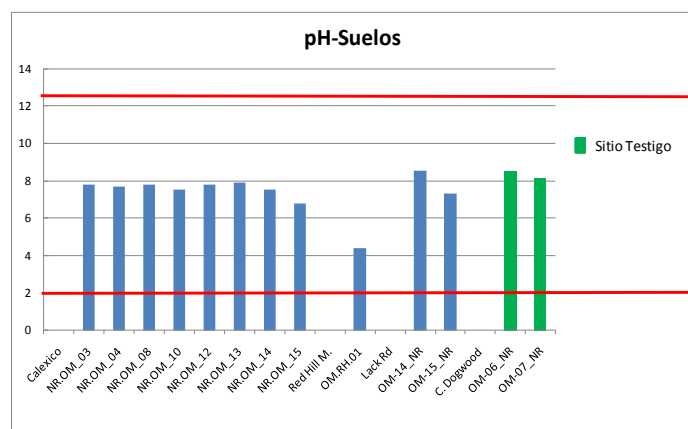


Figura 24. pH en suelos del Río Nuevo en EE.UU.

Como se puede apreciar en las Figura 23 y 24, los resultados de los lodos y los resultados del suelo son similares a los resultados obtenidos del sitio testigo.

5.1.2 Corrosividad de muestras tomadas en México

Al igual que en el lado de EE.UU., las muestras de sedimentos tomadas en Mexicali, presentaron valores de pH por debajo de las establecidas en las normas. Los valores obtenidos de pH en lodos y suelos realizados en muestras tomadas en Mexicali se pueden apreciar en las Figuras 25 y 26.

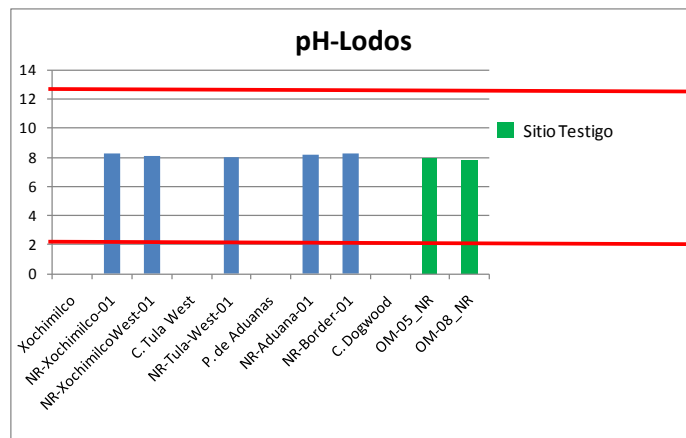


Figura 25. pH en lodos del Río Nuevo en México.

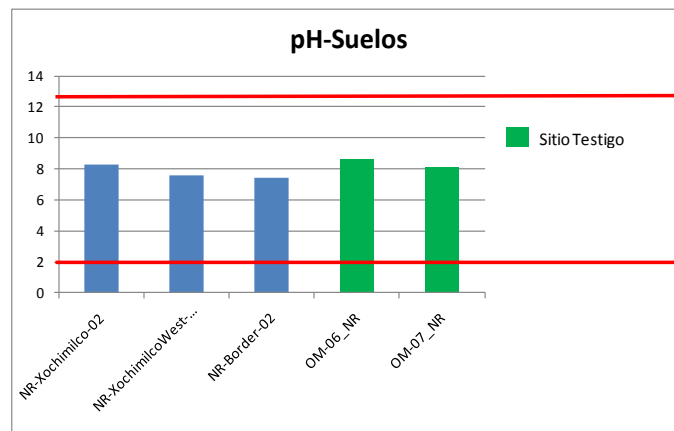


Figura 26. pH en suelos del Río Nuevo en México.

5.2 Reactividad

Ninguna de las muestras tomadas del Río Nuevo, tanto en los EE.UU. como en México, fueron analizadas por su reactividad, ya que ninguno de los sedimentos y suelo presentaron las características estipuladas al momento de tomar las muestras.

5.3 Inflamabilidad

Ninguna de las muestras tomadas del Río Nuevo, presentaron características de inflamabilidad. Todas las muestras tomadas del río fueron analizadas por su inflamabilidad usando la metodología “Pensky-Martens Closed Cup Tester” estipulada por las normas mexicanas y de EE.UU.

5.4 Toxicidad

La manera más utilizada para determinar toxicidad en un cuerpo de agua es la medición de metales pesados en los sedimentos o en el agua. Sin embargo, para este estudio se analizaron los sedimentos y suelos del Río Nuevo por las siguientes características de toxicidad: metales pesados, compuestos volátiles y semivolátiles, PCB's, percloratos y bioensayos en peces. Ninguna de las muestras tomadas de sedimento del Río Nuevo demostró características de toxicidad. Todas las muestras tomadas, tanto en Mexicali como en EE.UU., demostraron estar bajo los límites máximos permisibles estipulados en las normas tanto en México como en EE.UU.

5.4.1 Metales pesados

Los metales pesados son tóxicos debido a la persistencia de estos en el ambiente y el potencial que tienen de bioacumulación. Por lo tanto los análisis de metales pesados son importantes en la determinación de los niveles de contaminación en los ríos. Estos están clasificados por las normas para determinar si un desecho es peligroso o no. Todas las muestras

analizadas de suelo y lodos del Río Nuevo demostraron estar por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la USEPA en los EE.UU. y por las NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, procedimiento de identificación y clasificación de los residuos peligrosos en México. Como se puede apreciar en los resultados presentados, ningún metal pesado sobrepasó el umbral de límites máximos permisibles.

5.4.2 Compuestos ftalatos

Los compuestos semivolátiles de ftalatos aparecieron en los diferentes sitios de estudio a lo largo del Río Nuevo, incluyendo el sitio testigo. Los ftalatos son un grupo de sustancias químicas sintéticas que se utilizan principalmente en plásticos, sobre todo en PVC, en los que actúan como plastificantes. Los ftalatos también están presentes en una amplia gama de productos industriales, para el hogar y de consumo incluso productos de higiene personal como tuberías, revestimientos de vinilo para pisos y paredes, material de techado, cristal de seguridad, componentes de automóviles, aceites lubricantes, detergentes, embalajes de alimentos, adhesivos, pinturas, tintas, tubos médicos, bolsas de sangre, productos farmacéuticos, calzado, cables eléctricos, artículos de papelería, esmalte de uñas, espuma para el cabello, jabones, champús, perfumes, cremas hidratantes y hasta hace poco tiempo, en juguetes y artículos para infantes.

Algunos compuestos de ftalatos han sido prohibidos en la Unión Europea para ciertos usos, como en juguetes y artículos para el cuidado de los recién nacidos debido a estudios recientes que indican que estos compuestos son muy peligrosos para la salud humana, principalmente al género masculino. En los EE.UU., la USEPA tiene a estos compuestos químicos bajo un plan de acción. Esto significa que la USEPA está monitoreando estas sustancias por su potencial tóxico a la salud humana y ambiental debido a la prevalencia y exposición de estos al ser humano (USEPA, 2009).

De acuerdo a la USEPA, los ftalatos afectan primordialmente al ser humano masculino durante la gestación de éste. El efecto del Síndrome de Ftalato consiste en cambios negativos al sistema reproductivo del feto masculino durante su gestación. Los efectos observados al desarrollo del sistema reproductivo incluyen los siguientes; acortamiento de la distancia

anogenital en niños recién nacidos; y acortamiento del embarazo, reducción de las hormonas de la tiroides y sexuales; reducción de la calidad del espermatozoides en adultos (Staples *et al.*, 1997)

Una de las propiedades químicas de estos compuestos sintéticos es que tienen una volatilidad moderada cuando se encuentra en suelos húmedos y aguas. Estudios ecotoxicológicos han demostrado que estos compuestos químicos tienen un efecto adverso a los organismos acuáticos. Algunos estudios han demostrado que alguno de estos compuestos sintéticos afecta la reproducción y perjudica el desarrollo en todos los grupos de animales estudiados (Staples *et al.*, 1997). Se ha demostrado que hay una asociación inversa entre la distancia anogenital masculina y la exposición a ciertos compuestos de ftalatos (Mendiola *et al.*, 2011). Estos estudios indican que la distancia anogenital se reduce a medida que la exposición del feto a ciertos ftalatos aumenta.

California ha establecido límites máximos permisibles en productos para los niños de estos compuestos sintéticos. California prohíbe la manufactura, venta y distribución al comercio de cualquier producto para niños que contengan DEHP, DBP o BBP, que son compuestos de ftalatos en cantidades mayores de 0.1 % y de cualquier juguete o artículos para el cuidado y uso del bebé que contengan: DINP, DIDP, o DnOP en cantidades mayores de 0.1% (USEPA, 2009). Aunque en nuestro estudio no estaban estipuladas las mediciones de estos compuestos químicos, es importante mencionar los efectos tóxicos de estos compuestos ya que aparecieron en muchas de las muestras analizadas a lo largo del Río Nuevo. Sin embargo, aunque algunos de estos compuestos están prohibidos en ciertos artículos, estos compuestos no están regulados por las normas establecidas para el manejo de desechos peligrosos.

5.4.3 PCB's

Los PCB's son compuestos sintéticos que fueron manufacturados extensivamente en equipos eléctricos como transformadores y capacitadores, pinturas, papel, pesticidas, lubricantes, entre otros. Estos compuestos han demostrado que causan cáncer y otros problemas a la salud, como problemas al sistema inmunológico, reproductivo, nervioso y endocrino, en estudios realizados en animales. De acuerdo a la USEPA, los compuestos PCB's son hidrofóbicos que se acumulan en los sedimentos y son bioacumulables en la cadena alimenticia. De acuerdo a la

USEPA las vías probables de entrada de este compuesto en el ser humano es mediante el consumo de agua y/o comida, principalmente el pescado (DRBC, 2011).

Debido a la prevalencia de estos compuestos en el medio ambiente y la posibilidad que existe de la acumulación de éstos en los sedimentos, se midieron los PCB's en los sedimentos del Río Nuevo. Ningún bifenilo policlorado fue encontrado en los análisis realizados de sedimentos Río Nuevo.

5.4.4 Perclorato

Para este estudio, se tuvo la oportunidad de medir el perclorato. Una vez más, esta sustancia no es necesaria para la caracterización del río, ya que no está regulada. Pero, debido al interés que existe por la USEPA por regular este compuesto como desecho peligroso, la Cal EPA a través de DTSC sugirió la medición de este compuesto en el Río Nuevo. Los resultados de los análisis obtenidos no indicaron la presencia de este compuesto en ningún sitio de este estudio.

5.4.5 Bioensayo en peces

Una de las cuatro características para la determinación de un residuo o desecho como peligroso es la característica de toxicidad. Dentro de la característica de toxicidad, para demostrar si el desecho es tóxico, Cal EPA/DTSC enfáticamente recomienda y estipula en la norma los bioensayos en peces. Estos bioensayos se realizaron en todos los puntos estudiados a lo largo del río. Ninguna de las muestras analizadas, tanto en México como en EE.UU., sobrepasó la concentración letal del 50% de la población en estudio. Esto indica que los sedimentos no presentan propiedades tóxicas para los peces. Sin embargo, esto no quiere decir que los lodos no puedan afectar al ecosistema del río. En un estudio de bioensayos con Amphipodos realizado en los sedimentos del Río Passaic para determinar los niveles de toxicidad de los sedimentos, se concluyó que los altos niveles de contaminación en el río, sí afectan a estos crustáceos, ya que los bioensayos realizados con estos crustáceos demostraron una mortalidad total al término de 10 días (Kay, *et al*, 2007). Esto indica que aunque los

sedimentos no tengan características de desechos peligrosos, sí podrían afectar la vida acuática y a su vez la vida silvestre que ahí se encuentra.

5.5 Discusión final

El Río Nuevo ha sido considerado uno de los ríos más contaminados en EE.UU. Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio, indican lo contrario, ya que las concentraciones de contaminantes encontrados en los sedimentos del río están por debajo de los límites máximos establecidos en las normas para la caracterización de un desecho como peligroso. La reducción de los niveles de contaminación en el río se debe a muchos factores antropogénicos que han ocurrido y que continúan ocurriendo en la región, principalmente en Mexicali, en donde las autoridades competentes mediante acuerdos internacionales han acordado reducir la contaminación del río. Uno de los factores más importantes ha sido la desviación de las aguas residuales a la nueva planta de tratamiento “Las Arenitas” y la disposición de la industria en pre-tratar sus aguas residuales antes de descargarlas a la red de alcantarillado municipal. Hoy en día el Río Nuevo presenta una contaminación que es similar o menor que algunos otros ríos de usos similares en EE.UU. y México.

En un estudio de 8 metales pesados en sedimentos del Río Blanco, estado de Veracruz, México, en 1982, se concluyó que la concentración de los siguientes metales pesados estudiados; Ni, Zn, Pb, Fe, Co, Cu, Mn, y Fe eran comparables a los valores reportados en ríos no contaminados por la industria (Álvarez *et al.*, 1984). Si comparamos los resultados obtenidos de Zn, Pb, Ni, Co, Cu, y Cr, en este estudio con los resultados obtenidos en nuestro estudio del Río Nuevo, encontramos que los valores obtenidos de estos metales en el río Blanco en Veracruz están por arriba de los valores de estos mismos encontrados en el Río Nuevo. A su vez, si comparamos éstos mismos metales con los resultados de la caracterización química de sedimentos del Río Passaic, que es un río que se encuentra en el área de Nueva York/ Nueva Jersey (Armstrong *et al.*, 2005), encontramos que los resultados de éstos mismos metales en el punto de estudio del Río Nuevo en Calexico, están muy por debajo de los promedios encontrados en el Río Passaic, como se puede observar en la Tabla 62. El Río Blanco y Passaic tienen las

mismas características del Río Nuevo en que estos han sido antropogénicamente contaminados por muchos años.

Tabla 62. Valores de metales encontrados en ríos contaminados.

Metal	Río Nuevo	Río Blanco	Río Passaic
	Calexico-USA	Veracruz	Nueva York-Nueva Jersey
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
Cromo (Cr)	10.82	140	136
Cobalto (Co)	4.02	30	11
Cobre (Cu)	21.6	85	189
Plomo (Pb)	20.4	50	252
Níquel (Ni)	10.62	60	39.5
Zinc (Zn)	87.8	130	512

* El color azul indica los metales pesados regulados por la USEPA y la NOM-052-SEMARNAT-2005

Cabe mencionar que de estos metales comparados, solamente el Cr y el Pb (resaltados con el color azul), son los únicos metales regulados en las normas para el control de desechos peligrosos en EE.UU. y México.

Aunque el alcance de este estudio estuvo limitado a las características de los sedimentos del Río Nuevo como desecho peligroso, esto no implica que los niveles encontrados no sean tóxicos para el ecosistema de la cuenca del lago Salton Sea. En un estudio realizado de 12 elementos en el Río Álamo, uno de los tres tributarios del lago, se encontró que los resultados de selenio fueron altamente elevados. Los niveles de selenio fueron de 7-8 ug/L. Éstos sobrepasan el criterio nacional para selenio que es de 5.0 ug/L en una concentración promedio de 4 días y que no debe rebasar más de una vez en 3 años para la protección de la vida acuática en agua dulce (Saiki, 1990). Además el selenio tiende a mantenerse en el agua y no en los sedimentos. Esto implica que aunque las concentraciones de selenio en los sedimentos del Río Nuevo se encontraron por debajo de los límites establecidos para el manejo de este como residuo peligroso, esto no quiere decir que los niveles de selenio en el río están por debajo de los límites sugeridos en la literatura para la protección de la vida acuática y/o silvestre.

De acuerdo a Saiki, una muestra compuesta colectada de una corvina colectada en 1984 del Salton Sea, contenía la cantidad de 3.1 ug/g peso mojado de selenio (aproximadamente 12.4 ug/g peso seco, suponiendo una humedad de 75%, 1986). Las concentraciones de selenio ≥ 8 ug/g peso seco en esqueleto y músculos o de ≥ 12 ug/g en el cuerpo entero de peces de agua fresca en aéreas sensitivas, han sido asociadas con fallas en la reproducción de estas especies ((Lemly y Smith, 1987) citado en Saiki, 1990).

En base a los resultados de los análisis de este trabajo y otros llevados a cabo posteriormente, el Departamento de Salud Pública del Valle Imperial promueve un aviso el cual advierte a la comunidad de abstenerse de comer pescado del Río Nuevo y de tener contacto físico con aguas del río debido a la contaminación que esté presenta por aguas residuales sin tratar y sustancias industriales que se originan en México (M. Johnston, Imperial County Department of Health Services, El Centro, California, personal communication, citado en Saiki,1990).

Los resultados de los análisis de los siguientes metales; As, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, y Zn, conducidos en filetes en un estudio realizado por Saiki, 1990, son similares a otros estudios ya hechos. Sin embargo, Saiki encontró que las concentraciones de selenio, en filetes de pescado del Lago Salton Sea, fueron hasta 10 veces más altos que los resultados de estudios previos hechos en los tres tributarios mayores del lago: Whitewater, Álamo y Río Nuevo.

De acuerdo a Saiki ninguno de los elementos estudiados a excepción del selenio, excedieron los criterios o guías para la protección de los recursos de peces y vida silvestre. La concentración media de Selenio obtenida por Saiki en su estudio fue de cuatro veces más alta que el promedio nacional, de USA, en 1984. El origen del selenio en el Lago Salton Sea no ha sido encontrado. Sin embargo la evidencia que existe indica que podría provenir de la cuenca del Río Colorado, de acuerdo a Radtke *et al.*, (1988), citado en Saiki (1990). Pero, aunque la concentración media de selenio se encontró por arriba del promedio nacional, esto no implica que las cantidades encontradas de selenio en los peces sea causa de actividades antropogénicas en la región ya que para poder determinar esto es preferible tener las referencias de las concentraciones de los metales y metaloides de la región, y no guiarse solamente en reglas internacionales de calidad de sedimentos, ya que cada región es litológicamente diferente (Nascimento y Mozeto, 2008).

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

6.1. Resultados del estudio

El objetivo principal de este estudio fue determinar si los sedimentos del Río Nuevo presentaban características de residuos peligrosos. Ninguna de las muestras de sedimentos analizadas del río presentó características de desechos peligrosos. Todos los análisis realizados demostraron que los niveles de residuos peligrosos en los sedimentos del Río Nuevo están por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por las normas, de EE.UU., como de México.

El conocimiento de estos datos es importante ya que este río constantemente se draga para su limpieza y los lodos removidos son depositados en las orillas del mismo y estos a su vez son transportados por los vientos, una vez que se secan, vientos que en ocasiones extremas han alcanzado hasta 80 kilómetros por hora en la región de acuerdo al Distrito para el Control de la Contaminación del Aire del Condado Imperial (Imperial County Air Pollution Control District, 2009).

Aunque los resultados de los análisis de los sedimentos del Río Nuevo no sobrepasaron los umbrales establecidos para residuos peligrosos, es importante tener en cuenta que los límites para residuos peligrosos son diferentes a los establecidos para la protección de la vida silvestre. Un ejemplo de ello es selenio, el cual tiene como umbral de 100 mg/Kg para el manejo como desecho peligroso. Sin embargo de acuerdo a Saiki el criterio nacional para la protección de la vida silvestre de este elemento es de 5.0 ug/L, el cual está por debajo del umbral establecido para el manejo de este compuesto como residuo peligroso.

Aunque en nuestro estudio no estaban estipuladas las mediciones de los ftalatos, es importante mencionar los efectos tóxicos de estos compuestos ya que aparecieron en muchas de las muestras analizadas a lo largo del Río Nuevo. Sin embargo, aunque en ciertos artículos se menciona que algunos de estos compuestos están prohibidos; estos compuestos no están

regulados por las normas establecidas para el manejo de desechos peligrosos. Además, las cantidades encontradas de estos compuestos en el río estuvieron por debajo de lo que la literatura considera un riesgo para los seres vivos.

No cabe duda que los sedimentos del Río Nuevo están contaminados. Sin embargo la contaminación de éstos, están muy por debajo de los promedios encontrados en otros ríos, tal es el caso del Río Passaic en Nueva York/Nueva Jersey y del Río Blanco en Veracruz. Como se puede observar en la Tabla 62. Los Ríos Blanco y Passaic están más contaminados que el Río Nuevo, aunque tienen las mismas características.

6.2 Recomendaciones

Aunque los niveles encontrados de los parámetros analizados en las muestras tomadas del río no superaron los umbrales de desecho peligroso, es importante que tanto en el Valle de Mexicali, como en el Valle imperial se continúe trabajando en el manejo de la reducción de la contaminación de este cuerpo de agua. Ya que, el Río Nuevo es parte de la subcuenca del Lago Salton Sea, el cual es un recurso muy importante para las aves migratorias, que llegan a esta región para descansar y alimentarse, para luego continuar su viaje migratorio. Además ante la escasez de agua que existe en la región, el agua del Río Nuevo podría ser un recurso importante para el Valle de Mexicali, ya que el valle continúa creciendo y sufre de la escasez de este vital líquido.

Por otra parte se recomienda continuar con los estudios en el Río Nuevo, pero ahora con un enfoque toxicológico, con fines de protección de la vida acuática y silvestre y para obtener una mayor información acerca de la contaminación del Río Nuevo.

REFERENCIAS

Álvarez Rivera Ubaldina, Rosales Hoz Leticia y Carranza Edwards Arturo, 1984. Heavy Metals in Blanco River Sediments, Veracruz, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, México, D.F. 04510. México. Contribución 469 del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

Armstrong Tina N., Iannuzzi Timothy J., Thelen John B., Ludwig David F. and Firstenberg Clifford E., 2005. Characterization of Chemical Contamination in Shallow-Water Estuarine Habitats of an Industrialized River. Part II. Metals, Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 14: 1, 35-52.

Ayres Rachel M. y Duncan Mara D., 1996. Analysis of Wastewater for Use in Agriculture - A Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques, Department of Civil Engineering University of Leeds, Leeds, England.

Carpio Obeso Maria de la Paz and Gaona Arredondo Thalia, 2001. University of California Cooperative Extension, Desert Research and Extension Center and Universidad Autónoma de Baja California, Water Resources Policies in the Imperial and Mexicali Valleys.

CESPM: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali, 2011. “Como llega el agua a Mexicali.” [fecha de consulta: 25 Mayo 2011]. Disponible en: <http://www.cespm.gob.mx/comollegaaguamexicali.html>.

COSAE: Comisión de Servicios de Agua del Estado, 1994. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, Subdirección de Planeación. Plan Estatal Hidráulico 1994-2015. Baja California.

California Environmental Protection Agency. Department of Toxic Substances Control, 2006. DTSC's perchlorate Best Management Practices, State of California.

California Department of Fish and Game, 1998. Water Pollution Control Laboratory. Static Acute Bioassay Procedures for Hazardous Waste Samples. State of California.

California Department of Water Resources, 2010. Salton Sea Watershed Map [fecha de consulta: 12 Abril 2011]. Disponible en: <http://www.water.ca.gov/saltonsea/documents/watershed.cfm>.

California Environmental Protection Agency, State Water Resources Control Board, Colorado River Regional Water Quality Control Board, 2002. Colorado River Basin Regional Water Quality Control Board Fact Sheet.

California State Water Resources Control Board, Colorado River Basin Regional Water Quality Control Board, 2006. Water Quality Control Plan-Colorado River Basin-Region 7.

Campbell Neil A., 1996. Biology, University of California, Riverside, fourth edition

Cobo Rivera Juan Manuel, 2002. Contaminación de las aguas subterráneas en la cuenca baja del Río Colorado, estados de Baja California y Sonora, Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería.

Nava Cristina Cortinas, Colección Técnica y Estadística, Regulación de los Residuos Peligrosos en México, [fecha de consulta: 11 Marzo 2011]. Disponible en:
<http://www.cristinacortinas.net/index.php?option=com_content&task=view&id=47&Itemid=27>.

DRBC: Delaware River Basin Commission, 2011. "What are PCB's." [fecha de consulta: 24 Mayo 2011]. Disponible en: < <http://www.state.nj.us/drbc/PCB.PDF> >.

English Paul, Blount Ben, Wong Michille, Copan Lori, Olmedo Luis, Patton Sharyle, Hass Robert, Atencio Ryan, Xu Juhua, Valentin Blasini Liza, 2011. Direct Measurement of Perchlorate Exposure Biomarkers in a Highly Exposed Population: A Pilot Study. March.

Ganster Paul and Sánchez Munguía Vicente, 2006. The U.S.-Mexican Border Environment, Lining the All American Canal: Competition or Cooperation for the Water in the U.S.-Mexican Border?, SCERP: Southwest Consortium for Environmental Research and Policy. Monograph Series, no. 13.

García I. y Dorronsoro C., 2002. Contaminación por Metales pesados. Departamento de Edafología y Química Agrícola de España. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>.

Gómez Álvarez Agustín, Villalba Atondo Arturo, Acosta Ruíz Gildardo, Castañeda Olivares Mario y Kamp D., 2004. Metales Pesados en el Agua Superficial del Río San Pedro Durante 1997 y 1999. Rev. Int. Contam. Ambient. 20 (1) 5-12.

Guevara Samuel, e Oyarzún M. Jorge y Maturana Hugo, 2006. Geoquímicas de las Aguas del Río Elqui y de sus Tributarios en el Período 1975-1995: Factores Naturales y Efectos de las Explotaciones Mineras en sus Contenidos de Fe, Cu y As.

Gruenberg Phil, 1998. New River Pollution in México, a Historical Overview, California State Water Resources Control Board, Colorado River Regional Water Quality Control Board.

Hernández Silva Gilberto, Solorio-Munguía Gregorio, Vasallo Morales Luis, Flores Delgadillo Lourdes, Maples Vermeersch Mireya, Hernández Santiago Daniel, y Alcalá Martínez René, 2000. Dispersión de Ni y Cr en Sedimentos y Suelos Superficiales Derivados de Piroxenitas, Serpentinitas, y Basaltos de la Cuenca San Juan de Otates, Estado de Guanajuato, México, Revista Mexicana de Ciencias Biológicas, Vol. 17, número 2. p. 125-136

Iannuzzi Timothy J., Armstrong Tina N., Thelen John B., Ludwing David F. and Clifford E. Firstenberg , 2005. Characterization of Chemical Contamination in Shallow-Water Estuarine Habitats of an Industrialized River. Part 1: Organic Compounds, Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 14:1, 13-33

IBWC: International Boundary and Water Commission, United States and Mexico, 1992. Conceptual Plan for the Long Term Solution to the Border Sanitation Problem of the New River at Calexico, California-Mexicali, Baja California, minute No. 288.

Imperial County Air Pollution Control District, 2009. Addendum Natural Event Documentation. Imperial County: State of California.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Mexicali, Baja California, México.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2008 [fecha de consulta: 10 Marzo 2011]. Disponible en: <<http://mapserver.inegi.gob.mx/mgn2k/>>.

Kay D.P., 2007. Passaic River Sediment Interstitial Water Phase I Toxicity identification Evaluation. Chemosphere; 70: 1737-1747

Mendiola J, Stahlhut RW, Jørgensen N, Liu F, Swan SH, 2011, Shorter Anogenital Distance Predicts Poorer Semen Quality in Young Men in Rochester, New York. Environ Health Perspect 119(7): doi:10.1289/ehp.1103421

Nascimento Marcos R. L. and Mozeto Antonio A., 2008. Reference Values for Metals and Metalloids Concentrations in Bottom Sediments of Tietê River Basin, Southeast of Brazil, Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 17:3, 269-278.

Ouyang Y., 2002. Characterization and Spatial Distribution of Heavy Metals in Sediment from Cedar and Orterga Rivers Subbasin. Journal of Contaminant Hydrology; 54: 19-35.

Peña Francisco and Erie Steve, 2003. Water in the US-México Border: Convergences, Divergences and Challenges. UC MEXUS-CONACYT.

Quintero Núñez Margarito, 2006. Contaminación y medio ambiente en Baja California, Mexicali; Porrúa., p. 177-178.

Ray Amelia L., 2011. Water Sustainability, Water Efficiency the Journal for Water Resource Management, Forrester Media, Vol. 6, Number 2.

Saiki Michael K., 1990. Elemental Concentration in Fishes from The Salton Sea, Southeastern California, Water, Air and Soil Pollution 52: 41-56, Kluwer Academic Publishers. Printed in Netherlands.

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006. NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. Diario Oficial, Viernes 23 de junio de 2006.

Staples C. A., Adams W. J., Parkerton T. F., Gorsuch J. W., Biggingers G. R. and Reiner K. H., 1997. Aquatic Toxicity of Eighteen Phthalate Esters. Environ. Toxicol. Chem. 1997, 16 (5), 875–891.

Tanji Kenneth, Galvan Ramos Miguel, Carpio Obeso Maria de la Paz and Carrie Lyn Potter, 1993. Initial Assessment on Opportunities for Reuse of Wastewaters in Mexicali Valley, México, University of California, Davis, and Universidad Autonoma de Baja California, Mexicali.

Thomson/West, 2006. California Environmental Laws, Health and Safety Code, Division 20, Chapter 6.5. Hazardous Waste Control Laws.

USEPA: United States Environmental Protection Agency, 2008. RCRA Orientation Manual, Introduction to the Resource Conservation and Recovery Act, Chapter I, EE.UU.
<http://www.epa.gov/wastes/inforesources/pubs/orientat/rom1.pdf>

USEPA: United States Environmental Protection Agency, 2006. Superfund, TRI, EPCRA, RMP & Oil Information Center Monthly Report.

USEPA: United States Environmental Protection Agency, 2011. Fact Sheet: Final Regulatory Determination for Perchlorate.

USEPA: United States Environmental Protection Agency, 1986. Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods third edition.

USEPA: United States Environmental Protection Agency, 2009. Phthalates Action Plan

Viau Emily Jan, 2005. An Environmental Assessment of Wastewater Reuse in Mexicali, Baja California México, Arizona State University.

West, 1990. Barclays Official California Code of Regulations, Title 22, Social Security, Division 4.5. Environmental Health Standards for the Management of Hazardous Waste.