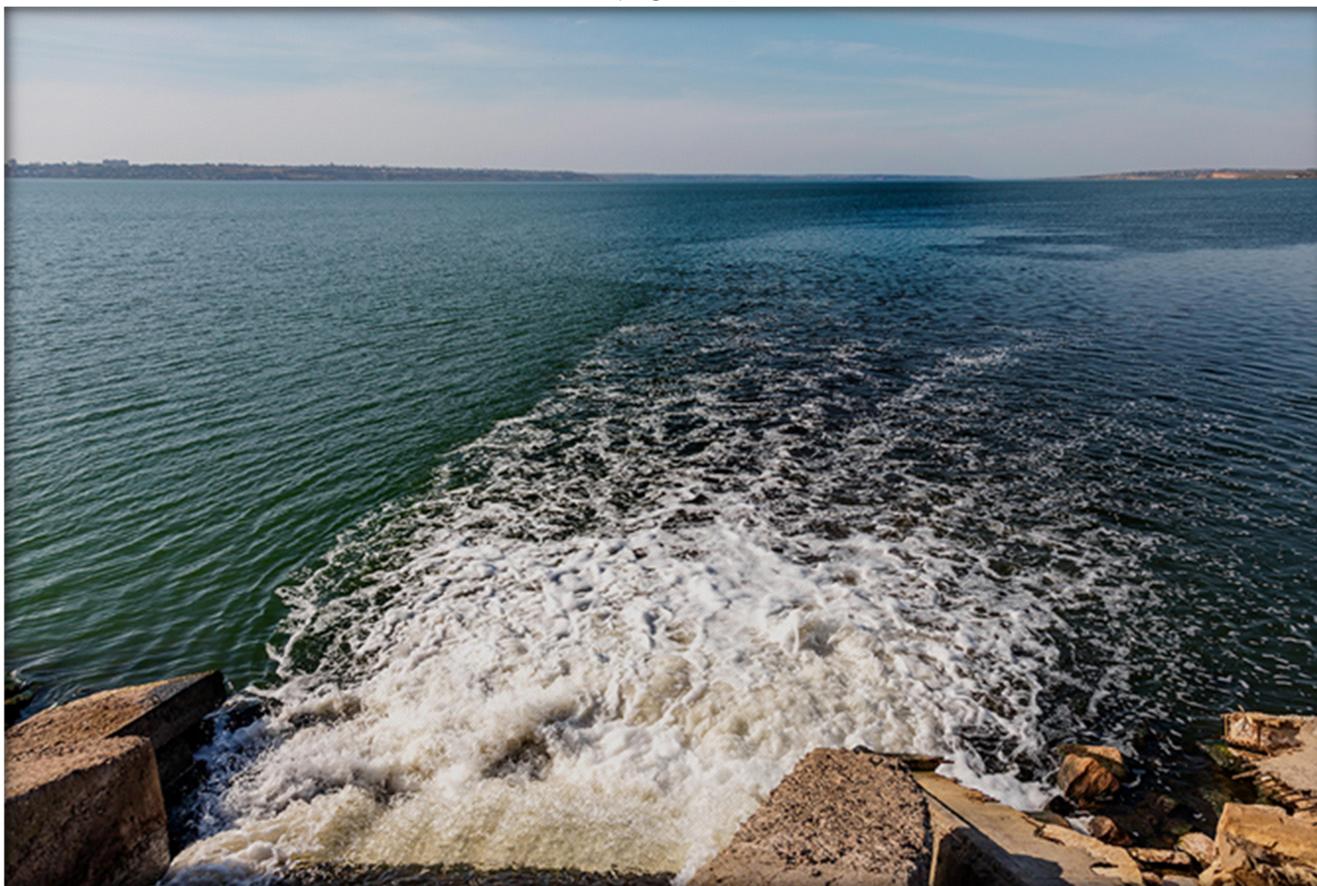


**“ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS Y BENEFICIOS
DEL ANTEPROYECTO DE MODIFICACIÓN A LA NOM-001-SEMARNAT-1996
QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE
CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS
Y BIENES NACIONALES”**

No. CNA-SGAPDS-CONVENIO-007/2016

INFORME



Septiembre, 2017

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVOS.....	3
3.	ANTECEDENTES DE LA NORMA Y SU MARCO JURÍDICO.....	3
4.	ALCANCES	7
5.	METODOLOGÍA	9
5.1	ANÁLISIS DE DESCARGAS.....	9
5.1.1	Fuentes de información	10
5.1.2	Clasificación de descargas por su origen	18
5.1.3	Contaminantes básicos	22
5.1.4	Metales pesados y cianuros	23
5.1.5	Temperatura.....	24
5.1.6	pH	25
5.1.7	Grasas y aceites	27
5.1.8	Color.....	27
5.1.9	Toxicidad.....	28
5.1.10	Clasificación de las descargas en función del caudal medio descargado.....	29
5.2	METAS DE CUMPLIMIENTO	32
5.2.1	Normas de calidad de efluentes	32
5.2.2	Niveles de cumplimiento con la actual y la nueva norma.....	35
5.2.3	Escenarios de calidad de efluentes para cumplimiento.....	36
5.3	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE NIVELES DE TRATAMIENTO.....	43
5.3.1	Determinación de descargas que requieren tratamiento	44
5.3.2	Número, tipo y caudal de plantas de tratamiento.....	49
5.4	TRENES TIPO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS DESCARGAS.....	52
5.4.1	Costos unitarios de tratamiento	57
5.4.2	Premisas técnicas, económicas y financieras.....	57
5.4.3	Función de costos	59
5.4.4	Costos de tratamiento	62
5.4.5	Infraestructura y costos de tratamiento por grupo generador de la descarga	65
5.4.6	Infraestructura y costos de tratamiento por tipo de planta	68
5.5	COSTOS DE CUMPLIMIENTO CON LA NOM-001-SEMARNAT-1996 VIGENTE Y CON EL ANTEPROYECTO DE MODIFICACIÓN A LA NOM-001-SEMARNAT-1996.....	72
5.6	CÁLCULO DE LOS BENEFICIOS.....	76
5.6.1	Metodología.....	80
5.6.2	Estimación de beneficios	89
5.6.3	Beneficios intangibles, incuantificables.	130

5.7	ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO	134
5.7.1	Resumen de los beneficios.....	134
5.7.2	Resumen de Costos.....	137
5.7.3	Resultados del Análisis Beneficio-Costo.....	137
6.	CONCLUSIONES.....	141
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	144

FIGURAS

Figura 1. Mecánica de cálculo del costo de cumplimiento con la NOM-001-2016.....	10
Figura 2. Caudal de agua residual municipal generada y colectada (m ³ /s)	11
Figura 3. Descargas y caudales por sector.....	20
Figura 4. Distribución estadística de número de descargas vs caudal acumulado descargado.....	30
Figura 5. Distribución de porcentaje de descargas vs. gasto medio por descarga.....	30
Figura 6. Distribución de caudales por sector y por descargas.....	31
Figura 7. Concentración de DQO en descargas a ríos y embalses (percentil).....	52
Figura 8. Tren de tratamiento T2-a Tratamiento convencional de lodos activados con digestión aerobia.....	53
Figura 9. Tren de tratamiento T2-b Tratamiento convencional de lodos activados con carbón activado para remoción de componentes no biodegradables incluyendo color.....	54
Figura 10. Tren de tratamiento T3. Remoción biológica de materia orgánica y nitrógeno.....	54
Figura 11. Tren de tratamiento T4. Remoción biológica de nitrógeno y remoción química de fósforo.....	55
Figura 12. Tren complementario para remoción de metales pesados y cianuros.....	55
Figura 13. Costos de construcción de plantas en función del caudal	60
Figura 14. Costo anual de tratamiento en función del caudal.....	61
Figura 15. Costo unitario de tratamiento en función del caudal....	61
Figura 16. Número de plantas requeridas por grupo de descargas....	66
Figura 17. Caudales de tratamiento de aguas residuales por grupo de descargas.....	66
Figura 18. Inversiones en plantas de tratamiento por grupo de descargas.....	67
Figura 19. Costo anual de tratamiento por grupo de descargas.....	67
Figura 20. Número de plantas por tipo de planta.....	70
Figura 21. Caudales de tratamiento de aguas residuales por tipo de planta.....	70
Figura 22. Inversiones en plantas por tipo de planta.....	71
Figura 23. Costo anual total por tipo de planta.....	71
Figura 24. Distribución porcentual de descargas y caudales.....	72
Figura 25. Número de plantas y caudales a tratar.....	76
Figura 26. Inversiones en plantas y costos anuales totales.....	76
Figura 27. Número de casos de enfermedades diarreicas agudas entre 1995 y 2015.....	92
Figura 28. Número de casos anuales de conjuntivitis 2002-2015 en México.....	92
Figura 29. Número de casos anuales de infecciones respiratorias agudas 1998-2015 en México.....	93
Figura 30. Proyección de los casos de EDAS.....	94
Figura 31. Proyección de casos de conjuntivitis.....	95

Figura 32. Proyección de casos de infecciones respiratorias agudas	96
Figura 33. Beneficio por la conservación del medio ambiente, caso del sector turístico.....	103
Figura 34. Beneficios esperados en la captura de peces.....	104
Figura 35. Agua producida y desinfectada por origen (m ³ /s).....	111
Figura 36. Cultivos y valor de la producción agrícola.....	119
Figura 37. Producción agrícola nacional.....	120
Figura 38. Producción nivel nacional en DR, exportación e importación en 2010.....	121
Figura 39. Descargas que exceden LMP Huevos helminto.....	122
Figura 40. Descargas que exceden LMP de Coliformes fecales.....	123
Figura 41. Imagen de identificación de los puntos de descargas que exceden los LMP.....	124
Figura 42. Propuesta de producción de cultivos en DR 003, Tula, Hgo.	125
Figura 43. Propuesta de producción de cultivos en DR 009, Valle de Juárez, Chih.....	126
Figura 44. Propuesta de producción de cultivos en DR 011, Alto Río Lerma, Gto.....	126
Figura 45. Propuesta de producción de cultivos en DR 028, Tulancingo, Hgo.....	127
Figura 46. Propuesta de producción de cultivos en DR 100, Alfajayucan, Hgo.....	127
Figura 47. Propuesta de producción de cultivos en DR 112, Ajacuba, Hgo.....	128
Figura 48. Niveles de cumplimiento de la NOM.....	137

TABLAS

Tabla 1. Caudal nacional de agua residual municipal generada, colectada y tratada.....	12
Tabla 2. Información de PTAR Industriales existente en la publicación Diagnóstico del Subsector de Agua Potable... 2016.....	14
Tabla 3. Información del REPDA.....	15
Tabla 4. Información depurada del SIRALAB y datos seleccionados para procesar.....	16
Tabla 5. Comparación entre fuentes de información.....	17
Tabla 6. Caudales y cargas de contaminantes en las descargas de aguas residuales (contaminantes básicos).....	18
Tabla 7. Criterio de categorización de descargas.....	19
Tabla 8. Claves SCIAN de grupos de descargas.....	19
Tabla 9. Caudales y contaminantes en sector de generación de energía	21
Tabla 10. Caudales y cargas de SST y DQO por grupo de descargas... ..	22
Tabla 11. Caudales y cargas de N y P por grupo de descargas.....	22
Tabla 12. Descargas que requieren tratamiento por actividad generadora de la descarga.....	23
Tabla 13. Límites permisibles de temperatura en la NOM-001-1996... ..	24
Tabla 14. Descargas en incumplimiento con temperatura.....	24
Tabla 15. Descargas en incumplimiento con pH.....	26
Tabla 16. Resumen general del pH.....	26
Tabla 17. Porcentaje de incumplimiento de las normas por grupo....	27
Tabla 18. Tecnologías para remoción de color.....	28
Tabla 19. Tecnologías para remoción de toxicidad.....	29
Tabla 20. Distribución de caudales y descargas entre gastos.....	31
Tabla 21. Límites permisibles de los contaminantes básicos en la NOM-001-1996.....	33
Tabla 22. Límites permisibles de los contaminantes básicos en la NOM-001-2016.....	34
Tabla 23. Límites permisibles de los metales pesados y cianuros en la NOM-001-1996.....	34
Tabla 24. Límites permisibles de los metales pesados y cianuros en la NOM-001-2016.....	35
Tabla 25. Normas de calidad de efluentes.....	36
Tabla 26. Norma de calidad para temperatura.....	37
Tabla 27. Descargas en incumplimiento con temperatura.....	38
Tabla 28. Norma de calidad para el pH.....	38
Tabla 29. Incumplimiento de la Norma para grasas y aceites.....	39
Tabla 30. Límites máximos permisibles de concentración: Escenario I y Escenario II	40
Tabla 31. Límites permisibles de concentración en la NOM-001-1996.	41
Tabla 32. Límites permisibles de concentración en la NOM-001-2016.	41
Tabla 33. Resumen comparativo de las dos normas.....	42
Tabla 34. Identificación de procesos de tratamiento de plantas tipo	43
Tabla 35. Criterios para la asignación de plantas tipo en el Escenario I	45

Tabla 36. Criterios para la asignación de plantas tipo en el Escenario II	45
Tabla 37. Número y características de las descargas que incumplen el Escenario I	46
Tabla 38. Número y características de las descargas que incumplen el Escenario II	46
Tabla 39. Corrientes que requieren tratamiento para cumplir con la normatividad.....	47
Tabla 40. Normas de agua potable.....	48
Tabla 41. Presencia de plomo en las descargas del G0 y el G1.....	48
Tabla 42. Número y características de plantas para cumplimiento en el Escenario I	49
Tabla 43. Número y características de plantas para cumplimiento en el Escenario II	50
Tabla 44. Resumen de plantas y caudales para cumplimiento en el Escenario I	51
Tabla 45. Número de plantas y caudales para cumplimiento en el Escenario II	52
Tabla 46. Premisas financieras y técnicas para el desarrollo de las funciones de costos.....	58
Tabla 47. Premisas económicas para el desarrollo de las funciones de costos.....	59
Tabla 48. Ecuaciones paramétricas de las funciones de costos.....	60
Tabla 49. Componentes del Costo Anual Total.....	62
Tabla 50. Resumen de costos.....	62
Tabla 51. Estimación del costo para el control del pH.....	63
Tabla 52. Costo unitario para control de pH.....	64
Tabla 53. Costos desagregados por grupo generador de la descarga..	65
Tabla 54. Costos de cumplimiento desagregados por grupo generador de la descarga (metales pesados y cianuros).....	68
Tabla 55. Costos desagregados por tipo de planta.....	69
Tabla 56. Descargas, caudales y necesidades de tratamiento.....	72
Tabla 57. Costos de cumplimiento.....	73
Tabla 58. Costos de cumplimiento desagregados por sector.....	74
Tabla 59. Costos desagregados por tipo de planta.....	75
Tabla 60. Beneficios esperados, resultado de un proceso de aplicación de la Norma.....	78
Tabla 61. Peso relativo, del costo de tratamiento □3, para el G1..	86
Tabla 62. Peso relativo, del costo de tratamiento □3, para el G2..	86
Tabla 63. Peso relativo, del costo de tratamiento □3, para el G3...	87
Tabla 64. Cosos asociados en el tratamiento de enfermedades (2016)	93
Tabla 65. Análisis de casos totales y atribuibles al proyecto.....	96
Tabla 66. Proyección de casos de incidencia por tipo de enfermedad	97
Tabla 67. Beneficios por ahorro de recursos al evitar enfermedades. Proyección de casos.....	98
Tabla 68. Impacto del riesgo ambiental, pérdida en el sector turístico (millones\$) a precios de 2016.....	102
Tabla 69. Resultados de incremento de producción debido al saneamiento de los cuerpos de agua.....	105
Tabla 70. Principales acueductos de México.....	106

Tabla 71 Ahorros por reúso.....	108
Tabla 72. Resultados de los ahorros en eliminación de malezas....	110
Tabla 73. Cantidades complementarias de reactivos, periodo Marzo - Mayo.....	114
Tabla 74. Ahorros en el consumo de reactivos y energía.....	115
Tabla 75. Degradación y Agotamiento del agua en México.....	116
Tabla 76. Resumen de beneficios por cambio de cultivo.....	129
Tabla 77. Resumen de los beneficios, expresados en moneda nacional (millones de pesos 2016).....	135
Tabla 78. Costos implicados en la modificación de la NOM 001.....	137
Tabla 79. Inversiones requeridas anualizadas y costo anual uniforme equivalente, en millones de pesos.....	139

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos veinte años ha habido en México un incremento sustantivo en la generación de aguas residuales, así como una disminución en la disponibilidad y capacidad asimilación¹ (o capacidad asimilativa) de contaminantes de las aguas y bienes nacionales, y un cambio significativo en el impacto de las descargas en el medio ambiente, en la economía y en el bienestar de los mexicanos. En cumplimiento de sus deberes institucionales, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ha elaborado un anteproyecto de modificación a la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece nuevos límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

El anteproyecto de modificación a la Norma NOM-001-SEMARNAT-1996 (Anexo A) debe ser presentado ante la Comisión Federal de Mejora Regulatoria (COFEMER) acompañado de una Manifestación de Impacto Regulatorio (MIR). La MIR es una herramienta de política pública que tiene por objeto garantizar que los beneficios de las regulaciones sean superiores a sus costos. La MIR permite analizar sistemáticamente los

¹ Capacidad de asimilación y dilución: Es la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua; se obtiene de la diferencia entre el límite máximo de descarga y la carga actual aportada por las descargas de aguas residuales. Se expresa en unidades de masa por tiempo e indica la cantidad de contaminantes que puede recibir el cuerpo de agua, sin que se rebase la meta de calidad. Capacidad de asimilación y dilución menor o igual a cero, significa que el cuerpo de agua no admite carga adicional del contaminante. Un valor positivo indica una capacidad de asimilación y dilución que no ha sido rebasada. DOF: 06/07/2011. DECLARATORIA de clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5199672&fecha=06/07/2011

El concepto de capacidad asimilativa (o capacidad de asimilación) ha sido aplicado a la relación entre las descargas de sustancias orgánicas, usualmente medidas en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los niveles de oxígeno disuelto (OD) en ríos. En este sentido, el concepto de "capacidad asimilativa" es definido como la capacidad de un cuerpo de agua para "aceptar" y "degradar" sustancias orgánicas a través de procesos naturales físicos, químicos o biológicos, manteniendo el oxígeno disuelto a niveles adecuados para los usos designados de ese cuerpo de agua, como usualmente ha sido establecido por los estándares de calidad de agua. Inherente a esta evaluación es la inclusión de varios fenómenos tales como nitrificación, reaeración, demanda béntica de oxígeno disuelto, fotosíntesis y respiración de algas, etc. CEPIS, PAHO, OPS, Saneamiento, Ingeniería Sanitaria. Estrategias alternativas de control para descargas de desechos. Manual de Evaluación y Manejo de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales.

www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/publica/desprona/descap75.html.

impactos potenciales de los instrumentos regulatorios para la toma de decisiones gubernamentales, fomentando que éstos sean más transparentes y racionales. La MIR de alto impacto con análisis de riesgos se presenta cuando los anteproyectos elaborados por las dependencias u organismos descentralizados generan costos de cumplimiento para los particulares y no son de emergencia o de actualización periódica, cual es el caso del anteproyecto de la Norma NOM-001-SEMARNAT-1996.

2. OBJETIVOS

Determinar los costos y beneficios derivados de la adopción del anteproyecto de modificación a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

3. ANTECEDENTES DE LA NORMA Y SU MARCO JURÍDICO

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su Artículo 4 establece que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la Ley. Asimismo, establece que toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El estado garantizará este derecho y la Ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su Artículo 119, establece la facultad de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales para expedir las normas oficiales mexicanas que se requieran para prevenir y controlar la contaminación de aguas nacionales, asimismo, mediante el Artículo 123 establece que todas las descargas en las redes colectoras, ríos, acuíferos, cuencas cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en terrenos, deberán satisfacer las normas oficiales mexicanas que para tal efecto se expidan, y en su caso, las condiciones particulares de descarga que determine la SEMARNAT o las autoridades locales. Corresponderá a quien genere dichas descargas, realizar el tratamiento previo requerido.

La Ley de Aguas Nacionales, prevé en su Artículo 85 que las personas físicas o morales, incluyendo las dependencias, organismos y entidades de los tres órdenes de gobierno, que exploten, usen o aprovechen aguas nacionales en cualquier uso o actividad, serán responsables en los términos de Ley de: realizar las medidas necesarias para prevenir su

contaminación y, en su caso, para reintegrar las aguas referidas en condiciones adecuadas, a fin de permitir su explotación, uso o aprovechamiento posterior, y mantener el equilibrio de los ecosistemas vitales.

En consecuencia, establece en su Artículo 88 BIS fracción II que las personas físicas o morales, incluyendo las dependencias, organismos y entidades de los tres órdenes de gobierno, deben tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores, cuando sea necesario para cumplir con lo dispuesto en el permiso de descarga correspondiente y en las Normas Oficiales Mexicanas.

El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, en la Meta Nacional México Próspero, objetivo 4.4. “Impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente y facilitador que preserve nuestro patrimonio natural al mismo tiempo que genere riqueza, competitividad y empleo”, en la estrategia 4.4.2 “Implementar un manejo sustentable del agua, haciendo posible que todos los mexicanos tengan acceso a ese recurso”, señala como líneas de acción: Asegurar agua suficiente y de calidad adecuada para garantizar el consumo humano y la seguridad alimentaria; Sanear las aguas residuales con un enfoque integral de cuenca que incorpore a los ecosistemas costeros y marinos, así como; Fortalecer el marco jurídico para el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

El programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018, reconoce que gran parte del territorio mexicano es vulnerable al estrés hídrico, situación que podría agravarse por el cambio climático, y que dada la importancia de este recurso para las actividades humanas, así como para mantener la integridad de los ecosistemas (fuente de los bienes y servicios ambientales de los cuales dependemos), el manejo adecuado del agua es un tema capital para el país, señalando que el no emprender acciones para solucionar los problemas de disponibilidad y calidad del recurso hídrico, se traducirá en el corto y mediano plazo, en un freno para el desarrollo económico y el bienestar de la sociedad mexicana. Razón por la que se estableció el Objetivo 3 “Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua, garantizando su acceso a la población y a los ecosistemas”, cuya estrategia 3.2, consiste en fortalecer el abastecimiento de agua y acceso a servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, así como para la agricultura y cuyas líneas de acción

3.2.6 y 3.2.7 son: revisar el marco jurídico para el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento y vigilar el cumplimiento de los términos de las condiciones particulares de descarga y la normatividad aplicable.

El Programa Nacional Hídrico 2014-2018, establece el objetivo 1 “Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua”, cuya estrategia 1.4 es mejorar la calidad del agua en cuencas y acuíferos, entre otras acciones mediante la línea de acción 1.4.7 que refiere a la modificación a la normatividad sobre descargas de aguas residuales para contribuir a un marco de sustentabilidad de la calidad del agua.

El 6 de enero de 1997, fue publicada en el Diario Oficial de la Federación, la Norma Oficial Mexicana “NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”, misma que cambió de nomenclatura de conformidad con el “ACUERDO por el cual se reforma la nomenclatura de las normas oficiales mexicanas expedidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como la ratificación de las mismas para su revisión quinquenal”, que fue publicado el 23 de abril de 2003 en el Diario Oficial de la Federación, para quedar como “NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 sustituyó a 44 Normas Oficiales Mexicanas (NOM's) que establecían límites máximos permisibles de contaminantes por giros industriales. A partir de su publicación se contempló un proceso de cumplimiento gradual y progresivo. En los primeros cinco años no se modificó, para dar oportunidad a los agentes regulados de continuar con los esfuerzos para cumplir con la Norma.

Se ha identificado la necesidad de modificar la Norma a fin de adecuar los parámetros y los límites máximos permisibles para que caractericen mejor a la contaminación en las descargas de aguas residuales, en virtud de que han quedado rezagados frente a las necesidades de protección de los cuerpos de agua del país, respecto a normas

internacionales, a las demandas señaladas en acuerdos internacionales y frente a otros ordenamientos nacionales como son la Ley Federal de Derechos y las Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Agua.

Para la emisión del Proyecto de modificación a la NOM-001-SEMARNAT-1996, se requiere la elaboración de la MIR. La MIR es una herramienta de política pública que tiene por objeto garantizar que los beneficios de las regulaciones sean superiores a sus costos. La MIR permite analizar sistemáticamente los impactos potenciales de los instrumentos regulatorios para la toma de decisiones gubernamentales, fomentando que éstos sean más transparentes y racionales.

El presente estudio permitirá analizar a la SEMARNAT sistemáticamente los impactos potenciales sobre la competencia en los mercados, ya sea restringiendo o promoviendo cambios específicos en las condiciones de mercado sobre la intensidad de la competencia, la eficiencia económica y el bienestar del consumidor, los costos y beneficios asociados a la modificación a la NOM-001-SEMARNAT-1996, a fin de garantizar que los beneficios de las regulaciones sean superiores a sus costos de cumplimiento.

4. ALCANCES

Para determinar los costos y beneficios derivados del anteproyecto de modificación a la NOM-001-SEMARNAT-1996, se consideraron los procesos de tratamiento tanto de la corriente líquida, como de los subproductos sólidos, resultantes de los sistemas de tratamiento requeridos para el cumplimiento de los límites máximos permisibles estipulados, así como sus costos en función de:

- La aplicación de límites máximos permisibles más estrictos en el anteproyecto de la modificación a la NOM-001-SEMARNAT-1996 que en la NOM-001-SEMARNAT-1996 vigente.
- La aplicación de nuevos parámetros en el anteproyecto de la modificación a la NOM-001-SEMARNAT-1996, tal como: demanda química de oxígeno, carbono orgánico total, *Escherichia coli*, Enterococos fecales, color verdadero y toxicidad aguda.
- La aplicación de los nuevos límites máximos permisibles de Metales Pesados y Cianuros del anteproyecto de la modificación a la NOM-001-SEMARNAT-1996 en la NOM-003-SEMARNAT-1997.
- La aplicación del nuevo límite máximo permisible, de Sólidos Suspendidos Totales y la adición del parámetro de Demanda Química de Oxígeno del anteproyecto de la modificación a la NOM-001-SEMARNAT-1996 en la NOM-002-SEMARNAT-1996.
- El incremento de los lodos a generar, derivados de la aplicación de procesos más eficientes para el tratamiento del agua residual, del anteproyecto de modificación a la NOM-001-SEMARNAT-1996 en la NOM-004-SEMARNAT-2002.
- Además, se consideró el impacto del anteproyecto de modificación a la NOM-001-SEMARNAT-1996, en los responsables de las descargas de aguas residuales:
 - Que vierten agua residual municipal, cruda o tratada, a aguas y bienes

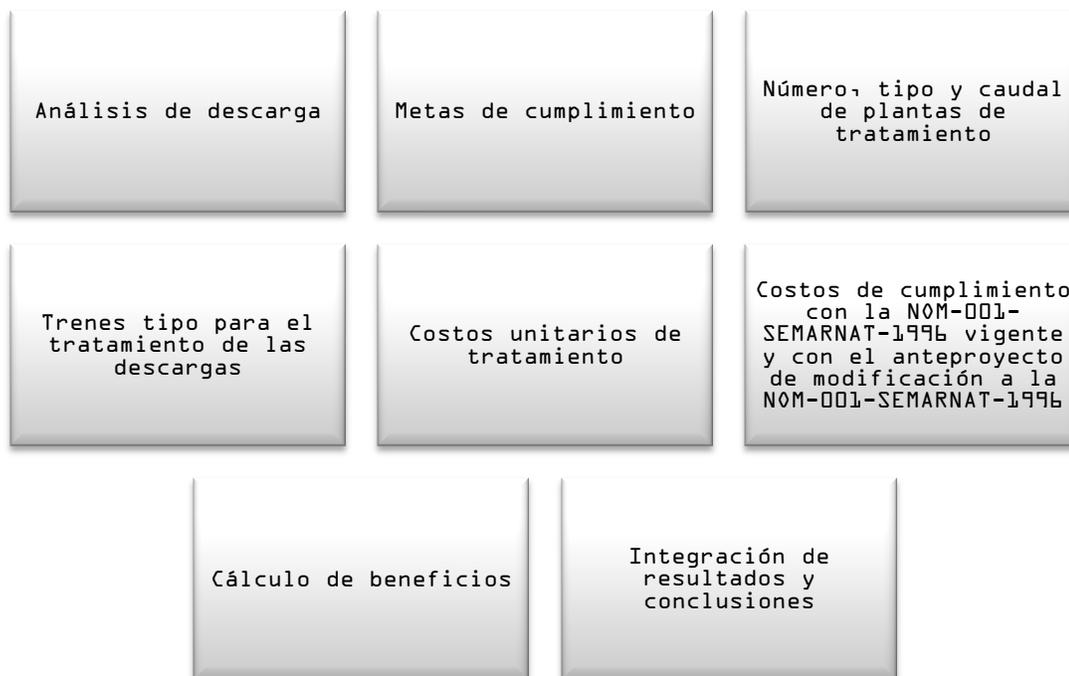
nacionales.

- Que vierten agua residual no municipal, cruda o tratada, a aguas y bienes nacionales.
- Que vierten agua residual no municipal, cruda o tratada, a los sistemas de alcantarillado municipal o urbano.

Se consideró como agua residual no municipal a la generada en los diferentes tipos de industria, o giros, de acuerdo a la clasificación usada en el Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales a cargo de la Gerencia de Calidad del Agua de la Subdirección General Técnica de esta Comisión Nacional del Agua, y a la del Sistema de Clasificación de Descargas de América del Norte (SCIAN).

5. METODOLOGÍA

Se describen las siguientes ocho actividades:



5.1 ANÁLISIS DE DESCARGAS

Los costos de cumplimiento con las modificaciones propuestas a la NOM-001 (NOM-001-1996) fueron calculados a partir de los costos de las plantas de tratamiento requeridas para que la calidad de las descargas de aguas residuales cumpliera con las nuevas normas. Sin embargo, en las condiciones actuales existe un cierto nivel de incumplimiento con las normas vigentes (NOM-001-SEMARNAT-1996), por lo que, para calcular el impacto económico de la modificación de la Norma fue necesario calcular primero el costo de cumplimiento con la Norma actual. La mecánica de cálculo se ilustra con la *Figura 1*, en la que identifica como $\Delta 1$ (Delta 1) el costo de cumplimiento con la Norma actual, como $\Delta 2$ (Delta 2) lo que sería el costo de cumplimiento con la Norma modificada y como $\Delta 3$ (Delta 3) el impacto económico de la modificación de la Norma, igual a $\Delta 2$ menos $\Delta 1$.

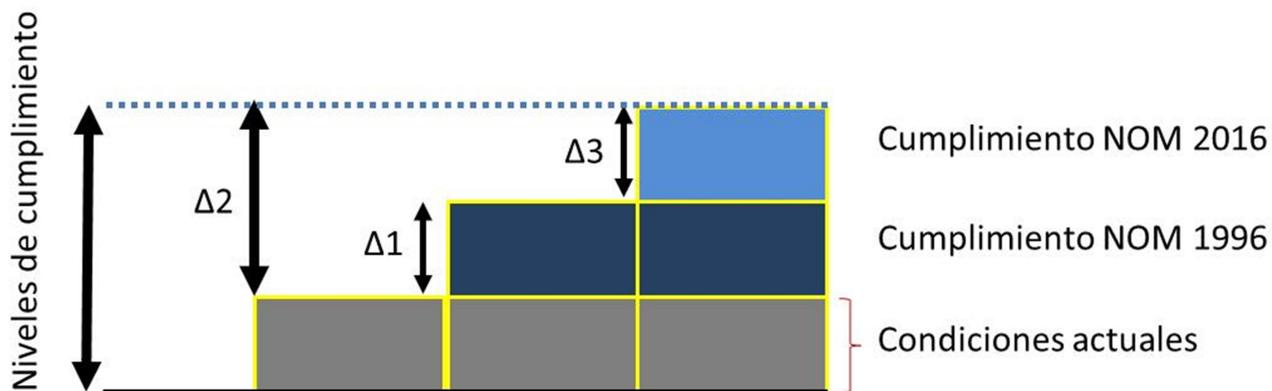


Figura 1. Mecánica de cálculo del costo de cumplimiento con la NOM-001-2016

De conformidad con lo que establece la Ley Federal de Derechos, es obligación de todos los responsables de descargas de aguas residuales a bienes propiedad de la nación el presentar ante la Coordinación General de Recaudación y Fiscalización (CRGyF) de la CONAGUA reportes trimestrales con los datos de caudal y características de las descargas; el número de reportes que deben ser presentados es función del caudal descargado y puede ser de más de uno por trimestre. Los resultados de estos reportes los integra la CONAGUA en un sistema de información conocido como Sistema de Recepción de Análisis de Laboratorio (SIRALAB). Para los fines de cálculo de este informe se utilizaron los datos de caudal y calidad consignados en los cuatro trimestres del año 2015, último período anual disponible a la fecha de elaboración de este informe (noviembre 2016). En los archivos de datos analizados se excluyó, como lo señala la legislación vigente, toda aquella información sobre los generadores de las descargas que está sujeta a la confidencialidad fiscal.

5.1.1 Fuentes de información

Para reunir la información básica, necesaria para la estimación de lo que costará imponer las modificaciones a la NOM 001, se analizaron tres fuentes:

- i. Diagnóstico del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento (CONAGUA, 2015);

- ii. Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) y
- iii. Sistema de Registro y Análisis de Laboratorio (SIRALAB).

En el Diagnóstico del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, la información disponible se presenta de manera general por ámbito estatal y en su total nacional, un ejemplo de esta información se presenta en la *Figura 2* y en la *Tabla 6*. En este documento se abordan aspectos de coberturas de agua potable y alcantarillado (rural y urbana), cantidad y tipo de plantas en operación, capacidad instalada y volumen tratado, tanto para el caso de agua residual municipal, como para la industrial. Es importante mencionar que muchas de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales pueden recibir un aporte importante de la industria que se encuentra dentro de las ciudades, ya que en muchas no se presenta la separación de drenajes.



Figura 2. Caudal de agua residual municipal generada y colectada (m³/s)

Fuente: Conagua/SGAPDS Gráfica I.5. Diagnóstico del Subsector de Agua Potable,...

En síntesis, para el subsector denominado Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, la publicación de 2015 indica que en 2014 se generó un volumen de 228.7 m³/s de aguas residuales, de este volumen se colectaron 211 m³/s, se trataron 111.3 m³/s, de los cuales se reutilizan 91.2 m³/s, *Tabla 1*.

Tabla 1. Caudal nacional de agua residual municipal generada, colectada y tratada

Agua residual municipal volumen	m ³ /s	Proporción respecto al volumen generado
Generado	228.7	
Colectado	211.0	0.92
Tratado	111.3	0.49
Reutilizado	91.2	0.40

Fuente: CONAGUA, 2015, Diagnóstico del Subsector de Agua Potable,...

El Diagnóstico del Subsector reportó la existencia de 2,337 PTAR municipales, que en total tienen una capacidad para tratar de 151,883 L/s, pero en 2015 solamente trataron 111,254 L/s, equivalentes a operar al 73% de su capacidad. Aunque la información se complementa con el tipo de PTAR, no informa sobre la calidad del influente y del efluente, datos clave para estimar el costo de tratamiento.

Para el caso de la industria, en 2015 este documento reporta la existencia, de 2,853 PTAR, de las cuales 21 están sin operar; con una capacidad instalada de 87,636 L/s y 70,501 L/s en operación, *Tabla 2*. Esta información se complementa con la cantidad de plantas cuyo proceso es tratamiento: primario, secundario, terciario y no especificado. No se reporta la calidad del influjo como de la descarga.

En el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) se consignan los permisos de descarga expedido por la CONAGUA. De acuerdo a lo señalado en el artículo 88 de las Ley de Aguas Nacionales (LAN) las personas físicas y morales (distintas al uso doméstico) que descarguen aguas residuales en cuerpos de aguas nacionales requieren un permiso de descarga. Esta disposición obliga a presentar una memoria con las condiciones y especificaciones técnicas, que fundamente e indique la manera como se cumplirán las normas. Quedan exentas de la obligación de entregar la memoria técnica tanto a las poblaciones con menos de 2,500 habitantes como a las empresas que en su proceso o actividad productiva no utilicen como materia prima sustancias tales como metales pesados, cianuros u órgano-toxicas y cuyo volumen de descarga no exceda los 300 m³/día.

El REPDA maneja información de tipo administrativo, *Tabla 3*, en cuanto a volúmenes concesionados y las “Condiciones Particulares de Descarga”, entendidas estas como el

conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por “la Comisión” o por el Organismo de Cuenca que corresponda y para cada usuario, para un determinado uso o grupo de usuarios de un cuerpo receptor específico con el fin de conservar y controlar la calidad de las aguas.

Los permisos de descarga que se inscriben en el REPDA, indican el volumen máximo autorizado a verter por año en cuerpos de aguas nacionales, pero no representan una medición de los volúmenes de descarga realmente efectuados, ni los usuarios están obligados a llegar a ese volumen máximo; la obligación es no rebasar en la descarga el límite permitido de contaminantes. El monto del derecho se calcula por m³ descargado y con las condiciones particulares de las descargas controladas mediante muestreos periódicos cuyos resultados se concentran en el SIRALAB, razón por la cual la información del SIRALAB se considera como un marco de referencia mucho más confiable que el REPDA, ya que establece información precisa sobre características volumen y de la calidad de las descargas efectivamente realizadas a diferencia de las legalmente autorizadas como máximo y que se consignan en los permisos de descarga inscritos en el REPDA.

Tabla 2. Información de PTAR Industriales existente en la publicación Diagnóstico del Subsector de Agua Potable... 2016

CUADRO 3.16. Plantas de tratamiento de aguas residuales de origen industrial por entidad federativa y por proceso, 2015

Entidad federativa	N° de plantas			Capacidad		Tipo de tratamiento y caudal tratado							
	Total	Sin operar	En operación	Instalada (l/s)	En operación (l/s)	Primario		Secundario		Terciario		No especificado	
						N°	Caudal (l/s)	N°	Caudal (l/s)	N°	Caudal (l/s)	N°	Caudal (l/s)
Aguascalientes	76	2	74	373	176	16	14	49	150	1	0	8	13
Baja California	71	0	71	613	608	30	378	40	230	1	0	0	0
Baja California Sur	27	1	26	4 962	4 962	16	4 640	10	321	0	0	0	0
Campeche	134	0	134	2 891	2 882	52	1 617	81	1 265	1	1	0	0
Chiapas	99	6	93	8 385	5 258	17	1 219	75	4 037	1	2	0	0
Chihuahua	16	1	15	655	283	6	41	9	242	0	0	0	0
Ciudad de México	7	0	7	8	5	2	0	3	1	2	4	0	0
Coahuila de Zaragoza	62	0	62	797	534	27	80	33	446	2	8	0	0
Colima	13	0	13	441	292	4	243	4	6	0	0	5	43
Durango	42	1	41	1 077	621	6	122	31	487	4	13	0	0
Guanajuato	139	0	139	803	733	42	98	94	591	3	44	0	0
Guerrero	8	1	7	30	19	0	0	7	19	0	0	0	0
Hidalgo	46	0	46	1 841	1 377	4	11	37	1 050	5	316	0	0
Jalisco	93	0	93	1 838	1 734	18	12	29	255	0	0	46	1 467
México	262	0	262	3 072	2 200	105	319	141	1 796	12	84	4	1
Michoacán de Ocampo	104	0	104	5 683	5 240	35	1 535	49	534	0	0	20	3 171
Morelos	99	2	97	2 127	2 094	5	222	20	1 213	0	0	72	660
Nayarit	16	0	16	803	803	2	156	7	13	0	0	7	635
Nuevo León	187	0	187	4 092	2 957	94	614	81	2 307	11	36	1	0
Oaxaca	19	0	19	5 701	5 382	11	619	8	4 763	0	0	0	0
Puebla	216	0	216	936	759	96	287	114	457	2	2	4	12
Querétaro de Arteaga	156	0	156	1 246	662	30	89	118	547	5	25	3	1
Quintana Roo	4	0	4	60	55	1	0	3	55	0	0	0	0
San Luis Potosí	65	2	63	987	592	24	351	30	143	9	98	0	0
Sinaloa	97	1	96	8 370	5 066	20	4 158	75	906	1	2	0	0
Sonora	236	0	236	6 463	6 260	13	142	223	6 117	0	0	0	0
Tabasco	118	0	118	934	919	92	563	11	303	14	53	1	0
Tamaulipas	110	1	109	8 468	7 879	35	3 542	72	4 192	2	146	0	0
Tlaxcala	73	1	72	703	372	35	167	33	201	2	4	2	0
Veracruz	156	0	156	12 751	9 404	63	6 383	86	2 391	7	630	0	0
Yucatán	81	1	80	327	206	12	27	67	162	0	0	1	17
Zacatecas	21	1	20	199	168	0	0	20	168	0	0	0	0
Total nacional	2 853	21	2 832	87 636	70 501	913	27 649	1 660	35 366	85	1 466	174	6 020

Fuente: CONAGUA/SGT/Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua

Tabla 3. Información del REPDA

Títulos y volúmenes de aguas nacionales y bienes inherentes por uso de agua, nacional

USO	Aguas nacionales							Descargas de aguas residuales		
	Aguas superficiales			Aguas subterráneas			Volumen total	Títulos	Anexos	Volumen de descarga concesionado m ³ /año
	Títulos	Anexos	Volumen de extracción concesionado m ³ /año	Títulos	Anexos	Volumen de extracción concesionado m ³ /año				
AGRÍCOLA	31,253	35,592	37,492,800,041	141,014	176,753	20,326,670,036	57,819,470,077	291	307	7,313,480
AGROINDUSTRIAL	13	14	750,397	58	63	3,056,288	3,806,685	23	25	903,747
DOMÉSTICO	1,485	1,537	13,540,641	13,948	14,115	24,300,770	37,841,411	184	236	13,590,350
ACUACULTURA	726	875	1,101,549,250	304	335	52,550,419	1,154,099,668	509	633	4,561,164,572
SERVICIOS	650	751	544,385,555	6,694	8,395	1,009,317,167	1,553,702,722	7,478	11,473	1,490,080,320
INDUSTRIAL	486	536	4,432,126,367	5,222	7,305	1,613,880,623	6,046,006,990	2,811	4,162	11,581,954,286
PECUARIO	14,827	16,212	62,852,796	21,211	23,358	151,270,600	214,123,396	1,185	1,578	20,800,069
PÚBLICO URBANO	66,850	81,330	5,220,237,115	56,012	110,889	7,333,354,812	12,553,591,927	3,848	9,865	4,508,894,749
MÚLTIPLES	6,530	9,301	2,401,164,172	38,660	47,098	3,434,721,278	5,835,885,450	999	1,850	4,630,603,938
GEN. DE ENERGÍA ELÉCTRICA	129	140	183,393,891,441	3	6	273,600	183,394,165,041	2	2	1,442,820,000
COMERCIO	0	0	0	2	2	80,000	80,000	0	0	0
OTROS	1	1	300,000	3	3	289,416	589,416	1	1	3,707,904
CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	1	1	9,460,800	0	0	0	9,460,800	0	0	0
Totales	<i>122,951</i>	<i>146,290</i>	<i>234,673,058,573</i>	<i>283,131</i>	<i>388,322</i>	<i>33,949,765,008</i>	<i>268,622,823,580</i>	<i>17,331</i>	<i>30,132</i>	<i>28,261,833,415</i>

Fuente: REPDA 2016

La información del SIRALAB, obtenida en archivos con registro mensual del 2015. Estos archivos contienen 1,041,052 registros, concernientes a usuarios de 8,025 títulos (se consideran 2,419 anexos diferentes), que a su vez autorizan 51,996 descargas. Se aclara que se incluyeron 718 casos con título en trámite, los cuales fueron clasificados considerando al titular según el grupo al que corresponden, *Tabla 4*.

El SIRALAB contiene la información de laboratorio reportada ante la CONAGUA, incluye los caudales medidos y los parámetros de calidad asociados al permiso de descarga de cada usuario. Esta información es indispensable para estimar el costo de tratamiento de las descargas para cumplir con los parámetros determinados por la normatividad. Para utilizar esta información fue necesario hacer su depuración, para lo cual no se consideró la información con campo de parámetro en blanco, ni se consideraron las muestras simples al tener muestras compuestas. Asimismo, para caudales municipales no se tomaron en cuenta las descargas con un gasto menor a 5 l/s, tanto que para las descargas no municipales se eliminaron aquellas con un gasto menor de 1 l/s

Tabla 4. Información depurada del SIRALAB y datos seleccionados para procesar

Uso	Gpo.	Títulos considerando anexos diferentes		Registros seleccionados		
		Cantidad	Caudal l/s	Mayores a	Cantidad	Caudal l/s
Municipal	G0	639	87,160	> 5 l/s	459	86,859
Servicios	G1	4,191	84,659	> 1 l/s	1,114	83,784
Industria biodegradable	G2	1,426	43,153	> 1 l/s	726	42,972
Industria biodegradable no	G3	1,572	30,655	> 1 l/s	504	30,338
Generación de Energía Eléctrica.	G1E	186	757,078	> 1 l/s	105	757,049
Grupo no identificado		11	3			
Total		8,025	1,002,708		2,907	1,001,002

La comparación de la información general para cada fuente se presenta en la *Tabla 5*, y contiene la información ya procesada, depurada y reclasificada, para ser utilizada en la estimación de los costos de tratamiento. En la *Tabla 5* se confirman las diferencias entre la información del REPDA y del Diagnóstico del Subsector.

De manera puntual se observa, para el caso de las descargas público urbanas (Municipales) reportadas en el REPDA la existencia de 3,848 concesiones con permiso para descargar anualmente 4,509 millones de m³ (143 m³/s), mientras que en el Diagnóstico del Subsector solamente se reportaron 2,337 PTAR, las cuales trataron anualmente 3,510 millones m³ (111 m³/s) en 2015. En este contexto, falta incluir toda aquella agua residual que no fue colectada y/o tratada.

Tabla 5. Comparación entre fuentes de información

Grupo	SIRALAB*		REPDA		Situación del subsector		
	Descargas	m ³ /s	Descargas	m ³ /s	Descargas	Cap. Inst. m ³ /s	Cap. Util. m ³ /s
G0	497	80	3,848	143	2,337	152	111
G1	3,456	34	7,478	47			
G2+G3	2,606	56	2,811	367	2,853	88	71
G1E	232	388	2	46			
TOTAL	6,791	558	14,139	603	5,190	240	182

Los resultados comparables de la *Tabla 5* son los volúmenes del SIRALAB con los registros del REPDA, el cual representa el 93% de estos últimos.

La información del subsector no está lo suficientemente disgregada y maneja datos muy generales, por lo que no resulta útil para la estimación de costos de tratamiento y resulta comparable sólo para los casos del servicio municipal y las descargas industriales.

En el primer caso, el caudal reportado como utilizado en la Situación del Subsector es 39% mayor al del SIRALAB. Para el caso de la industria es un 27% entre estas fuentes de información. Es importante señalar que la suma de caudales del uso industrial incluido el destinado al sector energético es de 444 m³/s para el SIRALAB y de 413 m³/s para el REPDA, una diferencia del orden de 8%, lo cual hace pensar que las discrepancias en el volumen industrial indicado en el REPDA es debido a la clasificación aplicada al registrarla.

Para los cuatro trimestres del año 2015 el SIRALAB consigna los resultados de 37,407 reportes de laboratorio con caudales y características de calidad de las descargas. Para algunas descargas existen sólo cuatro reportes por año, para otras más de cuatro; integrando los reportes de laboratorio para cada

descarga, se identificaron 6,791 descargas. Los caudales descargados y las cargas contaminantes del total de las descargas se presentan en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Caudales y cargas de contaminantes en las descargas de aguas residuales (contaminantes básicos)

No. de descargas 6,791
Caudal total 558 m³/s

Parámetro	Concentración media	Masa descargada
	mg/l	t/día
SST	34	1,631
DQO	99	4,769
N	8	388
P	1	48

Parámetro	No. de Descargas	Q _{medio} l/s	Q _{total} l/s	Conc. Media mg/l	Masa kg/día
Arsénico	21	11	228	0.43	8.5
Cadmio	33	12	382	0.26	8.5
Cianuros	9	8	74	2.2	14.4
Cobre	7	8	58	13.3	67.3
Cromo	10	7	69	1.05	6.2
Mercurio	38	17	648	0.106	5.9
Níquel	6	18	106	4.6	42.4
Plomo	57	14	811	0.4	26.4
Zinc	6	33	200	15.4	265.3
Sumas	186	14	2,575		

5.1.2 CLASIFICACIÓN DE DESCARGAS POR SU ORIGEN

Las descargas identificadas fueron desagregadas en:

- (a) descargas provenientes de redes municipales de alcantarillado y,
- (b) descargas industriales; a su vez las descargas industriales fueron desagregadas en descargas de comercios y servicios, descargas industriales con contaminantes preponderantemente biodegradables y descargas industriales con una componente importante de contaminantes no biodegradables.

Un grupo especial de descargas fue el de las descargas provenientes de actividades relacionadas con la generación de energía, pues manejan grandes volúmenes de agua, normalmente con un incremento de

temperatura, pero con poca contaminación biológica u orgánica, excepto las pequeñas descargas de talleres y servicios. En la *Tabla 7* se muestra las cinco categorías en que fueron agrupadas las descargas de acuerdo con la actividad generadora de las aguas residuales.

Tabla 7. Criterio de categorización de descargas

Grupo	Actividad generadora de las aguas residuales
G0	Descargas provenientes de redes municipales de alcantarillado
G1E	Descargas provenientes de actividades relacionadas con la generación de energía
G1	Descargas de comercios y servicios
G2	Descargas industriales con materia orgánica preponderantemente biodegradable
G3	Descargas industriales con una componente significativa de materia orgánica no biodegradable

Para la categorización de las descargas se utilizó el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIÁN). Las claves SCIÁN empleadas en la categorización de las descargas son las que se muestran en la *Tabla 8*.

Tabla 8. Claves SCIÁN de grupos de descargas

Grupo	SCIÁN		Descripción
	Sector	Subsector	
G0			Descargas municipales
G1E	22		Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final
		221	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica Excepto 221120
G1	22		Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final
		222	Suministro de agua y suministro de gas por ductos al consumidor final
	23		Construcción
	32		Industrias manufactureras
		323	Impresión e industrias conexas
	43 a 93		Comercio, transportes, correos y almacenamiento, información en medios masivos, servicios financieros y de seguros, servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles, servicios profesionales, científicos y técnicos, corporativos, servicios de apoyo a los negocios, servicios educativos, de salud y de asistencia social, esparcimiento culturales y deportivos, servicios recreativos, de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas, otros servicios, actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales, comercio al por mayor y al por menor. excepto 562
G2	11		Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca, caza y captura, servicios relacionados con las actividades agropecuarias y forestales
	31-33		Industrias manufactureras
		311, 312	Industria alimentaria, bebidas y tabaco
		321, 322	Industria de la madera y papel ⁽¹⁾

Grupo	SCIAN		Descripción
	Sector	Subsector	
G3	31-33		Industrias manufactureras
		316	Curtido y acabado de cuero y piel, y fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos
		324 a 339	Fabricación de: productos derivados del petróleo y del carbón, industria química, industria del plástico y del hule, fabricación de productos a base de minerales no metálicos, industrias metálicas básicas, fabricación de productos metálicos, de maquinaria y equipo, de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos, de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica, de equipo de transporte, de muebles, colchones y persianas, otras industrias manufactureras
	56		Servicios de apoyo a los negocios y manejo de residuos y desechos, y servicios de remediación
		562	Manejo de residuos y desechos de servicios de remediación

Fuente: Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2013 (SCIAN 2013); INEGI.

⁽¹⁾.- Debería estar en G3

La Figura 3 ilustra cómo se concentran los caudales entre el número de descargas por cada grupo, no se incluye el grupo G1E, generación de energía, que es analizado por separado en una sección posterior de este informe. Como puede observarse en esta figura, el sector municipal acumula los mayores caudales en un número relativamente bajo de descargas, en cambio el sector de comercios y servicios (hoteles, restaurantes, centros recreativos, oficinas, etcétera) se distingue por un gran número de descargas con un gasto medio por descarga proporcionalmente más bajo.

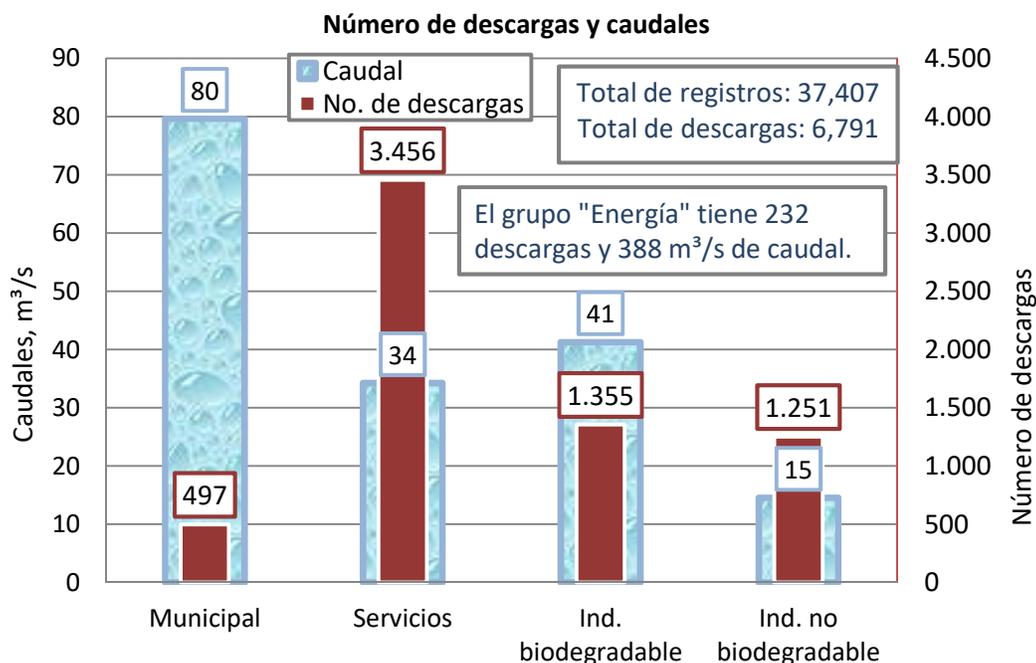


Figura 3. Descargas y caudales por sector

Cabe mencionar que en los registros de SIRALAB hay algunas aparentes omisiones, v.g. las descargas del Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM) como son las de Atotonilco, de cerca de 30 m³/s y de Tequixquiac con cerca de 20 m³/s y que un caudal importante de las aguas residuales es reusado (como los 7 u 8 m³/s de aguas residuales que se reúsan con fines municipales en el AMCM), por lo que no descargan en bienes propiedad de la nación y no se muestran en los reportes del SIRALAB. Hechas estas aclaraciones, se puede afirmar que los datos del SIRALAB reflejan fielmente la situación de las descargas de aguas residuales a bienes propiedad de la nación y que están sujetas a la aplicación de las NOM-001 y que estos datos son la mejor base de información para el cálculo de los costos de implementación de las modificaciones propuestas a la NOM.

Descargas del sector de generación de energía

El sector de generación de energía (grupo G1E) se caracteriza por tener un número relativamente limitado de descargas con grandes caudales, seguramente provenientes de torres de enfriamiento, con concentraciones muy bajas de contaminantes orgánicos y otras descargas con gastos medios muy pequeños con altas concentraciones de contaminantes, provenientes probablemente de agua de talleres y de lubricación de motores. En la *Tabla 9* se muestran las características principales de las descargas del grupo G1E en función de su gasto medio.

Tabla 9. Caudales y contaminantes en sector de generación de energía

Rango de gasto medio de descargas		Número	Q medio	Q total	SST	DQO
			l/s	m ³ /s	mg/l	mg/l
Chicas	0 a 1 l/s	131	0.3	0.04	12	694
Grandes	> 1 a 1,000 l/s	82	69.6	5.7	26	100
Muy grandes	> 1,000 l/s	19	20,110	382.1	26	63
Sumas y promedios		232	1,672	387.8	26	64

Como se puede observar en la *Tabla 9* sólo 0.04 m³/s de los 387.8 m³/s del caudal descargado en este sector exceden las normas de concentración de contaminantes y este caudal, relativamente pequeño, está distribuido en 131 descargas con un gasto medio menor a 0.3 l/s. De lo anterior se concluye que, para fines de este apartado, las únicas descargas que requieren tratamiento tienen un gasto medio tan pequeño que el control más económico de contaminantes en las descargas debe ser, no con plantas

externas de tratamiento, sino con labores internas de manejo de grasas, aceites y otras fuentes puntuales de contaminación.

5.1.3 Contaminantes básicos

En este rubro se analizarán las descargas y las cargas generadas por sólidos suspendidos totales (SST), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y nutrientes (nitrógeno y fósforo). De acuerdo con la clasificación anterior, el análisis de caudales y características medias de las descargas de cada uno de los cinco grupos de descargas arroja los resultados que se muestran en la *Tabla 10* y *Tabla 11*.

Tabla 10. Caudales y cargas de SST y DQO por grupo de descargas

Grupo		No. de descargas	Caudal total m ³ /s	Concentración media del caudal total		Masas de contaminantes	
				SST	DQO	SST	DQO
				mg/l	mg/l	t/día	t/día
G0	Municipal	497	80	52	151	359	1,039
G1	Servicios	3,456	34	24	86	71	253
G2	Industrial biodegradable	1,355	41	83	324	295	1,154
G3	Ind. no biodegradable	1,251	15	26	151	33	190
Sumas / promedios		6,559	170	52	180	758	2,636
G1E	Gen. de energía	232	388	26	64	873	2,133
Suma total / promedios		6,791	558	34	99	1,631	4,769

Tabla 11. Caudales y cargas de N y P por grupo de descargas

Grupo		No. de descargas (*)	Caudal total m ³ /s	Concentración media del caudal total		Masas de contaminantes	
				N	P	N	P
				mg/l	mg/l	t/día	t/día
G0	Municipal	571	84	21	3.2	151	23
G1	Servicios	3,229	34	6	1.3	18	4
G2	Industrial biodegradable	1,325	49	17	1.4	71	6
G3	Ind. no biodegradable	1,302	24	58	1.2	121	3
Sumas / promedios		6,427	191	22	2.1	361	35
G1E	Gen. de energía	225	367	0.9	0.4	28	12
Suma total / promedios		6,652	559	8.0	1.0	388	48

*.- Excluye descargas que no reportan N y P

5.1.4 Metales pesados y cianuros

En cuanto a los metales pesados y cianuros se refiere, se consideró que los sistemas convencionales de tratamiento para el control de concentraciones de los cinco parámetros básicos, remueven, aún si no es ese el principal objetivo del tratamiento, una parte de los metales pesados y el cianuro, principalmente por adhesión a los flocos biológicos.

En general, las descargas que exceden los límites máximos permisibles de metales pesados y cianuros exceden también alguno de los cinco parámetros básicos y estarán sujetas a un tratamiento convencional donde es previsible que se removerá hasta un 20% de los metales pesados y cianuros, razón por la cual sólo requerirán un tratamiento adicional aquellas descargas cuyas concentraciones de metales pesados y cianuros excedan en 20% los límites máximos permisibles. Bajo esta suposición, se calcularon tanto los caudales de descargas que exceden la Norma y como los que exceden la Norma por más de 20%. Los resultados se muestran en la *Tabla 12*.

Tabla 12. Descargas que requieren tratamiento por actividad generadora de la descarga

Grupo	Incumplen con la Norma			Exceden los LMP en más de 20%		
	No de Descargas	Q medio l/s	Q total l/s	No. De Descargas	Q medio l/s	Q total l/s
G0	4	43	149	3	49	122
G1	21	11	226	18	5	83
G2	46	10	476	40	11	439
G3	51	22	1,117	39	25	948
G1 E	5	10	45	3	12	30
Sumas	127	16	2,014	101	16	1,622

LMP = límites máximos permisibles

Como se puede observar en la *Tabla 12*, el caudal total de las descargas que exceden la Norma es 2.01 m³/s y el caudal de las descargas cuya concentración excede la Norma por más de 20 % es 1.62 m³/s. Como es lógico, el mayor caudal de aguas residuales con contaminación por metales pesados y cianuros corresponde a la industria de transformación que contiene un componente significativo de materia orgánica no biodegradable, seguido de la industria con descargas biodegradables. Para los fines de estimación de costos de cumplimiento se empleó el criterio más conservador de 2.01 m³/s.

5.1.5 Temperatura

La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece un límite máximo permisible para la temperatura (valor instantáneo) de 40°C. Este límite no aplica para *Uso en riego agrícola (A)* en Ríos ni para descargas en *Uso de riego agrícola (A)* en Suelo (Tabla 13).

Tabla 13. Límites permisibles de temperatura en la NOM-001-1996

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
PARÁMETROS	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS				SUELO					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso Público Urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)	
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40

En lo que corresponde a la NOM-2016, el LMP varía de acuerdo con el tipo de cuerpo receptor, siendo de 35°C para cuerpos receptores en general, exceptuando zonas marinas mexicanas y estuarios.

Los datos de temperatura de las 2,375 descargas, con un caudal total de 168.4 m³/s, reportadas en el SIRALAB 2015 fueron analizados para revisar su cumplimiento con las normas de temperatura y en función del cuerpo receptor, con los resultados que se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Descargas en incumplimiento con temperatura

Grupo	Δ1 Incumplen con NOM-1996			Δ3 Diferencia entre Δ2 y Δ1			Δ2 Incumplen con NOM-2016		
	Nº	Q _{total} l/s	Q _{medio} l/s	Nº	Q _{total} l/s	Q _{medio} l/s	Nº	Q _{total} l/s	Q _{medio} l/s
G0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G1	2	6.7	3.3	5	131.1	16.4	7	137.8	19.7
G2	-	-	-	38	495.2	13.0	38	495.2	13.0
G3	-	-	-	5	103.2	20.6	5	103.2	20.6
Sumas	2	6.7	3.3	48	729.5	50	50	736.2	53.4
G1E	-	-	-	6	13.3	2.2	6	13.3	2.2
Total	2	6.7	3.3	54	742.8	52.2	56	749.5	55.6

En lo que corresponde a la NOM-1996, dos descargas rebasan el LMP para cuerpo receptor tipo (ríos B), sin rebasar 41°C, con caudales promedio menores a 5 l/s. Para la NOM-2016, no se registran descargas con una temperatura igual o mayor a 40°C que se descarguen a zonas marinas y estuarios.

Para cuerpos receptores terrestres, se contabilizan 56 descargas, con temperaturas que van de 35°C a 71.81°C, y caudales de 1.7 a 71.0 l/s.

Como se muestra en la *Tabla 14*, los incumplimientos observados se presentan en un número muy bajo de descargas y con caudales muy pequeños. Del análisis del SIRALAB se detecta que 64% son menores a 10 l/s, 19.6% entre 12 y 30 l/s, 12.5% entre 30 y 50 l/s y solamente 3.6% con un caudal mayor de 70 l/s.

Además, el 75% de los incumplimientos observados son menores de 5°C por encima de los límites permisibles, con caudales que van de 1.7 a 71 l/s; 16% de las descargas con temperaturas entre 40 y 50°C, con caudales de 2.5 a 37 l/s; y 9% con temperaturas que rebasan 50°C, estas últimas con caudales de 2.3 a 15.9 l/s.

Para la NOM-2016, en el sector municipal no se detectaron incumplimientos, en el sector de servicios los incumplimientos fueron de unos pocos balnearios y hoteles, en el G2 los incumplimientos se detectaron en algunos ingenios azucareros y algunas plantas de procesado de alimentos, en el G3 incumplimiento de 2 a 4 °C por encima de la Norma en algunas plantas químicas y de petroquímica básica y en el grupo G1E incumplimientos de 2 a 3 °C en algunas descargas con gastos medios de 2 l/s de plantas termoeléctricas.

5.1.6 pH

La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece que el rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades para cualquier cuerpo receptor. La NOM-001-SEMARNAT-2016 indica que el intervalo del pH es de 6.5 a 8.5.

Los datos de pH de las descargas reportadas en el SIRALAB 2015 fueron analizados para revisar su cumplimiento. Los resultados se presentan en la *Tabla 15*. Asimismo, se detectaron 83 descargas sin la

información necesaria, ya que reportaba un pH = 0 o sin datos. De manera general, el nivel de incumplimiento del pH para ambas normas se presenta en la *Tabla 16*.

Tabla 15. Descargas en incumplimiento con pH

Grupo	$\Delta 1$ Incumplen con NOM-1996			$\Delta 3$ Diferencia entre $\Delta 2$ y $\Delta 1$			$\Delta 2$ Incumplen con NOM-2016		
	N°	Q _{total} l/s	Q _{medio} l/s	N°	Q _{total} l/s	Q _{medio} l/s	N°	Q _{total} l/s	Q _{medio} l/s
G0	6	389	65	99	17,339	104	105	17,728	169
G1	19	194	10	249	8,971	24	268	9,165	34
G2	13	125	10	172	22,239	111	185	22,364	121
G3	13	185	14	207	12,789	45	220	12,974	59
Suma	51	893		727	61,338		778	62,231	
G1E	3	43	14	36	132,997	3,397	39	133,040	3,411
Total	54	936		763	194,335		817	195,271	

Grupo	N° descargas totales
G0	134
G1	301
G2	198
G3	243
G1E	45
Total	921

Tabla 16. Resumen general del pH

NOM-1996				NOM-2016			
	Q, l/s	N° descargas	%		Q, l/s	N° descargas	%
5 > pH < 10	936	54	5.9	6.5 > pH < 8.5	195,215	817	88.7
5 ≤ pH ≤ 10	207,818	867	94.1	6.5 ≤ pH ≤ 8.5	13,539	104	11.3
TOTAL	208,754	921	100	TOTAL	208,754	921	

Bajo las condiciones actuales, NOM-1996, el 94% de las descargas cumplen con la normatividad. Con las condiciones de la propuesta de Norma, NOM-2016, solamente 104 del total descargas están en el intervalo (11%), esto para descargas municipales con gasto mayor de 5 l/s, y para los otros grupos con gasto mayor de 1 l/s. De manera más específica, en la *Tabla 17* se presenta el porcentaje de incumplimiento de cada grupo.

Tabla 17. Porcentaje de incumplimiento de las normas por grupo

Grupo	NOM-1996	NOM-2016
G0	0.65%	11.40%
G1	2.06%	29.10%
G2	1.41%	20.09%
G3	1.41%	23.89%
Suma	5.54%	84.47%
G1E	0.33%	4.23%
Total	5.86%	88.71%

5.1.7 Grasas y aceites

Para el caso de las grasas y aceites (GyA), la Norma no presenta cambios significativos en los valores promedios, y para los fines de análisis se considera que el límite máximo permisible es de 15 mg/l.

5.1.8 Color

La NOM-001-1996 no Norma el color, razón por la cual:

- (a) la información sobre este parámetro en los archivos del SIRALAB es prácticamente inexistente y
- (b) no hay un costo de cumplimiento con la NOM-001-1996 asociado a este parámetro, por lo que $\Delta 1 = 0$ y $\Delta 2 = \Delta 3$.

El análisis de costos de cumplimiento con la Norma de color debe por lo tanto hacerse desde un punto de vista puramente teórico y sólo para la NOM-001-2016.

Para el control del color en las descargas de agua residual de la industria textilera, uno de los principales sectores con problemas de color en sus descargas, los procesos unitarios de tratamiento más empleados son de coagulación-floculación, con eficiencias de remoción de 70 a 90%. Para colores causados por materia orgánica biodegradable, los procesos convencionales de tratamiento pueden remover, sin ser ese su objetivo principal, una parte substantiva del color. Para color ocasionado por colorantes orgánicos no bio-degradable, las opciones de tratamiento son adsorción en carbón activado,

u oxidación química. Para colorantes inorgánicos existe la opción, generalmente más cara, de ósmosis inversa. En la *Tabla 18* se muestran en forma resumida las alternativas tecnológicas para el control de color en las aguas residuales.

Tabla 18. Tecnologías para remoción de color

		Suspendido	Disueltos
Orgánico	Biodegradable	Tratamiento biológico convencional	
	No bio-degradable	Coagulación-floculación, adsorción en carbón activado, oxidación química	
Inorgánico		Coagulación-floculación, adsorción en carbón activado, oxidación química	Ósmosis inversa

Con la excepción de los procesos de ósmosis inversa y oxidación química, los otros procesos (tratamientos biológicos, adsorción en carbón activado y coagulación-floculación) ya están incluidos en los proceso de las plantas de tratamiento cuyos costos son calculados en este informe, por lo que se considera que los costos de control de color en las descargas ya están comprendidos en los costos de las plantas de tratamiento que se calculan para el tratamiento de los otros contaminantes analizados en este informe.

5.1.9 Toxicidad

En lo que a toxicidad se refiere, las observaciones son similares a las antes presentadas con relación al color: la NOM-001-1996 no Norma la toxicidad, razón por la cual,

- (a) la información sobre este parámetro en los archivos del SIRALAB es prácticamente inexistente y,
- (b) no hay un costo de cumplimiento con la NOM-001-1996 asociado a este parámetro por lo que $\Delta 1 = 0$ y $\Delta 2 = \Delta 3$. El análisis de costos de cumplimiento con la Norma de toxicidad debe, por lo tanto, hacerse desde un punto de vista puramente teórico y sólo para la NOM-001-2016.

Los tratamientos biológicos, si cuentan con un adecuado inventario de biomasa en los reactores, pueden remover una parte de la toxicidad ocasionada por compuestos orgánicos; entre los compuestos tóxicos orgánicos, hay unos que son fácilmente adsorbidos en carbón activado (solventes aromáticos, aromáticos clorados, herbicidas, pesticidas, etc.) y hay otros que no lo son como los ácidos, aldehídos y quetonas de bajo peso molecular, coloides orgánicos, etc. Para estos compuestos se requiere de un proceso de oxidación química. En la *Tabla 19* se presenta, en forma resumida, la tecnología aplicable para el control de la toxicidad.

Tabla 19. Tecnologías para remoción de toxicidad

Metales pesados y cianuros	Coagulación, floculación, sedimentación y filtración
Compuestos orgánicos	Tratamientos biológicos, adsorción en carbón activado, oxidación química

Los costos de control de toxicidad por compuestos orgánicos están incluidos en los costos de las plantas de tratamiento biológico, con y sin carbón activado que se presentan más adelante en esta sección y los costos para control de toxicidad por metales pesados y cianuros, se presenta en una sección posterior de este informe.

5.1.10 CLASIFICACIÓN DE LAS DESCARGAS EN FUNCIÓN DEL CAUDAL MEDIO DESCARGADO

El análisis de la distribución probabilística de caudales versus descarga revela que el llamado principio empírico de Pareto o principio 80/20, se observa en la distribución de los caudales de las descargas, pues la mayor parte de los volúmenes totales descargados se concentra en un número limitado de descargas, y un gran número de descargas tienen caudales muy pequeños, como se ilustra en la *Figura 4* y *Figura 5*.

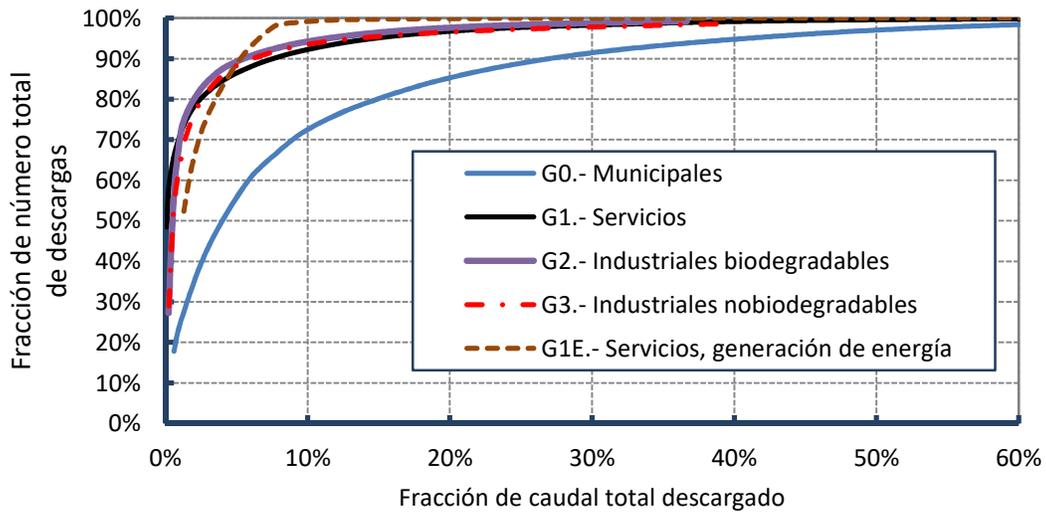


Figura 4. Distribución estadística de número de descargas vs caudal acumulado descargado.

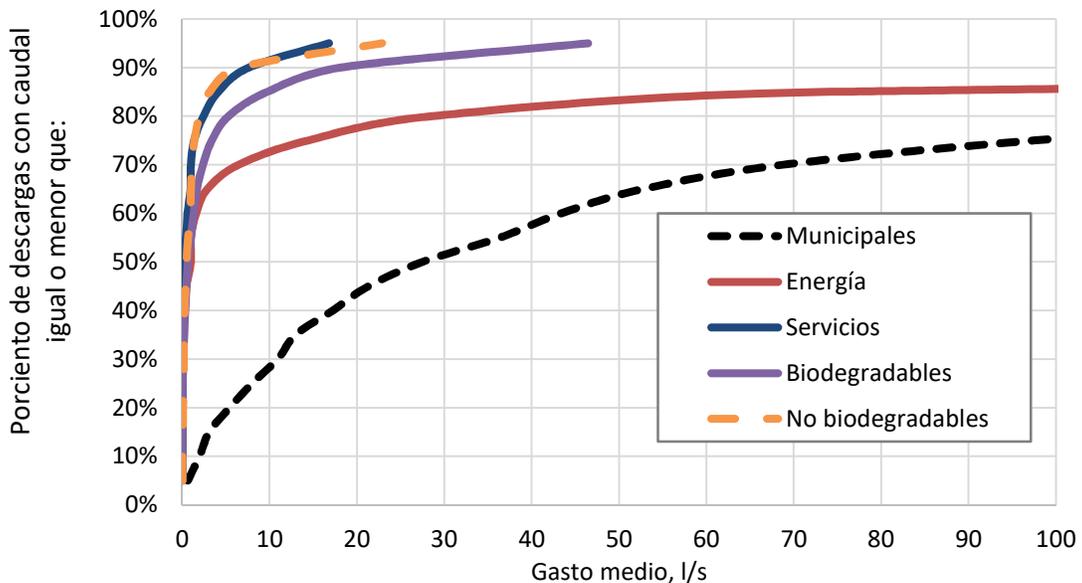


Figura 5. Distribución de porcentaje de descargas vs. gasto medio por descarga

Como puede observarse en la *Figura 5*, existe una gran concentración de caudales en un número relativamente limitado de descargas. Para las descargas con gastos menores a 10 l/s, el costo unitario de tratamiento se vuelve oneroso, por lo que es más económico la adopción de medidas internas para controlar la descarga de contaminantes. Las descargas provenientes de alcantarillados públicos con gastos medios iguales o menores a 5 l/s corresponden a comunidades rurales que difícilmente cuentan con la infraestructura administrativa necesaria para la operación y mantenimiento de plantas de

tratamiento. Para el caso de descargas industriales el límite para el cual el tratamiento es económicamente superior al del costo de medidas internas de control es de 1 l/s. En la *Tabla 20* y en la *Figura 6* se muestra la distribución de caudales y número de descargas para descargas del sector municipal igual o menores 5 l/s y de descargas industriales igual o menor a 1 l/s.

El universo de descargas cuyos costos de cumplimiento serán analizados será por lo tanto de 400 descargas municipales con un caudal de 79.5 m³/s y 1,975 descargas industriales con un caudal de 88.9 m³/s.

Tabla 20. Distribución de caudales y descargas entre gastos

	Sector municipal Q grandes > 5 l/s		Sector industrial Q grandes > 1 l/s		Total	
	No.	Q, m ³ /s	No.	Q, m ³ /s	No.	Q, m ³ /s
Gastos grandes	400	79.5	1,975	88.9	2,375	168
Gastos chicos	97	0.2	4,087	1.1	4,184	1.3
Sumas	497	79.7	6,062	90.0	6,559	169.3

**Excluyendo descargas del grupo GIE, "Generación de energía"*

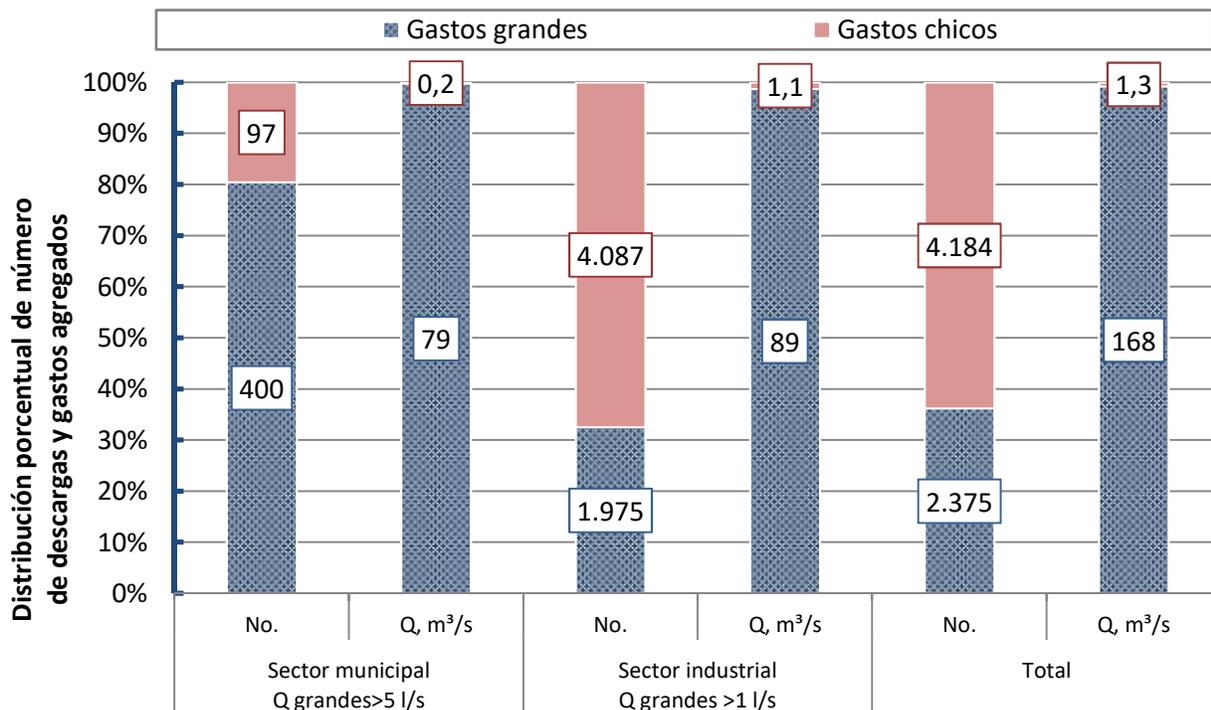


Figura 6. Distribución de caudales por sector y por descargas

5.2 METAS DE CUMPLIMIENTO

5.2.1 NORMAS DE CALIDAD DE EFLUENTES

Los parámetros cuyo costo de cumplimiento es analizado en esta sección son los parámetros que son controlados por plantas convencionales de tratamiento, versus aquellos parámetros de calidad que requieren de procesos específicos para su control, como pueden ser el color, metales pesados y toxicidad.

Contaminantes básicos

Los contaminantes básicos son:

- Sólidos suspendidos totales (SST),
- Demanda química de oxígeno (DQO), carbón orgánico total (COT) y demanda biológica de oxígeno (DBO); se integran estos parámetros bajo un solo rubro porque la NOM-001-1996 lo especifica como DBO y la NOM-001-2016 los especifica como DQO y COT. Estos parámetros son controlados con procesos similares de tratamiento. El COT solo se analizará para aquellas descargas de aguas residuales con una concentración de cloruros mayor a 1000 mg/l. Para la determinación de DQO se utiliza sulfato mercúrico para evitar la interferencia de cloruros, sin embargo, hay limitaciones en cuanto a la cantidad de sulfato mercúrico que se puede utilizar para el control de cloruros y por ello se estableció un límite de 1000 mg(Cl⁻)/L. Alcanzada esa condición se determina COT. La equivalencia entre COT y DQO es la siguiente: $DQO = 2.6 \times COT$.
- Grasas y aceites (GyA),
- Nitrógeno (N), expresado como nitrógeno total de Kjeldhal (NTK) en la literatura técnica,
- Fósforo total (P), incluyendo el particulado y el no particulado,
- Temperatura (T),
- pH,
- Patógenos, concepto que engloba los organismos patógenos que se especifican en la NOM-001-1996 y en la NOM-001-2016. Los enterococos fecales solo se analizarán para aquellas descargas de aguas residuales con una concentración de cloruros mayor a 1000 mg/l.

En el anteproyecto de la NOM-2016, se integran como contaminantes básicos:

- Color verdadero
- Toxicidad aguda

En la *Tabla 21* y en la *Tabla 22* se presentan, en forma abreviada, los límites permisibles de los contaminantes básicos en las descargas en la NOM-001-1996 y en la NOM-001-2016, respectivamente.

Color

El color verdadero no debe exceder una pureza del 15%.

Toxicidad

La toxicidad aguda debe ser menor o igual a 5 unidades de toxicidad, y determinada a través de las siguientes especies: *Daphnia magna* y *Vibrio fischeri*, para aguas residuales en general. Para descargas con una conductividad mayor de 1,550 mS/m, se utilizarán las especies *Vibrio fischeri* y *Artemia Sp.*

Tabla 21. Límites permisibles de los contaminantes básicos en la NOM-001-1996

Parámetro	Cuerpo receptor										Unidades
	Ríos			Embalses		Aguas			Suelo		
	Riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Riego agrícola	Uso público urbano	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios	Riego agrícola	Humedales naturales	
	Tipo de cuerpo receptor										
	A	B	C	B	C	A	B	B	A	B	
pH	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	U pH
T	NA	40	40	40	40	40	40	40	NA	40	°C
SST	150	75	40	75	40	150	75	75	N.A.	75	mg/l
DBO	150	75	30	75	30	150	75	75	N.A.	75	mg/l
N	40	40	15	40	15	N.A.	N.A.	15	N.A.	N.A.	mg/l
P	20	20	5	20	5	N.A.	N.A.	5	N.A.	N.A.	mg/l
GyA	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	mg/l
HH	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1	N.A.	h/l
CF	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	NMP/100 ml

HH = huevos de helmintos
CF = coliformes fecales

h: huevos

Tabla 22. Límites permisibles de los contaminantes básicos en la NOM-001-2016

Parámetro	Cuerpo receptor					Unidades
	Ríos, arroyos, canales, drenes	Embalses, lagos y lagunas	Zonas marinas mexicanas y estuarios	Suelo		
				Riego de áreas verdes	Infiltración y otros riegos	
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	UpH
T	35	35	40	35	35	°C
SST	60	20	20	30	100	mg/l
DQO/COT	150	100	85	60	150	mg/l
N	25	20	25	NA	NA	mg/l
P	15	12	15	NA	NA	mg/l
GyA	15	15	15	15	15	mg/l
HH	NA	NA	NA	1	1	h/l
EC/EF	1000	1000	1000	1000	1000	NMP/100 ml

HH = huevos de helmintos

h: huevos

EC = Escherichia coli

EF = Enterococos fecales

Metales pesados y Cianuros

Los metales pesados incluyen: arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), además de cianuros (CN).

En la *Tabla 23* y en la *Tabla 24* se presentan, en forma abreviada, los límites permisibles de los metales pesados y cianuros en las descargas en la NOM-001-1996 y en la NOM-001-2016, respectivamente.

Tabla 23. Límites permisibles de los metales pesados y cianuros en la NOM-001-1996

Parámetro	Cuerpo receptor										Unidades
	Ríos			Embalses		Aguas			Suelo		
	Riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Riego agrícola	Uso público urbano	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios	Riego agrícola	Humedales naturales	
	Tipo de cuerpo receptor										
	A	B	C	B	C	A	B	B	A	B	
As	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	mg/l
Cd	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.05	0.1	mg/l
CN	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	mg/l
Cu	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	mg/l
Cr	1	0.5	0.5	1	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	mg/l
Hg	0.01	0.005	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.01	0.005	0.005	mg/l
Ni	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	mg/l
Pb	0.5	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2	0.5	0.2	5	0.2	mg/l
Zn	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	mg/l

Tabla 24. Límites permisibles de los metales pesados y cianuros en la NOM-001-2016

Parámetro	Cuerpo receptor					Unidades
	Ríos, arroyos, canales, drenes	Embalses, lagos y lagunas	Zonas marinas mexicanas y estuarios	Suelo		
				Riego de áreas verdes	Infiltración y otros riegos	
As	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	mg/l
Cd	0.2	0.1	0.2	0.05	0.1	mg/l
CN	1	1	2	2	1	mg/l
Cu	4	4	4	4	4	mg/l
Cr	1	0.5	1	0.5	0.5	mg/l
Hg	0.01	0.005	0.01	0.005	0.005	mg/l
Ni	2	2	2	2	2	mg/l
Pb	0.2	0.2	0.5	0.5	0.2	mg/l
Zn	10	10	10	10	10	mg/l

5.2.2 NIVELES DE CUMPLIMIENTO CON LA ACTUAL Y LA NUEVA NORMA

Para el cálculo de los costos de cumplimiento se empleó la metodología que, en forma resumida se presenta a continuación:

1. Análisis general de los datos del SIRALAB
2. Desagregación de los registros de descargas de acuerdo con la actividad que genera la descarga,
3. Determinación de gastos y características medias de las descargas por cada grupo,
4. Depuración de los registros de descargas de acuerdo con el gasto medio de la descarga,
5. Definición de dos escenarios de cumplimiento en función del cuerpo receptor
 - a. **Escenario I**, en función de las normas aplicables para los cuerpos más tolerantes (ríos, canales y drenes, cuerpos receptores tipo A); y
 - b. **Escenario II**, en función de las normas aplicables para los cuerpos menos tolerantes (lagos, embalses y lagunas, cuerpos receptores tipo B)
6. Determinación del número, tipo y caudal medio de plantas de tratamiento requeridas para cada escenario y para cada grupo de descargas para el cumplimiento con la NOM-001-1996 ($\Delta 1$) y la NOM-001-2016 ($\Delta 2$) a partir de las condiciones actuales.

7. Determinación de costos de tratamiento de las plantas requeridas para cada grupo de descargas y para uno de los dos escenarios antes mencionados a partir de anteproyectos y antepresupuestos de plantas tipo de tratamiento y de una serie de funciones de costos versus gasto para cada grupo de plantas, desarrollada específicamente para este estudio. Esta tarea fue realizada con el programa de cómputo CapdetWorks[®] 3.0, de la empresa Hydromantis, a partir del programa “*Computer Assisted Procedure for the Design and Evaluation of Wastewater Treatment Plants*”, elaborado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Los costos de los anteproyectos fueron calculados para las condiciones económicas de México en el mes de noviembre de 2016.
8. Integración de los resultados económicos y determinación del $\Delta 3$ correspondiente a los costos incrementales que resultarían de la implementación de las modificaciones propuestas a la NOM-001-1996.

5.2.3 ESCENARIOS DE CALIDAD DE EFLUENTES PARA CUMPLIMIENTO

Contaminantes básicos

Ante la imposibilidad de conocer con exactitud las condiciones particulares de descarga de cada descarga, o el correspondiente cuerpo receptor, se optó por analizar los costos para dos escenarios:

- **Escenario I** para los límites de calidad que las normas fijan para los cuerpos más tolerantes
- **Escenario II** para los cuerpos receptores la menor capacidad de asimilación de contaminantes.

Las normas de calidad aplicables para cada uno de los dos escenarios se muestran en la *Tabla 25*, tanto para Norma actual, como para la propuesta de modificación de Norma.

Tabla 25. Normas de calidad de efluentes

Parámetro	Escenario I		Escenario II		Unidades
	NOM-001-1996	NOM-001-2016	NOM-001-1996	NOM-001-2016	
	Cuerpo tipo “A” Descarga en ríos	Ríos, arroyos, canales, drenes	Cuerpos tipo “B” Embalses, riego agrícola	Embalses, lagos y lagunas	
SST	150	60	75	20	mg/l
DQO/COT	400	150	75	100	mg/l
N	40	25	40	20	mg/l
P	20	15	20	12	mg/l
GyA	15	15	15	15	mg/l
CF / EC	1000	1000	1000	1000	NMP/100 ml

Nota: En la NOM-001-2016 se norma la DQO; para efluentes tratados la relación DQO/DBO es del orden de 2.5 a 3; y para fines de homologación de normas se utilizó una relación de DQO/DBO de 2.66

Para el caso específico de la temperatura, el valor se reduce en 5°C de manera general, salvo para las descargas en aguas costeras, que mantiene los valores de la NOM-1996. La comparativa se presenta en *Tabla 26*.

Tabla 26. Norma de calidad para temperatura

Parámetro	Escenario I		Escenario II		Unidades
	NOM-001-1996	NOM-001-2016	NOM-001-1996	NOM-001-2016	
	Cuerpo tipo “A” Descarga en ríos y suelo en riego agrícola	Ríos, arroyos, canales, drenes	Cuerpos tipo “B” Embalses, riego agrícola	Embalses, lagos y lagunas	
T	NA	35	40	35	mg/l

En lo que corresponde a la NOM-1996, dos descargas rebasan el LMP para cuerpo receptor tipo (ríos B), sin rebasar 41°C, con caudales promedio menores a 5 L/s.

En lo que corresponde a la NOM-2016, el LMP varía de acuerdo con el tipo de cuerpo receptor, siendo de 35°C para cuerpos receptores en general, exceptuando zonas marinas mexicanas y estuarios. En este contexto, en los datos del SIRALAB no se registran descargas con una temperatura igual o mayor a 40°C que se descarguen a zonas marinas y estuarios. Para cuerpos receptores terrestres, se contabilizan 56 descargas, con temperaturas que van de 35°C a 71.81°C, y caudales de 1.7 a 71.0 l/s.

Como se muestra en la *Tabla 27*, los incumplimientos observados se presentan en un número muy bajo de descargas y con caudales muy pequeños. Del análisis del SIRALAB se detecta que 64% son menores a 10 l/s, 19.6% entre 12 y 30 l/s, 12.5% entre 30 y 50 l/s y solamente 3.6% con un caudal mayor de 70 l/s.

Además, el 75% de los incumplimientos observados son menores de 5°C por encima de los límites permisibles, con caudales que van de 1.7 a 71 l/s; 16% de las descargas con temperaturas entre 40 y 50°C, con caudales de 2.5 a 37 l/s; y 9% con temperaturas que rebasan 50°C, estas últimas con caudales de 2.3 a 15.9 l/s.

Para la NOM-2016, en el sector municipal no se detectaron incumplimientos, en el sector de servicios los incumplimientos fueron de unos pocos balnearios y hoteles, en el G2 los incumplimientos se

detectaron en algunos ingenios azucareros y algunas plantas de procesamiento de alimentos, en el G3 incumplimiento de 2 a 4 °C por encima de la Norma en algunas plantas químicas y de petroquímica básica y en el grupo G1E incumplimientos de 2 a 3 °C en algunas descargas con gastos medios de 2 l/s de plantas termoeléctricas.

Tabla 27. Descargas en incumplimiento con temperatura

Grupo	$\Delta 1$ Incumplen con NOM-1996			$\Delta 3$ Diferencia entre $\Delta 2$ y $\Delta 1$			$\Delta 2$ Incumplen con NOM-2016		
	Nº	Q _{total} l/s	Q _{medio} l/s	Nº	Q _{total} l/s	Q _{medio} l/s	Nº	Q _{total} l/s	Q _{medio} l/s
G0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G1	2	6.7	3.3	5	131.1	16.4	7	137.8	19.7
G2	-	-	-	38	495.2	13.0	38	495.2	13.0
G3	-	-	-	5	103.2	20.6	5	103.2	20.6
Sumas	2	6.7	3.3	48	729.5	50	50	736.2	53.4
G1E	-	-	-	6	13.3	2.2	6	13.3	2.2
Total	2	6.7	3.3	54	742.8	52.2	56	749.5	55.6

En el caso del potencial de hidrógeno (pH), el intervalo permitido en la NOM-1996 es de 5 a 10. En la NOM-2016, este intervalo se restringe de 6.5 a 8.5. La comparativa se presenta en la *Tabla 28*.

Tabla 28. Norma de calidad para el pH

Cuerpo Receptor	NOM-001-1996			NOM-001-2016				unidades
	"A"	"B"	"C"	Ríos, arroyos, canales, drenes	Embalses, lagos y lagunas	Zonas marinas mexicanas y estuarios	Suelo	
Intervalo	5 - 10	5 - 10	5 - 10	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	U pH

Para el caso de las grasas y aceites (GyA), la Norma no presenta cambios significativos en los valores promedios, y para los fines de análisis se considera que el límite máximo permisible es de 15 mg/l. En este sentido, en la *Tabla 29* se presentan las descargas que rebasan el límite, lo cual es aplicable tanto para la NOM-1996 como para la propuesta NOM-2016.

Tabla 29. Incumplimiento de la Norma para grasas y aceites

Grupo	$\Delta 1$ Incumplen con NOM-1996 y NOM2016		
	Nº	Q _{total} l/s	Q _{medio} l/s
G0	63	8702	138
G1	39	155	4
G2	90	441	5
G3	59	792	13
Sumas	251	2766	
G1E	1	58	58
Total	252	2824	

En el G0, se presentan concentraciones máximas de grasas y aceites de hasta 204 mg/l, con un valor promedio de 35 m g/l.

En el G1, se presentan concentraciones máximas de grasas y aceites de hasta 185 mg/l, con un valor promedio de 37 m g/l.

En el G2, que engloba la industria biodegradable con alta carga orgánica, se presentan concentraciones máximas de grasas y aceites de hasta 554 mg/l, con un valor promedio de 42 m g/l. En este grupo se llegan a presentar descargas con concentraciones superiores a 1000 mg/l, pero los caudales son menores a 1 l/s.

En el G3, se presentan concentraciones máximas de grasas y aceites de hasta 181 mg/l, con un valor promedio de 40 m g/l. En este grupo se llegan a presentar descargas con concentraciones superiores a 3000 mg/l, pero los caudales son menores a 1 l/s.

En el G1E, se presentan concentraciones máximas de grasas y aceites de hasta 24 mg/l.

La NOM-001-1996 no Norma el color. De esta manera, no se cuenta información en el SIRALAB y el análisis de costo se realizará solo para la NOM-001-2016. En este caso específico, $\Delta 1 = 0$ y $\Delta 2 = \Delta 3$.

La NOM-001-1996 no Norma la toxicidad. De esta manera, no se cuenta información en el SIRALAB y el análisis de costo se realizará solo para la NOM-001-2016. En este caso específico, $\Delta 1 = 0$ y $\Delta 2 = \Delta 3$.

Metales pesados

En el caso de los metales, tanto la Norma vigente como la Norma propuestas muestran coincidencias sustanciales en los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes en las descargas para los distintos cuerpos receptores. De esta manera, el impacto en el costo de implementación de ambas normas es más fácil de apreciar si se identifican las coincidencias y diferenciase entre ambas normas. Para ello es conveniente definir dos conjuntos de límites máximos permisibles que son comunes a ambas normas: para los fines de este informe se definen como “**Escenario I**” y “**Escenario II**”. Los límites de concentración que se presentan en la *Tabla 30*.

Tabla 30. Límites máximos permisibles de concentración: Escenario I y Escenario II
Unidades en mg/l

Parámetro	Escenario I	Escenario II
Arsénico	0.2	0.1
Cadmio	0.2	0.1
Cianuros	1	1
Cobre	4	4
Cromo	1.0	0.5
Mercurio	0.010	0.005
Níquel	2	2
Plomo	0.5	0.2
Zinc	10	10

Los límites permisibles de concentración en la NOM-001-1996 y en la NOM-001-2016 se muestran en las *Tablas 26* y *27*, respectivamente, con el mismo patrón de color de celdas empleado en la *Tabla 30*.

Tabla 31. Límites permisibles de concentración en la NOM-001-1996
Promedios mensuales, en mg/l, A, B, C: Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos

Escenario I **Escenario II**

Parámetro	Ríos			Embalses		Aguas costeras			Suelos	
	Riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Riego agrícola	Uso público urbano	Pesca, navegación, otros usos	Recreación	Estuarios	Riego agrícola	Humedales
	A	B	C	B	C	A	B	B	A	B
Arsénico	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1
Cadmio	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
Cianuros	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1
Cobre	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Cromo	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5
Mercurio	0.010	0.005	0.005	0.010	0.005	0.010	0.010	0.010	0.005	0.005
Níquel	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Plomo	0.5	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2	0.5	0.2	5.0	0.2
Zinc	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Tabla 32. Límites permisibles de concentración en la NOM-001-2016
Promedios mensuales, en mg/l, A, B, C: Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos

Norma Escenario I **Norma Escenario II**

Parámetros	Ríos, arroyos, canales, drenes	Embalses, lagos y lagunas	Zonas marinas mexicanas y estuarios	Suelo Riego de áreas verdes	Infiltración y otros riegos
Arsénico	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1
Cadmio	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
Cianuro	1	1	2	2	1
Cobre	4	4	4	4	4
Cromo	1.0	0.5	1.0	0.5	0.5
Mercurio	0.010	0.005	0.010	0.005	0.005
Níquel	2	2	2	2	2
Plomo	0.2	0.2	0.5	0.5	0.2
Zinc	10	10	10	10	10

Como se observa en las dos tablas anteriores, hay significativas coincidencias en ambas normativas, coincidencias que son más evidentes en la comparación resumida entre ambas normas que se presenta en la *Tabla 33*.

Tabla 33. Resumen comparativo de las dos normas

		Escenario I	Escenario II	Intermedia	
		Ríos	Embalses	Zonas marinas	Suelos
Norma 1996	A	Riego agrícola		Pesca Excep. Hg=0.01	Riego agrícola
	B	Uso urbano	Riego agrícola	Recreativo	Humedales
	C	Vida acuática	Uso urbano	Estuarios Excep. Hg=0.01	
Norma 2016					Áreas verdes Infiltración y otros riegos

Como se puede derivar del análisis de estas tablas, el $\Delta 1$ y el $\Delta 2$ son casi iguales y por lo tanto el $\Delta 3$ se aproxima a cero, es decir, el cambio de Norma no tiene mayor impacto económico. De cualquier manera, para contextualizar el impacto económico de cumplimiento con las normas de metales pesados y cianuros, en este informe se presenta el estimado de costos de cumplimiento con la Norma actual ($\Delta 1$, casi igual a $\Delta 2$).

5.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE NIVELES DE TRATAMIENTO

Para el control de concentración de los contaminantes básicos se consideraron cinco trenes tipo de tratamiento:

- Tren 1 (T1).- Tratamiento primario con desinfección, pero para que la desinfección sea confiable debe ir precedida por un tratamiento químico,
- Tren 2a (T2a).- Tratamiento secundario convencional de lodos activados, para remoción de materia orgánica (DBO5, DQO o COT)
- Tren 2b (T2b).- Tratamiento secundario convencional de lodos activados seguido de adsorción en carbón activado para la remoción de materia orgánica no biodegradable y color,
- Tren 3 (T3).- Tratamiento biológico para la remoción de materia orgánica y N,
- Tren 4 (T4).- Tratamiento biológico para la remoción de materia orgánica N, acompañado de tratamiento químico para la remoción de P.
- Tren 5 (T5).- Tratamiento complementario. Proceso Físicoquímico adicional para la remoción de metales pesados.

Los procesos de tratamiento con que cuenta cada tren tipo de tratamiento son los que se identifican en la *Tabla 34*.

Tabla 34. Identificación de procesos de tratamiento de plantas tipo

Procesos	Tren 1	Tren 2a	Tren 2b	Tren 3	Tren 4	Tren 5
Línea de agua						
Pretratamiento	√	√	√	√	√	√
Primario	√	√	√			
Secundario, lodos activados		√	√			√
Remoción biológica de N				√	√	
Tratamiento químico	√					
Precipitación química de P					√	
Adsorción en carbón activado			√			
Desinfección	√	√	√	√	√	√
Coagulación-Floculación						√
Sedimentación						√
Filtración						√
Línea de lodos						
Espesamiento gravimétrico	√	√	√	√	√	√
Digestión anaeróbica	√	√	√			√
Deshidratado, centrifugas	√	√	√	√	√	√
Transporte y disposición final	√	√	√	√	√	√

El análisis de costos realizado arrojó resultados económicos que muestran que el tratamiento primario con tratamiento químico, necesario para la desinfección de efluentes primarios (T1) tiene costos de un orden de magnitud comparables con el de un tratamiento secundario convencional (T2a), pero siendo la calidad del efluente T2a muy superior a la del T1, las plantas T1 se integraron a las plantas T2, por lo que el análisis económico se realizó sólo para cuatro tipos de plantas: los trenes T2a, T2b, T3 y T4. Para el caso del T5 se trata de un costo incremental con respecto al T2a.

5.3.1 DETERMINACIÓN DE DESCARGAS QUE REQUIEREN TRATAMIENTO

Para la determinación de tipo de planta que se requeriría para adecuar la calidad de los efluentes a las concentraciones máximas permisibles, de los contaminantes básicos, por la Norma se elaboró un criterio de selección de planta en función de la Norma y de las eficiencias alcanzables de control de calidad de efluentes para cada tipo de planta y para cada uno de los cinco parámetros, el resultado de este análisis se plasma en los criterios de asignación de plantas que se muestran la *Tabla 35* y en la *Tabla 36*.

Tabla 35. Criterios para la asignación de plantas tipo en el Escenario I

$\Delta 1$: Cumplimiento con NOM 1996, cuerpos tipo A	$\Delta 2$: Cumplimiento con NOM 2016, descargas a ríos
T2-a y T2-b.- Tratamiento secundario	
Descargas municipales con SST > a 150 mg/ en $\Delta 1$ y SST > a 60 mg/l en $\Delta 2$	
Norma DQO = 400 mg/l (*)	Norma DQO = 150 mg/l
Criterio > 400 mg/l	Criterio > 225 mg/l
T3.- Remoción biológica de nitrógeno	
Norma NTK = 40 mg/l	Norma NTK = 25 mg/l
Criterio > 70 mg/l	Criterio > 44 mg/l
T4.- Remoción biológica de nitrógeno + remoción química de fósforo	
Norma P = 20 mg/l	Norma P = 15 mg/l
Criterio > 30 mg/l	Criterio > 23mg/l

(*).- Adaptado de la norma DBO de la NOM-001-1996

Tabla 36. Criterios para la asignación de plantas tipo en el Escenario II

$\Delta 1$: Cumplimiento con NOM 1996, cuerpos tipo b	$\Delta 2$: Cumplimiento con NOM 2016, descargas a embalses y lagos
T2-a y T2-b.- Tratamiento secundario	
Más descargas con SST > a 75 mg/ en $\Delta 1$ y SST > a 20 mg/l $\Delta 2$	
Norma DQO = 200 mg/l (*)	Norma DQO = 100 mg/l
Criterio > 200 mg/l	Criterio > 150 mg/l
T3.- Remoción biológica de nitrógeno	
Norma NTK = 40 mg/l	Norma NTK = 20 mg/l
Criterio > 70 mg/l	Criterio > 35 mg/l
T4.- Remoción biológica de nitrógeno + remoción química de fósforo	
Norma P = 20 mg/l	Norma P = 12 mg/l
Criterio > 30 mg/l	Criterio > 18 mg/l

(*).- Adaptado de la Norma DBO de la NOM-001-1996

En el caso de los metales pesados se procedió directamente con un análisis del número y las características de las descargas registradas en el SIRALAB 2015. Se detectaron todas las descargas con concentraciones de contaminantes superiores al **Escenario I** y al **Escenario II**, los resultados se presentan, respectivamente, en la *Tabla 37* y *Tabla 38*.

Tabla 37. Número y características de las descargas que incumplen el Escenario I

Parámetro	Norma mg/l	No. de Descargas	Q medio l/s	Q total l/s	Conc. Media mg/l	Masa kg/día
Arsénico	0.20	16	4	62	0.56	3
Cadmio	0.20	18	7	121	0.39	4
Cianuros	1.0	9	8	74	2.2	14
Cobre	4.0	7	8	58	13.3	67
Cromo	1.00	2	2	5	2.67	1
Mercurio	0.010	16	24	383	0.212	7
Níquel	2.0	6	18	106	4.6	42
Plomo	0.50	7	8	56	1.56	8
Zinc	10.0	6	4	24	15.4	32
Suma		87	10	889		

Tabla 38. Número y características de las descargas que incumplen el Escenario II

Parámetro	Norma	No. de Descargas	Q medio l/s	Q total l/s	Conc. Media mg/l	Masa kg/día
Arsénico	0.10	25	16	394	0.41	14
Cadmio	0.10	48	13	643	0.23	13
Cianuros	1.0	9	8	74	2.2	14
Cobre	4.0	7	8	58	13.3	67
Cromo	0.50	17	8	133	1.00	11
Mercurio	0.005	60	15	912	0.061	5
Níquel	2.0	6	18	106	4.6	42
Plomo	0.20	106	15	1,566	0.33	45
Zinc	10.0	6	63	376	15.4	499
Suma		284	15	4,262		

De los resultados anteriores se concluye que, a partir de las actuales condiciones del país, las corrientes de agua residual que requerirán tratamiento ($\Delta 1$, $\Delta 2$) son las que se muestran en la *Tabla 39*.

Tabla 39. Corrientes que requieren tratamiento para cumplir con la normatividad

Parámetro	No. de Descargas	Q medio l/s	Q total l/s	Conc. Media mg/l	Masa kg/día
Arsénico	21	11	228	0.43	8.5
Cadmio	33	12	382	0.26	8.5
Cianuros	9	8	74	2.2	14.4
Cobre	7	8	58	13.3	67.3
Cromo	10	7	69	1.05	6.2
Mercurio	38	17	648	0.106	5.9
Níquel	6	18	106	4.6	42.4
Plomo	57	14	811	0.4	26.4
Zinc	6	33	200	15.4	265.3
Sumas	186	14	2,575		

Nota: algunas descargas presentan excedencias en más de un contaminante, por lo que la suma de gastos es mayor que el caudal total descargado

De los resultados anteriores, se concluye que para dar cumplimiento con la NOM serían necesarios 186 procesos de tratamiento (unidades de procesos adjuntas a las plantas de tratamiento mencionadas en la primera parte de este informe, para dar cumplimiento con los cinco parámetros básicos) con un caudal medio de 14 l/s.

El análisis de las características de las descargas reveló que el contaminante presente en el mayor porcentaje, por volumen, de las descargas en incumplimiento era el plomo, en particular en las descargas de redes municipales de alcantarillado y en descargas de comercios y servicios (G0 y G1), actividades que, presumiblemente, no aportan plomo al agua residual, por lo que la única explicación posible de su presencia en el agua residual es por la ocurrencia de plomo en el agua suministrada. La NOM-001 establece que, si el contaminante aparece en el agua suministrada, el responsable de la descarga puede deducir la concentración en el agua suministrada de la concentración en la descarga, y sólo si la diferencia excede la Norma, es sujeto al pago de un derecho por descarga. La Norma de plomo en el agua potable (y de los demás contaminantes que son analizados en este informe) se muestra en el *Tabla 40*, en la que se puede observar que la Norma de plomo es de 0.01 mg/l y en la NOM-001 el **Escenario I** es de 0.20 mg/l, por lo que se puede concluir que las excedencias de plomo en las descargas G0 y G1 se deben a presencia de cloro en el agua suministrada. Lo que apunta a un

serio problema de salud pública, pero, para los fines de este informe, no afecta el impacto económico de cumplimiento con la NOM-001.

Tabla 40. Normas de agua potable

Modificación a la NOM 127-SSA1-1994, 20 de octubre de 2000

Parámetro	Norma de agua potable mg/l
Arsénico	0.050
Cadmio	0.005
Cianuros	0.070
Cobre	2.000
Cromo	0.050
Mercurio	0.001
Níquel	0.020
Plomo	0.010
Zinc	5.000

La presencia de plomo se detectó en las descargas que se muestran en la *Tabla 41*.

Tabla 41. Presencia de plomo en las descargas del G0 y el G1

Grupo	No. de Descargas	Q medio l/s	Q total
G0.- Descargas municipales	20	118	2,358
G1.- Comercios y servicios	125	16	2,012

5.3.2 NÚMERO, TIPO Y CAUDAL DE PLANTAS DE TRATAMIENTO

Se desarrolló para este proyecto un algoritmo de cálculo que permitió analizar de forma integral la aplicación de los criterios de asignación de plantas antes descritos a las bases de datos de descarga que se generaron para cada uno de los diferentes grupos de descarga organizados de acuerdo con la actividad generadora de la descarga. Con la ayuda de este algoritmo fue posible determinar qué tipo de planta se requería de cada descarga para cada uno de los dos escenarios y para cada una de las dos versiones de la Norma.

De esta manera fue posible determinar el número, tipo, caudal medio y características medias de calidad de las plantas requeridas para cada grupo de descargas para cada uno de los dos escenarios antes mencionados con los resultados que se muestran la *Tabla 42* y en la *Tabla 43*.

Tabla 42. Número y características de plantas para cumplimiento en el Escenario I

Δ 1					Δ 2				
T2, DQO >400 mg/l					T2, DQO >225 mg/l				
Grupos	No.	Q l/s	SST mg/l	DQO mg/l	Grupos	No.	Q l/s	SST mg/l	DQO mg/l
G0	27	179	231	624	G0	72	125	127	370
G1	20	20	187	1,000	G1	55	14	114	554
G2	97	18	1,027	3,833	G2	137	88	706	2,240
G3	23	5	215	721	G3	48	69	135	479
Sumas Prom.	167	7,057	423	1,432	Sumas Prom.	312	25,128	405	1,286

T3, N > 70 mg/l					T3, N > 44 mg/l				
Grupos	No.	Q l/s	NTK mg/l	P mg/l	Grupos	No.	Q l/s	NTK mg/l	P mg/l
G0	8	60	88	13	G0	35	116	61	8
G1	32	6	126	9	G1	65	5	77	8
G2	81	15	243	11	G2	84	15	208	8
G3	18	6	123	6	G3	44	7	82	7
Sumas Prom.	139	1,983	188	11	Sumas Prom.	228	5,997	95	8

T4, P>30				
G0	2	6	50	41
G1	4	11	29	40
G2	20	8	354	53
G3	0	0		
Sumas Prom.	26	216	270	49

T4, P>23				
G0	2	6	50	41
G1	19	5	66	27
G2	35	7	292	41
G3	6	2	67	36
Sumas Prom.	62	357	215	37

Grupos	No.	Q l/s
Total		
G0	37	5,315
G1	56	626
G2	198	3,104
G3	41	211
Sumas Prom.	332	9,256

Grupos	No.	Q l/s
Total		
G0	109	13,066
G1	139	1,215
G2	256	13,559
G3	98	3,642
Sumas Prom.	602	31,482

Tabla 43. Número y características de plantas para cumplimiento en el **Escenario II**

Δ 1

T2, DQO >200 mg/l				
Grupos	No.	Q l/s	SST mg/l	DQO mg/l
G0	101	119	162	525
G1	93	20	86	338
G2	168	74	133	576
G3	58	59	28	354
Sumas Prom.	420	29,775	130	515

Δ 2

T2, DQO >150 mg/l				
Grupos	No.	Q l/s	SST mg/l	DQO mg/l
G0	106	111	135	454
G1	121	21	59	265
G2	168	61	113	595
G3	74	49	28	341
Sumas Prom.	469	28,059	106	473

T3, N > 70 mg/l

Grupos	No.	Q l/s	NTK mg/l	P mg/l
G0	8	60	88	12
G1	32	6	126	9
G2	81	15	243	11
G3	18	6	123	6
Sumas Prom.	139	1,940	187	11

T3, N > 35 mg/l

Grupos	No.	Q l/s	NTK mg/l	P mg/l
G0	55	165	52	7
G1	87	6	67	7
G2	93	36	179	6
G3	64	8	68	6
Sumas Prom.	299	13,492	85	7

T4, P>30				
G0	2	6	50	41
G1	4	11	29	40
G2	20	8	354	53
G3	0	0		
Sumas Prom.	26	227	274	50

T4, P>18				
G0	7	24	52	28
G1	26	4	59	25
G2	44	7	265	37
G3				
Sumas Prom.	77	614	168	32

Grupos	No.	Q l/s
Total		
G0	111	12,465
G1	129	2,116
G2	269	13,859
G3	76	3,501
Sumas Prom.	585	31,942

Grupos	No.	Q l/s
Total		
G0	168	20,970
G1	234	3,188
G2	305	13,887
G3	138	4,120
Sumas Prom.	845	42,165

En resumen, el número de plantas de tratamiento y el caudal a tratar que se requiere para cumplir con la Norma actual y la Norma modificada es el que muestra en la *Tabla 44* y en la *Tabla 45* para los **Escenarios I y II**, respectivamente.

Tabla 44. Resumen de plantas y caudales para cumplimiento en el Escenario I

Grupos	No. de plantas			Caudales		
				m ³ /s		
	Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 1	Δ 2	Δ 3
Municipales	37	109	72	5.3	13.1	7.8
Servicios	56	139	83	0.6	1.2	0.6
Industrial biodegradable	198	256	58	3.1	13.6	10.5
Industrial con no biodegradable	41	92	51	0.2	3.6	3.4
Sumas	332	596	264	9.3	31.5	22.2

La diferencia del número de plantas de la tabla 42 (602 plantas), Δ 2 con la tabla 44 (596 plantas) se debe a la eliminación de aquellas plantas que tratan menos de 2 l/s.

Tabla 45. Número de plantas y caudales para cumplimiento en el **Escenario II**

Grupos	No. de plantas			Caudales		
				m ³ /s		
	Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 1	Δ 2	Δ 3
Municipales	111	168	57	12.5	21.0	8.5
Servicios	129	234	105	2.1	3.2	1.1
Industrial biodegradable	269	305	36	13.9	13.9	0.0
Industrial con no biodegradable	76	138	62	3.5	4.1	0.6
Sumas	585	845	260	31.9	42.2	10.2

5.4 TRENES TIPO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS DESCARGAS

Se presentan diferentes alternativas de tratamiento, en el entendido de que los principales parámetros a remover o controlar son DQO, SST, metales pesados y nutrientes, pH, temperatura y color.

De acuerdo con los registros del SIRALAB, aproximadamente el 69% de las descargas que vierten a ríos y embalses tienen una concentración de DQO menor que 150 mg/L, tal como se muestra en la *Figura 7*. A reserva de verificar los otros parámetros, es probable que dichas descargas requerirían un tren de tratamiento primario (*Figura 7*).

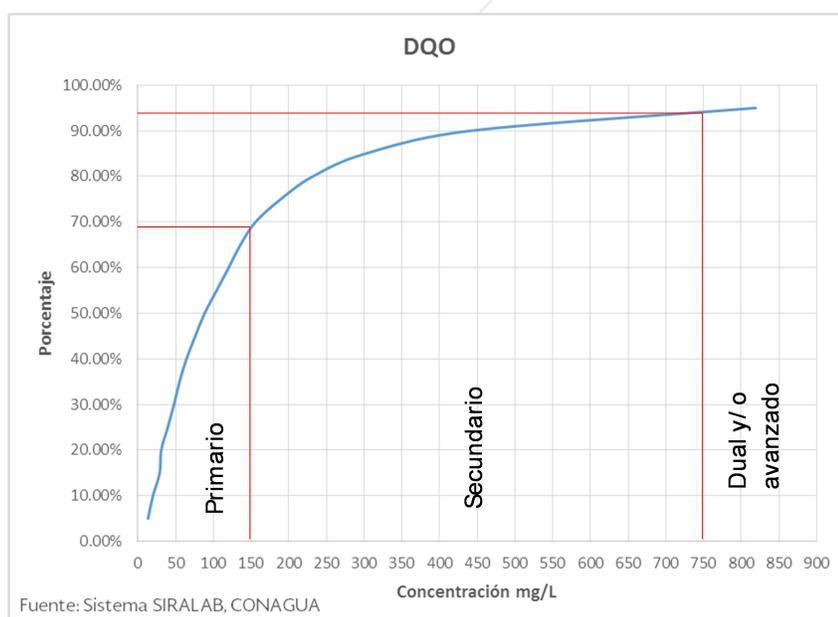


Figura 7. Concentración de DQO en descargas a ríos y embalses (percentil).

Sin embargo, y tal como se señaló en el apartado 5.3 los costos entre el sistema primario con tratamiento químico y el secundario biológico son semejantes, por ello se utiliza como tren básico el proceso biológico de la *Figura 8*.

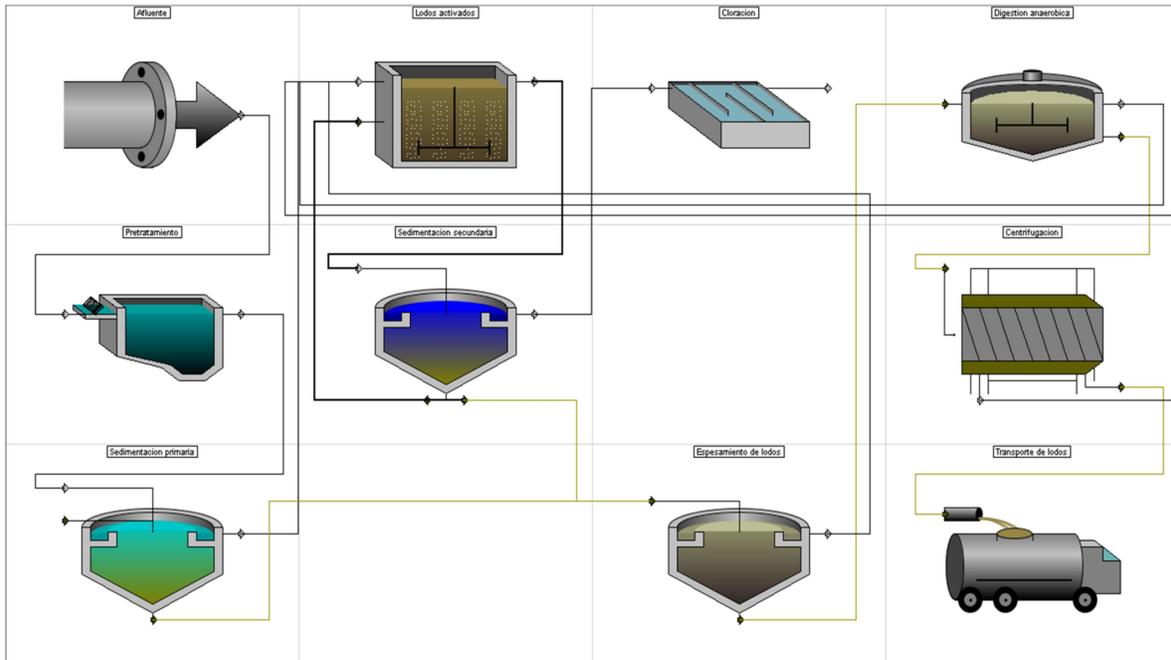


Figura 8. Tren de tratamiento T2-a Tratamiento convencional de lodos activados con digestión aerobia.

Los trenes de tratamiento subsecuentes (*Figura 9, Figura 10, Figura 11 y Figura 12*) son los correspondientes al control de materia orgánica degradable, no degradable y color; remoción de materia orgánica y remoción biológica de nitrógeno; remoción de materia orgánica, nitrógeno y fósforo y el tren adicional para control de metales pesados y cianuros.

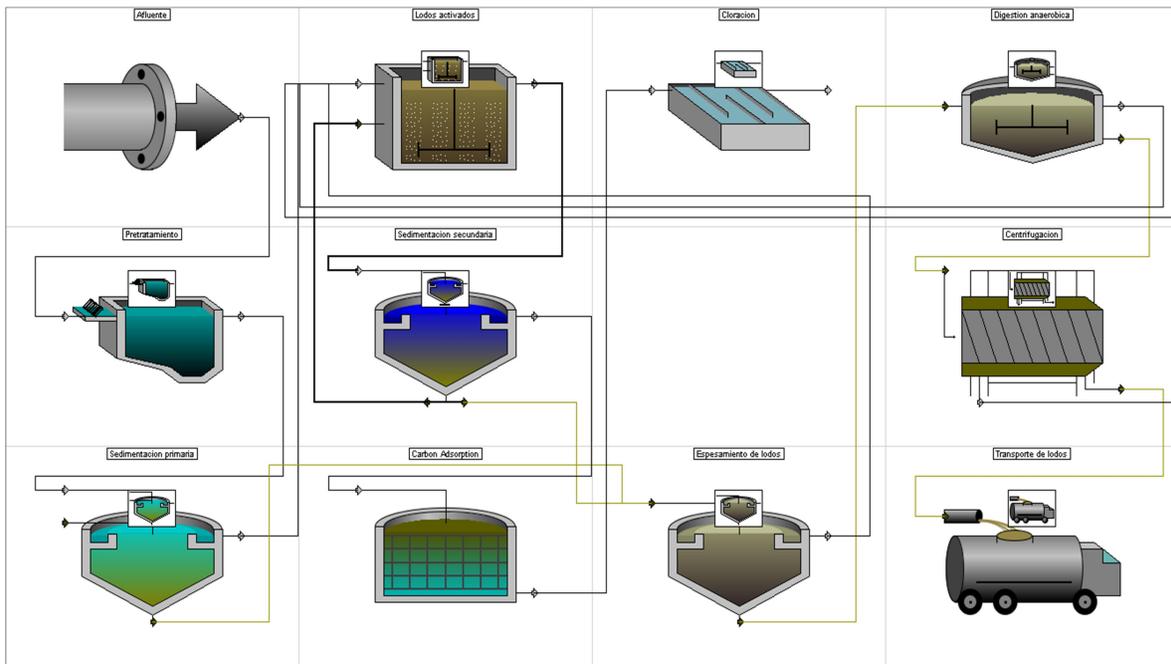


Figura 9. Tren de tratamiento T2-b Tratamiento convencional de lodos activados con carbón activado para remoción de componentes no biodegradables incluyendo color.

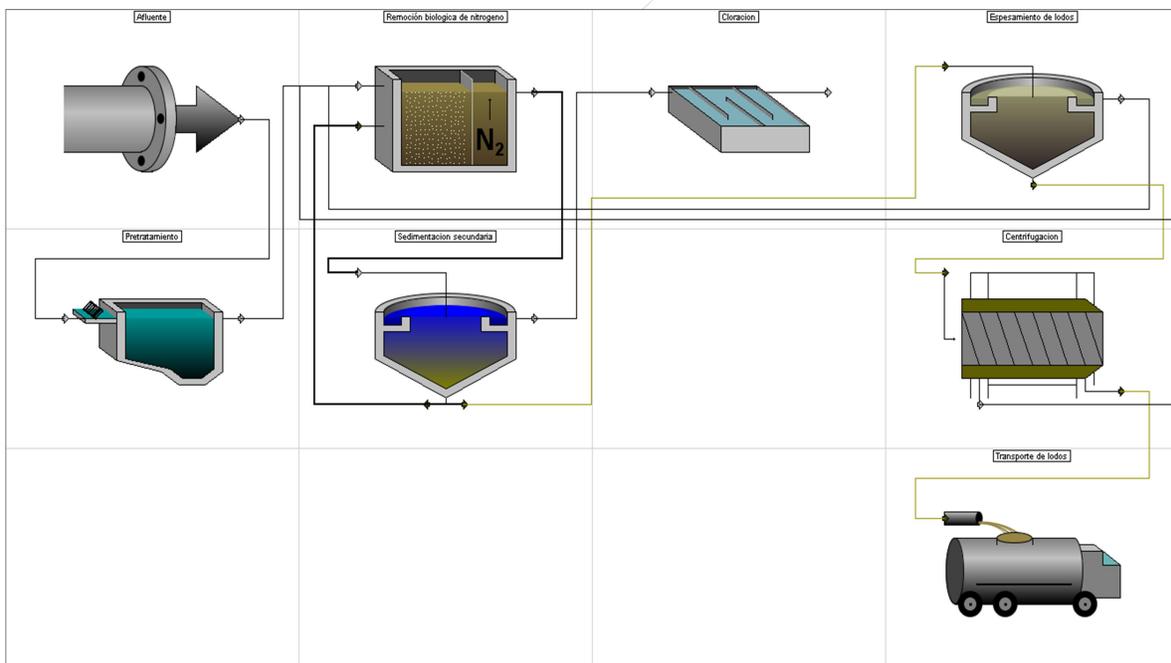


Figura 10. Tren de tratamiento T3. Remoción biológica de materia orgánica y nitrógeno.

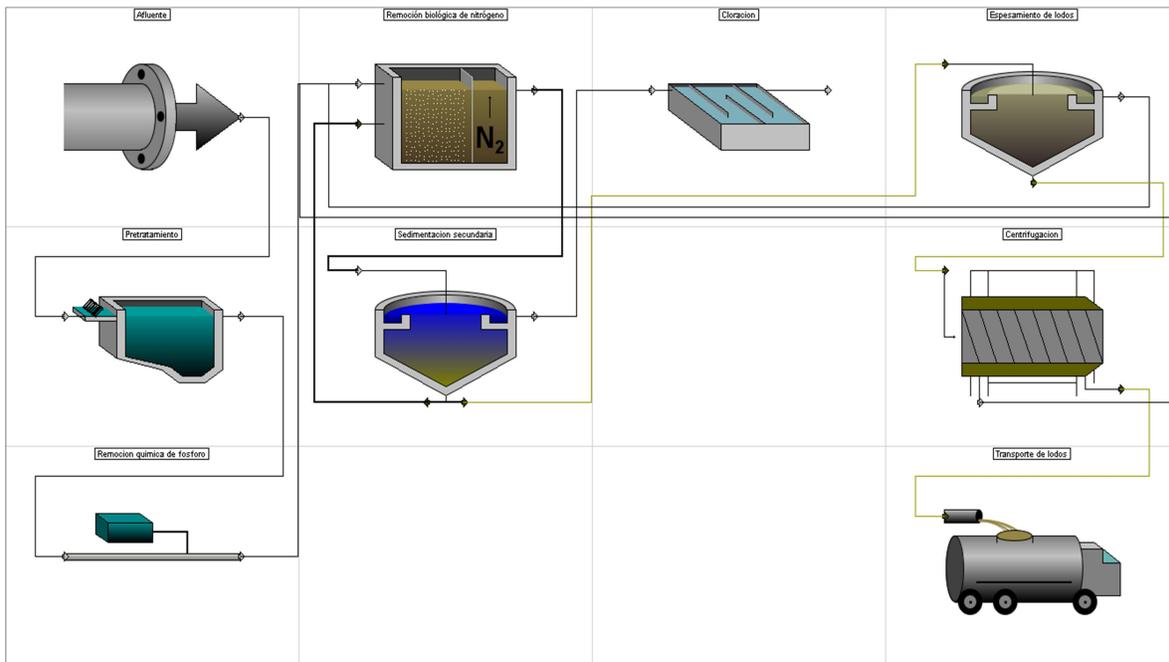


Figura 11. Tren de tratamiento T4. Remoción biológica de nitrógeno y remoción química de fósforo.

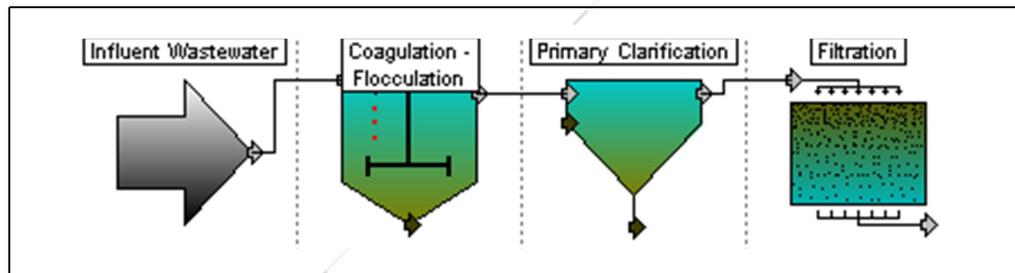


Figura 12. Tren complementario para remoción de metales pesados y cianuros.

Con base en la información analizada, no se detectaron incumplimientos significativos con la Norma de temperatura, y los que se detectaron deben ser controlados con medidas de ajuste de operaciones. Estos incumplimientos se presentan básicamente en el sector industrial.

Color

Para el control del color en las descargas de agua residual, los procesos unitarios de tratamiento más empleados son de coagulación-floculación, con eficiencias de remoción de 70 a 90%. Para colores causados por materia orgánica biodegradable, los procesos convencionales de tratamiento pueden

remover, sin ser ese su objetivo principal, una parte substantiva del color. Para color ocasionado por colorantes orgánicos no bio-degradable, las opciones de tratamiento son adsorción en carbón activado, u oxidación química. Para colorantes inorgánicos existe la opción, generalmente más cara, de ósmosis inversa.

Las alternativas tecnológicas para el control de color en las aguas residuales son:

		Suspendido	Disuelto
Color Orgánico	Biodegradable	Tratamiento biológico convencional	
	No biodegradable	Coagulación-floculación, adsorción en carbón activado, oxidación química	
Color Inorgánico		Coagulación-floculación, adsorción en carbón activado, oxidación química	Ósmosis inversa

Con la excepción de los procesos de ósmosis inversa y oxidación química, los otros procesos (tratamientos biológicos, adsorción en carbón activado y coagulación-floculación) ya están incluidos en los procesos de remoción de metales pesados y cianuros (*Figura 12*).

Toxicidad

Los tratamientos biológicos pueden remover una parte de la toxicidad de ocasionada por compuestos orgánicos. Entre los compuestos tóxicos orgánicos, hay unos que son fácilmente adsorbidos en carbón activado (solventes aromáticos, aromáticos clorados, herbicidas, pesticidas, etc.). Otros compuestos, como los ácidos, aldehídos y quetonas de bajo peso molecular, coloides orgánicos, etc.; se requiere de un proceso de oxidación química. De forma resumida, la tecnología aplicable para el control de la toxicidad es:

Toxicidad generada por:

Metales pesados y cianuros

Compuestos orgánicos

Tecnología:

- Coagulación, floculación, sedimentación y filtración
- Tratamientos biológicos
- Adsorción en carbón activado
- Oxidación química

Los costos de control de toxicidad por compuestos orgánicos están incluidos en los costos de las plantas de tratamiento biológico, con y sin carbón activado (*Figura 9*).

pH

Para el control del pH, se ajustará el valor del mismo con sosa (NaOH), o con ácido sulfúrico (H₂SO₄). Para fines de cálculo, se considera que el agua residual tiene una concentración media de SDT de 1,004 mg/l con aniones como sulfatos, bicarbonatos y cloruros. Para pH superiores a 9 se consideraron también carbonatos.

5.4.1 COSTOS UNITARIOS DE TRATAMIENTO

Para el cálculo de los costos de cumplimiento se analizaron los costos de construcción y operación y mantenimiento de las plantas antes definidas. Para la determinación de los costos fue necesaria la elaboración de anteproyectos de cada tipo de planta para las características de calidad y los caudales medios de cada grupo de descargas y el desarrollo de funciones de costos de cada tipo de planta para diferentes gastos medios de diseño. Los resultados se presentan en esta sección. Los costos fueron calculados para las condiciones económicas de México en el año 2016 y con una paridad peso dólar de 22 \$/dólar. Las premisas económicas, técnicas y financieras de la función de costos desarrollada se muestran en la sección 5.4.2.

5.4.2 PREMISAS TÉCNICAS, ECONÓMICAS Y FINANCIERAS

En la *Tabla 46* y en la *Tabla 47* se muestran las premisas de desarrollo de las funciones de costos. Las premisas técnicas se definieron de acuerdo con los resultados de la determinación de las características medias de las descargas antes mencionadas.

Tabla 46. Premisas financieras y técnicas para el desarrollo de las funciones de costos

Análisis de sensibilidad de indicadores económicos a distintos gastos de diseño
Plantas de tratamiento para descargas tipo del Grupo 2, descargas industriales biodegradables

Premisas financieras:

Tasa de interés 10% anual
Período de retorno de la inversión 25 años

Premisas técnicas

Tratamiento	Parámetro	Valor	Unidad
T2a, T2b, Tratamiento convencional			
	Sólidos Suspendidos	133	g/m ³
	% Sólidos Volátiles	75	%
	DBO	253	g/m ³
	DBO soluble	92	g/m ³
	DQO	576	g/m ³
	DQO soluble	346	g/m ³
	NTK	40	gN/m ³
	NTK Soluble	28	gN/m ³
	Amoniaco	25	gN/m ³
T3.- Remoción biológica de nitrógeno			
	Sólidos Suspendidos	220	g/m ³
	% Sólidos Volátiles	75	%
	DBO	220	g/m ³
	DBO soluble	80	g/m ³
	DQO	500	g/m ³
	DQO soluble	300	g/m ³
	NTK	243	gN/m ³
	NTK Soluble	28	gN/m ³
	Amoniaco	25	gN/m ³
	Fósforo Total	11	gP/m ³
T4.- Remoción biológica de nitrógeno y química de fósforo			
	Sólidos Suspendidos	220	g/m ³
	% Sólidos Volátiles	75	%
	DBO	220	g/m ³
	DBO soluble	80	g/m ³
	DQO	500	g/m ³
	DQO soluble	300	g/m ³
	NTK	354	gN/m ³
	NTK Soluble	28	gN/m ³
	Amoniaco	25	gN/m ³
	Fósforo Total	43	gP/m ³

Tabla 47. Premisas económicas para el desarrollo de las funciones de costos

Premisas económicas		
Concepto	Valor	Unidades
Costo de construcción	450	\$/m ²
Excavación	6.4	\$/m ³
Concreto en muros	700	\$/m ³
Concreto en losas	500	\$/m ³
Renta de equipo	250	\$/hr
Techumbres	170	\$/m ²
Electricidad	0.1	\$/kWh
Andadores	200	\$/m
Costo de terreno	0	\$/ha
Mano de obra en construcción	9	\$/hr
Mano de obra en operación	12	\$/hr
Mano de obra en administración	12	\$/hr
Mano de obra en laboratorio	12	\$/hr
Cal hidratada-[Ca(OH) ₂]	0.18	\$/lb
Al ₂ (SO ₄) ₃ +14H ₂ O	0.27	\$/lb
Cloruro férrico	0.36	\$/lb
Polímero	1.3	\$/lb
Ácido cítrico 50%	0.52	\$/lb
NaOCl 14%	9.76	\$/ft ³
NaOH, 50%	9,500	\$/ton
H ₂ SO ₄ , 98%	4,150	\$/ton
Ingeniería, supervisión, utilidad, imprevistos	0	%

Vale la pena subrayar que los costos se estimaron sin considerar costos de terrenos ni costos externos indirectos, tales como: proyectos de ingeniería, supervisión, administración de proyecto, costos legales y financiamiento durante la construcción de la planta, permisos de construcción, acometida eléctrica, etcétera.

5.4.3 FUNCIÓN DE COSTOS

Las funciones de costos se computaron con ecuaciones paramétricas y para mayor exactitud se desarrollaron dos juegos de ecuaciones paramétricas, una para gastos de 5 a 50 l/s (gastos pequeños) y otra para gastos mayores, de 50 a 250 l/s. Los resultados se muestran la *Tabla 48*.

Tabla 48. Ecuaciones paramétricas de las funciones de costos

Ecuación general: $y = a * x^b$, "X" en l/s

Concepto "y"	Unidades	T2		T3		T4	
		a	b	a	b	a	b
Plantas chicas, 5 a 50 l/s							
Inversión	M\$	29.76	0.29	18.66	0.45	21.11	0.49
Costo anual total	M\$/año	5.00	0.29	3.45	0.46	3.90	0.58
Costo unitario	\$/m ³	158.48	-0.71	109.45	-0.54	123.81	-0.42
Plantas grandes, 50 a 250 l/s							
Inversión	M\$	13.05	0.54	9.34	0.66	9.52	0.73
Costo anual total	M\$/año	2.23	0.54	1.68	0.68	1.88	0.80
Costo unitario	\$/m ³	70.68	-0.46	53.33	-0.32	59.73	-0.20

Para las plantas tipo T2b (tratamiento convencional con adsorción en carbón activado para la remoción de la componente orgánica no-biodegradable en el grupo G3) se calculó sobre costos de 25% sobre los costos de las plantas tipo T2a. Los resultados obtenidos del desarrollo de las ecuaciones paramétricas se muestran gráficamente en las *Figura 13*, *Figura 14* y *Figura 15*.

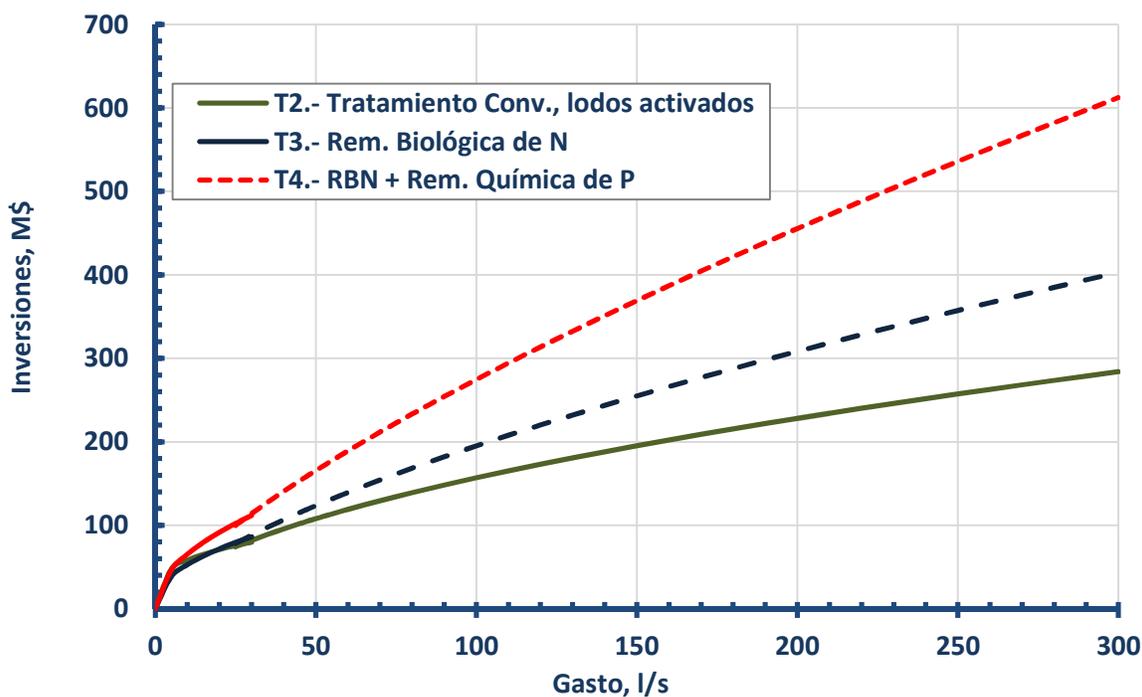


Figura 13. Costos de construcción de plantas en función del caudal

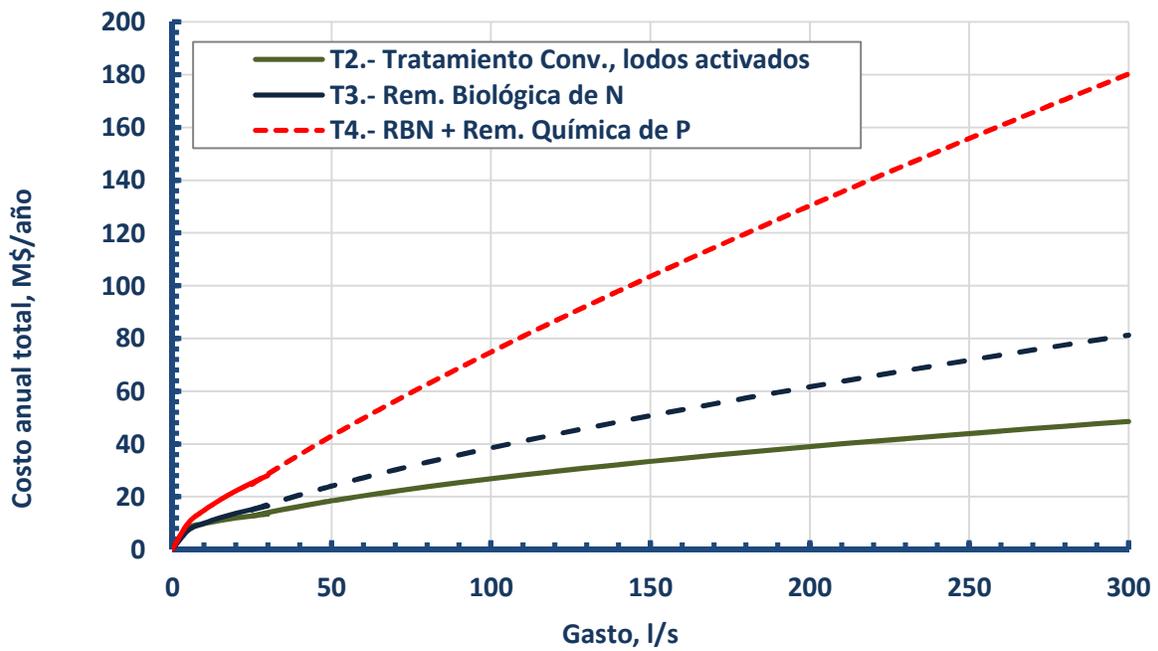


Figura 14. Costo anual de tratamiento en función del caudal

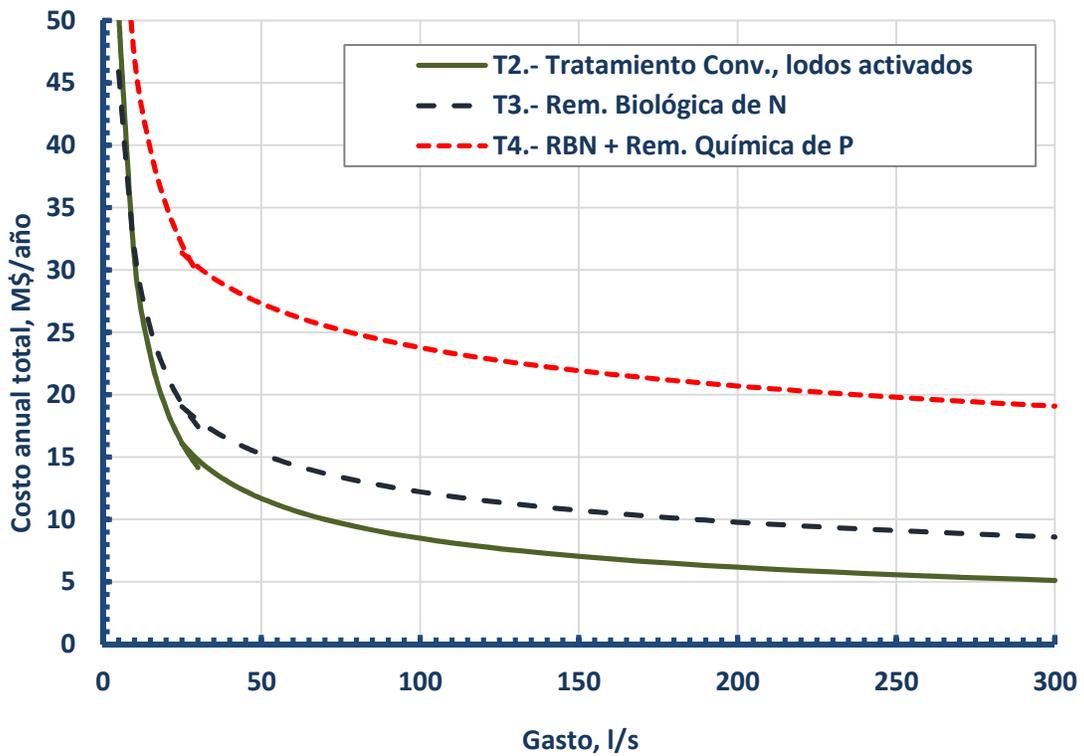


Figura 15. Costo unitario de tratamiento en función del caudal

El costo anual total está formado de dos componentes: los costos de amortización de la inversión, o costos de capital, y los costos de operación y mantenimiento, la relación entre estos dos componentes es relativamente constante para cada tipo de planta de tratamiento y se muestra en la *Tabla 49*. Los costos de operación y mantenimiento, a su vez, están conformados por cuatro componentes principales: energía eléctrica, productos químicos, mano de obra y fondo para la reposición de equipos y el mantenimiento de la infraestructura.

Tabla 49. Componentes del Costo Anual Total

Planta	Plantas chicas		Plantas grandes		Promedio	
	O&M	CC	O&M	CC	O&M	CC
T2.- Lodos activados convencional	32%	68%	31%	69%	32%	68%
T3.- Remoción Biol. de N	39%	61%	41%	59%	40%	60%
T4.- RBN + Rem. química de P	52%	48%	58%	42%	55%	45%

5.4.4 COSTOS DE TRATAMIENTO

Los costos de tratamiento fueron calculados individualmente para cada tipo de planta y sus correspondientes gastos medios, complementado con la aplicación de las ecuaciones paramétricas antes mencionadas. Los resultados se muestran en la *Tabla 50*.

Tabla 50. Resumen de costos

	No. de plantas	Gasto total	Valor presente	Inversión	O&M	Costo de capital	Costo anual total	Costo unitario
		m ³ /s	mM\$	mM\$	mM\$/año	mM\$/año	mM\$/año	\$/m ³
Escenario I, normas de Cuerpo A para 1996 y de ríos para 2016								
Δ 1	332	9.3	41	26.1	1.6	2.9	4.5	15.4
Δ 2	596	31.5	104	67.7	4.1	7.5	11.5	11.6
Δ 3	264	22.2	64	41.6	2.4	4.6	7.0	10.0
Escenario II, normas de Cuerpo B para 1996 y de embalses para 2016								
Δ 1	585	31.9	101	59.3	4.6	6.5	11.1	11.1
Δ 2	845	42.2	133	72.7	6.7	8.0	14.7	11.0
Δ 3	260	10.2	32	13.3	2.1	1.5	3.5	11.0
Promedio								
Δ 1	459	21	71	43	3.1	4.7	7.8	12.0
Δ 2	721	37	119	70	5.4	7.7	13.1	11.3
Δ 3	262	16.2	47.9	27.5	2.2	3.0	5.3	10.3

mM\$ = miles de millones de pesos

En el caso específico del pH, para calcular la cantidad de reactivo requerido se consideró que el agua residual tendría una concentración media de SDT de 1,004 mg/l con aniones como sulfatos, bicarbonatos y cloruros, para pH superiores a 9 se consideraron también carbonatos. Con base en ello se calculó que para llevar un agua de pH 5 a un pH de 6.7 se requieren 1537 mg/L de sosa, para un pH de 5.5 para alcanzar 6.7 se requieren 327 mg/l y para un pH de 6 para alcanzar un nivel de 6.7 se requieren 88 mg/l. En el caso del ácido sulfúrico, por tener dos hidrógenos desplazables, se requiere menor cantidad. Para llevar de un pH de 9.5 a 8.3 se requieren 159 mg/l, mientras que para bajar el pH de 8.7 a 8.3 se requieren 20 mg/l. Las dosis fueron calculadas utilizando un paquete informático que calcula el potencial de incrustación o corrosión del agua y la cantidad de reactivo requerido para llevarla a un pH determinado.

Los valores de pH tomados son en los que cae la mayoría de las descargas del SIRALAB.

El costo de la tonelada de sosa fue de \$9,500.00 (\$ 4,750 sosa líquida al 50%) y para el ácido sulfúrico \$ 4,150 la tonelada. En la Tabla 51 se presenta la estimación del costo para el control del pH.

Tabla 51. Estimación del costo para el control del pH

		No. de plantas	Gasto total (l/s)	Gasto medio (l/s)	Sosa (ton/año)	H ₂ SO ₄ (ton/año)	Monto (\$ millones)
Δ 1 1996	G0	6	389	65	13,426	1,413	133.4
	G1	19	194	10	9,403		89.3
	G2	13	125	10	6,059	1,577	64.1
	G3	13	185	14	6,187	718	61.8
	Suma	51	893		35,076	3,708	348.6
Δ 3 2016	G0	99	17,339	104	29,337	6,949	307.5
	G1	249	8,971	24	10,391	4,624	117.9
	G2	172	22,239	111	17,602	10,738	211.8
	G3	207	12,789	45	22,685	10,546	259.3
	Suma	727	61,338		80,016	32,857	897
Δ 2 2016-199	G0	105	17,728	169	42,764	8,362	441
	G1	268	9,165	34	19,794	4,624	207
	G2	185	22,364	121	23,661	12,315	276
	G3	220	12,974	59	28,872	11,264	321
	Suma	817	62,231		115,092	36,565	1,245

El costo unitario del tratamiento para cada grupo analizado se muestra en la *Tabla 52*. Cabe resaltar que el costo unitario es menor con la NOM-2016 porque los intervalos de control del pH son más pequeños. Se parte de la premisa de que para cumplir con la nueva propuesta el pH mínimo de las descargas que no cumplen es de 5, y el máximo de 10, esto es, se parte de 5 para alcanzar al menos 6.5 y de 10 para alcanzar 8.5.

Tabla 52. Costo unitario para control de pH

	Grupo	Costo unitario \$/m³
Δ1 NOM-1996	G0	10.88
	G1	14.60
	G2	16.26
	G3	10.59
Δ2 NOM-2016	G0	0.79
	G1	0.72
	G2	0.39
	G3	0.78
Δ3 Δ2-Δ1	G0	0.56
	G1	0.42
	G2	0.30
	G3	0.64

El costo unitario del grupo Δ1, se aplica sólo a 51 plantas de tratamiento de un universo de 459 plantas de tratamiento (Tabla 50) lo que representa el 11% y con respecto al volumen es el 4.3% el volumen que requiere de tratamiento para cumplir con la Norma actual.

El universo de plantas que requieren de atención para cumplir con el pH, de la Norma propuesta, implica la totalidad de plantas que requieren modificarse para cumplir con los nuevos parámetros.

5.4.5 INFRAESTRUCTURA Y COSTOS DE TRATAMIENTO POR GRUPO GENERADOR DE LA DESCARGA

Las necesidades y costos de tratamiento para cumplir con las NOM-001 en su versión de 1996 y en su versión modificada fueron calculados para cada grupo de descargas, según la actividad generadora de la descarga, como antes se explicó, con los resultados que se muestran en la *Tabla 53*.

Tabla 53. Costos desagregados por grupo generador de la descarga

	No. de plantas	Gasto Total m ³ /s	Valor presente miles M\$	Inversión miles M\$	Op & Mant miles M\$/año	Costo de capital miles M\$/año	Costo anual total miles M\$/año	Costo unitario \$/m ³	
Δ 1	G0	74.00	8.89	21.40	12.75	0.95	1.40	2.36	8.42
	G1	93	1.37	9.68	5.10	0.50	0.56	1.07	24.69
	G2	234	8.48	33.98	19.61	1.58	2.16	3.74	14.01
	G3	59	1.86	9.01	5.22	0.42	0.57	0.99	16.98
	Suma	459	20.60	74.08	42.68	3.46	4.70	8.16	12.58
Δ 2	G0	139	17.02	42.55	22.60	2.20	2.49	4.69	8.74
	G1	187	2.20	18.43	9.45	0.99	1.04	2.03	29.28
	G2	281	13.72	48.86	27.34	2.37	3.01	5.38	12.45
	G3	115	3.88	20.26	10.78	1.05	1.19	2.23	18.29
	Suma	721	36.8	130.1	70.17	6.60	7.73	14.33	12.36
Δ 3	G0	65	8.13	21.15	9.85	1.24	1.09	2.33	9.10
	G1	94	0.83	8.75	4.35	0.48	0.48	0.96	36.86
	G2	47	5.24	14.87	7.73	0.79	0.85	1.64	9.93
	G3	57	2.02	11.25	5.56	0.63	0.61	1.24	19.49
	Suma	262	16.2	56.02	27.49	3.14	3.03	6.17	12.08

En forma gráfica, los resultados se muestran en la *Figura 16*, *Figura 17*, *Figura 18* y *Figura 19*.

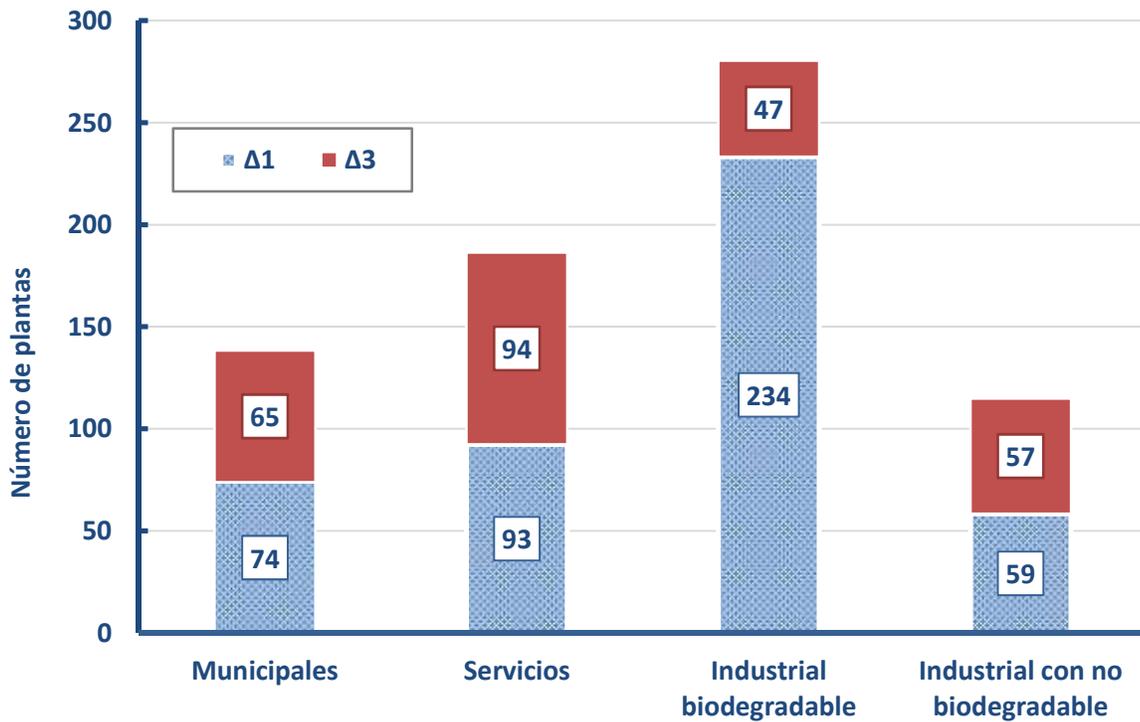


Figura 16. Número de plantas requeridas por grupo de descargas

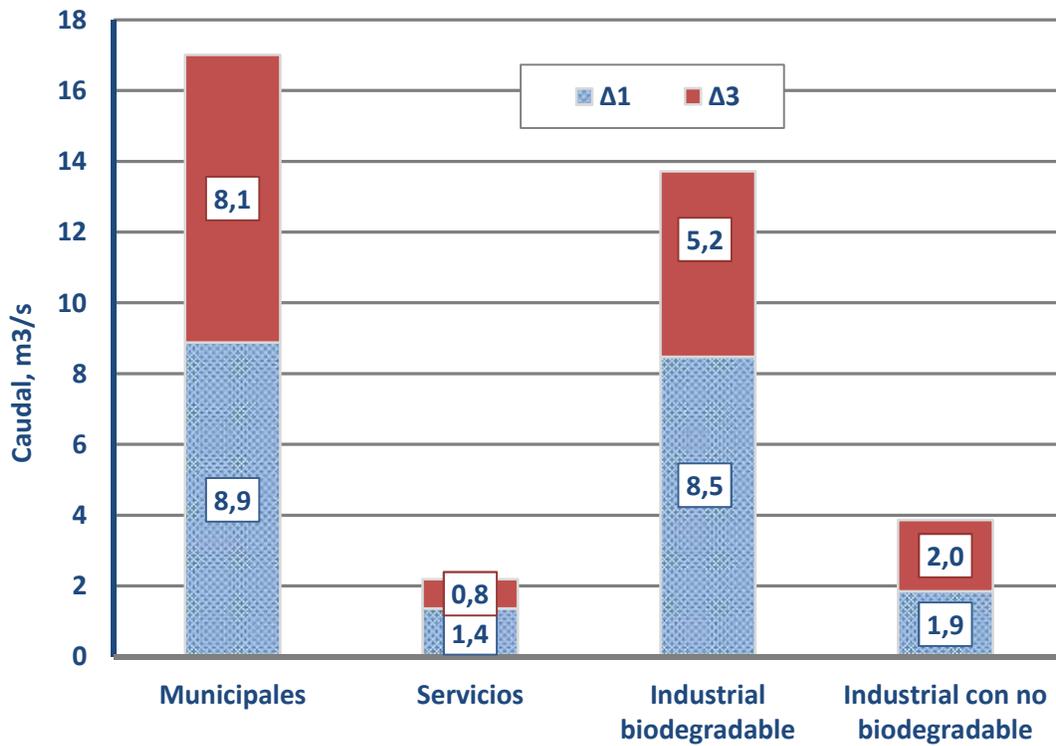


Figura 17. Caudales de tratamiento de aguas residuales por grupo de descargas

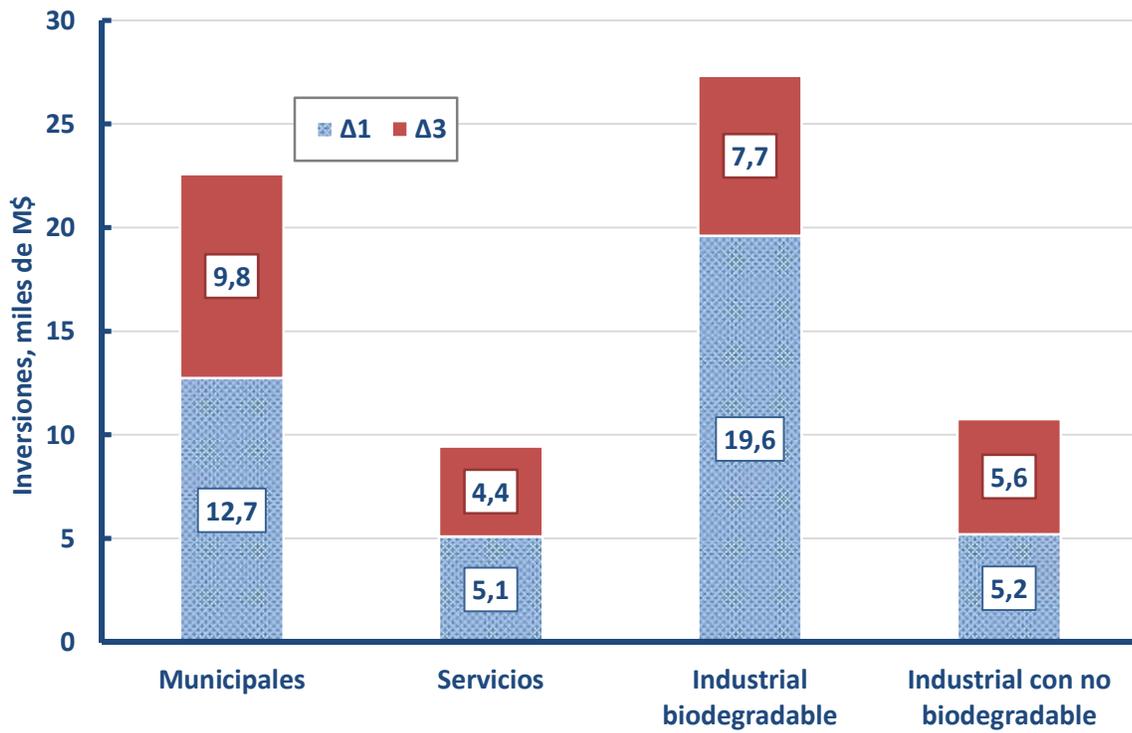


Figura 18. Inversiones en plantas de tratamiento por grupo de descargas

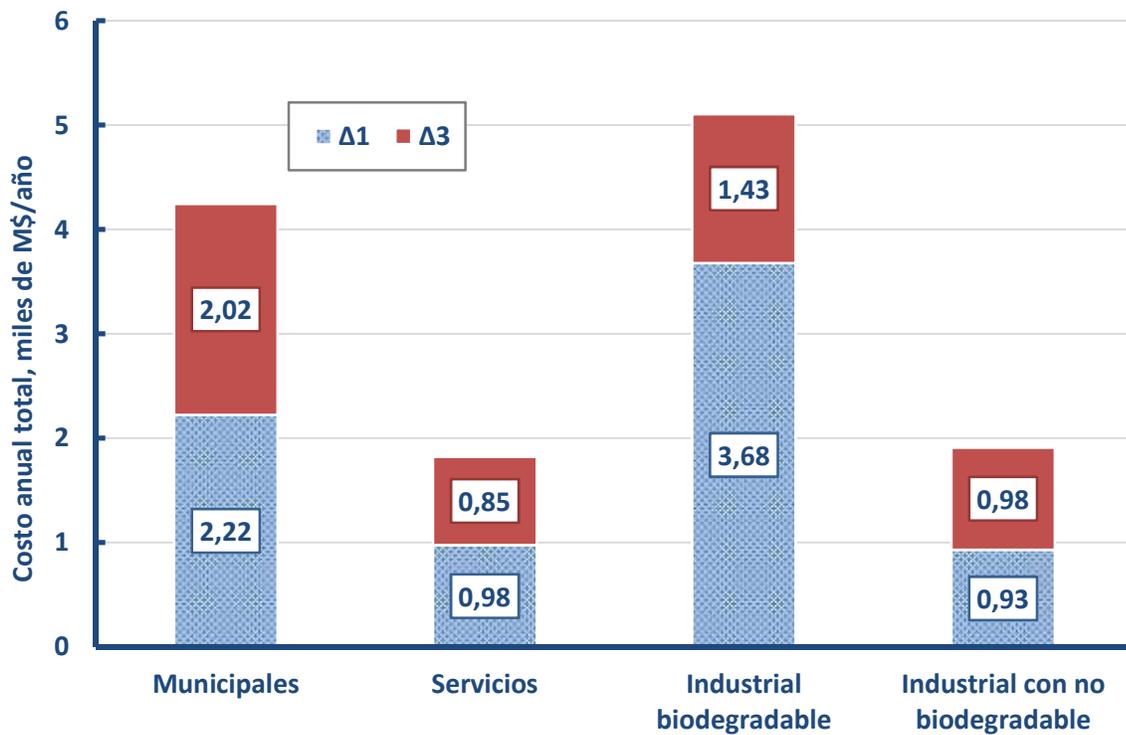


Figura 19. Costo anual de tratamiento por grupo de descargas

Tal como se comentó previamente, el costo por remoción de metales pesados y cianuros puede ser considerado como un tratamiento adicional o incremental. Los resultados desagregados para la remoción de estos contaminantes y para cada uno de los cinco grupos generadores de descargas, se presentan en la *Tabla 54*. Las consideraciones para el costeo son las mismas que para los cinco contaminantes básicos.

Tabla 54. Costos de cumplimiento desagregados por grupo generador de la descarga (metales pesados y cianuros).

	No de plantas	Q medio l/s	Construcción M\$	O&M M\$/año	Costo de capital M\$/año	Costo anual total M\$/año	Costo unitario \$/m ³
G0	4	42	250	25	10	36	7
G1	21	11	609	72	30	102	14
G2	46	10	1,285	154	65	219	15
G3	51	22	2,153	230	97	327	9
G1E	5	10	139	17	7	24	15
Sumas	127	16	4,435	497	210	707	11

Los costos unitarios de tratamiento reflejan las economías de escala, para plantas de bajo caudal los costos unitarios se elevan a 14 y 15 \$/m³, lo que vuelve atractivo el evalúo de opciones de control de contaminación en el origen para evitar los altos costos de tratamiento. Para descargas de mayor caudal de diseño los costos unitarios bajan 7 y 9 \$/m³.

Para el escenario más realista de costos de cumplimiento considerando que algunas de estas descargas estarían sujetas tratamiento convencional previo al tratamiento para remoción de metales pesados y cianuros el costo de tratamiento sería un 20% menor al estimado en la *Tabla 54*.

5.4.6 INFRAESTRUCTURA Y COSTOS DE TRATAMIENTO POR TIPO DE PLANTA

Las características y costos de plantas fueron desagregados por tipo de planta con los resultados que se muestran en la *Tabla 55*.

Tabla 55. Costos desagregados por tipo de planta

		No. de plantas	Gasto Total m ³ /s	Valor presente miles M\$	Inversión miles M\$	Op & Mant miles M\$/año	Costo de capital miles M\$/año	Costo anual total miles M\$/año	Costo unitario \$/m ³
Δ 1	T2a	253	16.7	45.8	28.5	2.11	3.1	5.3	10.01
	T2b	41	1.8	7.1	4.5	0.32	0.5	0.8	14.79
	T3	139	2.0	14.8	8.2	0.81	0.9	1.7	27.74
	T4	26	0.2	3.2	1.5	0.21	0.2	0.4	53.20
	Sumas	459	20.6	70.91	42.68	3.45	4.7	8.2	12.57
Δ 2	T2a	330	23.1	62.7	40.2	3.1	4.4	7.5	10.27
	T2b	61	3.5	13.1	8.5	0.6	0.9	1.6	14.29
	T3	264	9.7	35.9	18.1	2.4	2.0	4.4	14.35
	T4	67	0.5	7.1	3.3	0.5	0.4	0.9	58.63
	Sumas	721	36.8	118.8	70.17	6.6	7.7	14.3	12.36
Δ 3	T2a	77	6.5	16.9	11.7	0.8	1.3	2.1	10.29
	T2b	21	1.7	6.0	4.0	0.3	0.4	0.7	13.78
	T3	125	7.8	21.0	9.9	1.7	1.1	2.8	11.44
	T4	41	0.3	3.9	1.8	0.3	0.2	0.5	64.63
	Sumas	262	16.2	47.9	27.5	3.1	3.0	6.17	12.08

Los mismos resultados se muestran en forma gráfica en las *Figura 20, Figura 21, Figura 22 y Figura 23.*

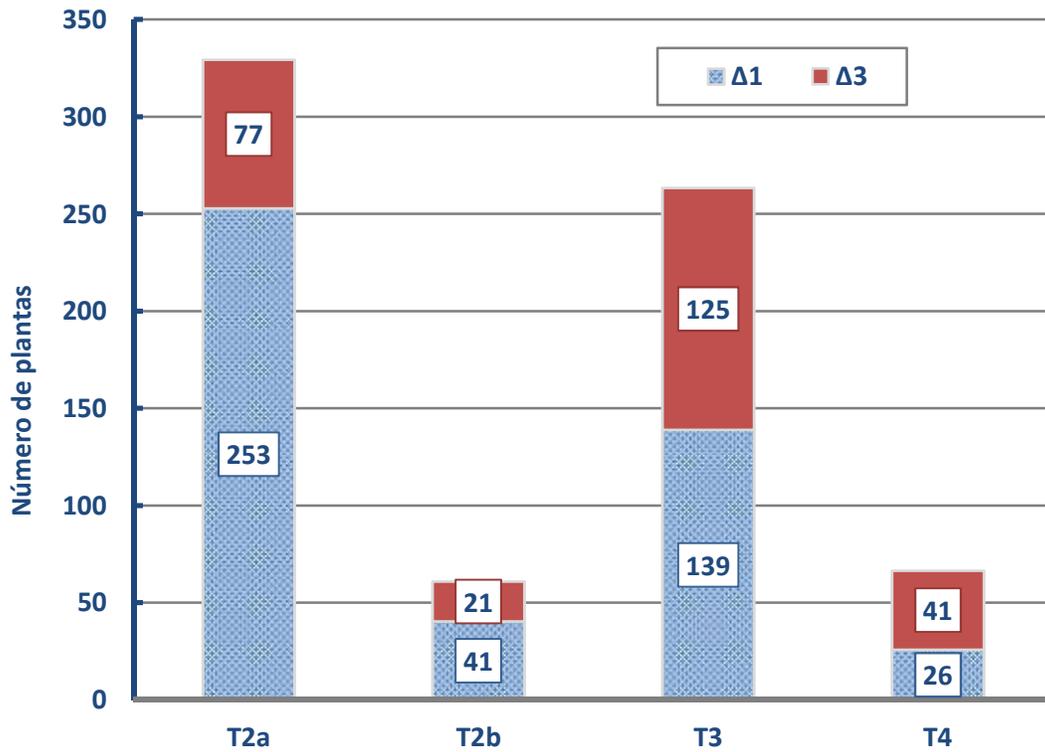


Figura 20. Número de plantas por tipo de planta

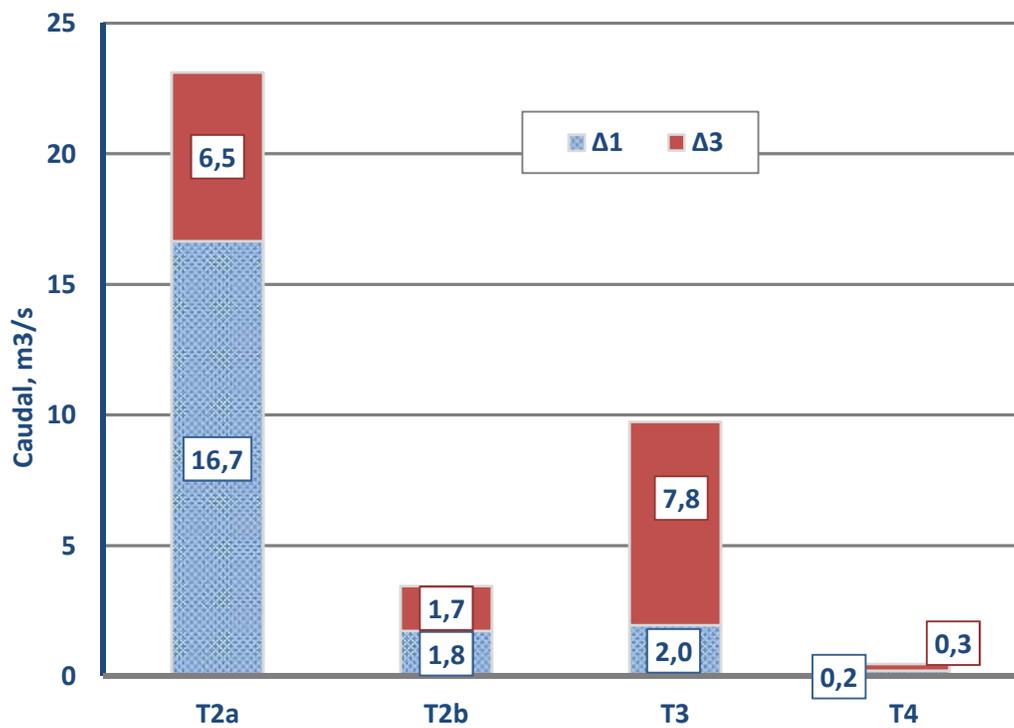


Figura 21. Caudales de tratamiento de aguas residuales por tipo de planta

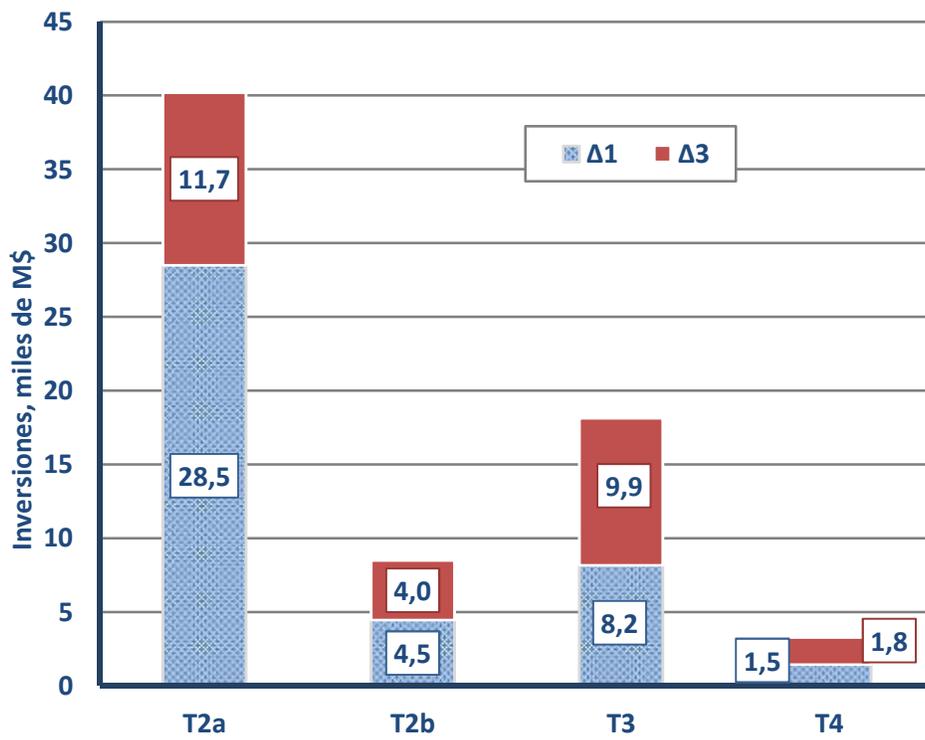


Figura 22. Inversiones en plantas por tipo de planta

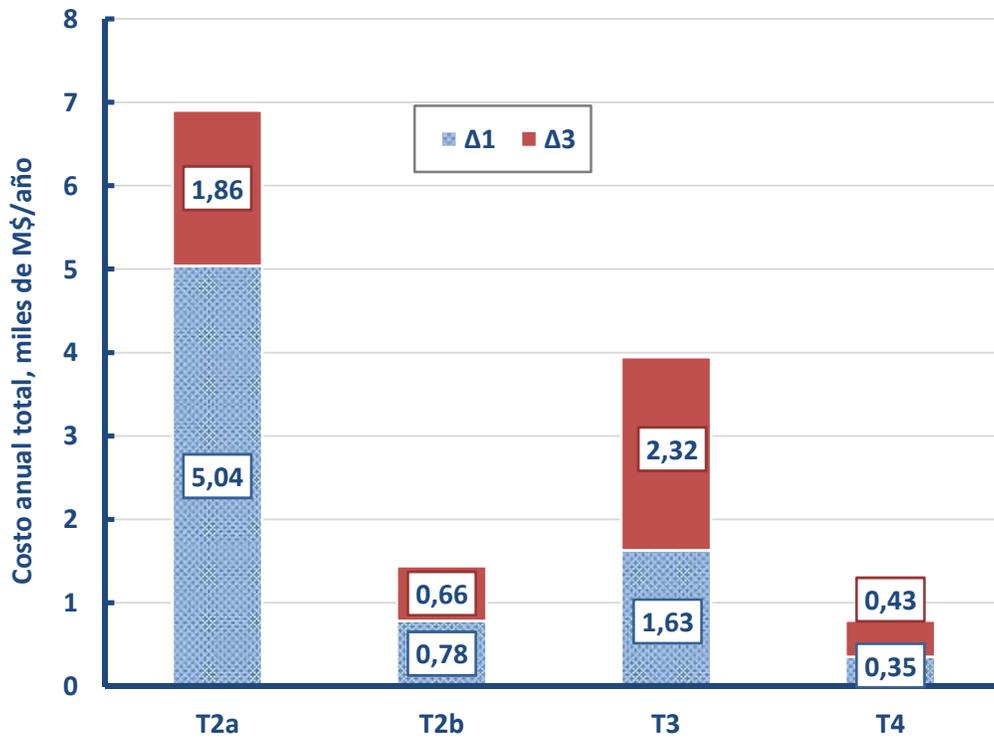


Figura 23. Costo anual total por tipo de planta

5.5 COSTOS DE CUMPLIMIENTO CON LA NOM-001-SEMARNAT-1996 VIGENTE Y CON EL ANTEPROYECTO DE MODIFICACIÓN A LA NOM-001-SEMARNAT-1996

Del caudal total de aguas residuales descargadas (558 m³/s) un volumen considerable corresponde a descargas del sector de generación de energía (G1E, 388 m³/s) que, con mínima excepción, no presentan problemas de contaminación de sólidos suspendidos ni de DQO, N o P. De las descargas restantes, un gran número tiene gastos tan pequeños que su caudal agregado es de sólo 1.3 m³/s dividido en 4,184 descargas y cuya contaminación es más económico controlarla en el origen que con plantas de tratamiento, ya que, por su tamaño tan pequeño, sus costos unitarios se elevarían a más de 50 \$/m³. De las descargas restantes la mayor fracción cumplen con la NOM modificada (1,655 descargas con 131.6 m³/s de caudal) y son las descargas restantes las que deben de ser tratadas (721 descargas con 36.8 m³/s). Los datos anteriores se muestran resumidos en la *Tabla 56* y en la *Figura 24*.

Tabla 56. Descargas, caudales y necesidades de tratamiento

Concepto	Número de descargas	Gasto m/s
Grupo de energía	232	387.8
Descargas chicas	4,184	1.3
Descargas que cumplen	1,655	131.6
Descargas a tratar	721	36.8
Total	6,791	557.5

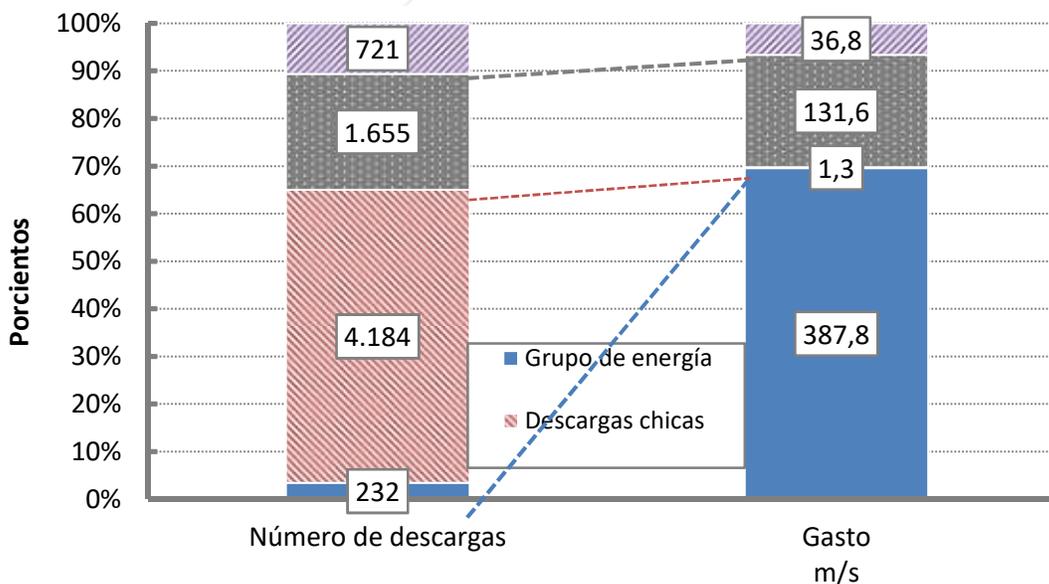


Figura 24. Distribución porcentual de descargas y caudales

El costo anual total de cumplimiento con las modificaciones a la NOM es 6.17 miles de millones de pesos, y el costo anual total para cumplimiento con la Norma modificada, a partir de las condiciones actuales de 14.33 miles de millones de pesos. Las inversiones y los caudales a tratar se presentan en forma resumida en la *Tabla 57*.

Tabla 57. Costos de cumplimiento

Concepto	$\Delta 1$ Para cumplir con la Norma actual	$\Delta 3$ Incremento para cumplir con la Norma modificada	$\Delta 2$ Totales para cumplir con la Norma modificada	Unidades
Caudal a tratar	20.60	16.22	36.82	m ³ /s
No. de PTARs	459	262	721	
Inversiones	42.68	27.49	70.17	miles de M\$
Costos de O&M	3.45	3.14	6.60	mM\$ por año
Costo anual total	8.15	6.17	14.33	mM\$ por año
Costo promedio de tratamiento	12.57	12.08	12.36	\$/m ³

La infraestructura y costos requeridos para el cumplimiento se presentan en forma desagregada por sector en la *Tabla 58*, en la cual se incorpora el costo que implicaría cumplir con el pH. Como puede observarse en la misma, los costos unitarios promedio de tratamiento para el sector municipal rondan los 9\$/m³, en tanto que para el sector de comercios y servicios el costo oscila entre los 20 y 37\$/m³ debido, no a altas concentraciones de contaminantes, sino al bajo caudal medio por descarga. Para el sector de la industria de transformación los costos unitarios para la industria con descargas biodegradables varían de 9 a 14\$/m³, en tanto que para el sector industrial con descargas que llevan una componente de materia orgánica no biodegradable, los costos son del orden de 17 a 19\$/m³.

Tabla 58. Costos de cumplimiento desagregados por sector

Grupo		No. de plantas	Gasto Total m ³ /s	Valor presente miles M\$	Inversión miles M\$	Op & Mant miles M\$/año	Costo de capital miles M\$/año	Costo anual total miles M\$/año	Costo unitario \$/m ³
Δ 1	G0	74.00	8.89	21.40	12.75	0.95	1.40	2.36	8.42
	G1	93	1.37	9.68	5.10	0.50	0.56	1.07	24.69
	G2	234	8.48	33.98	19.61	1.58	2.16	3.74	14.01
	G3	59	1.86	9.01	5.22	0.42	0.57	0.99	16.98
	Suma	459	20.60	74.08	42.68	3.46	4.70	8.16	12.58
Δ 2	G0	139	17.02	42.55	22.60	2.20	2.49	4.69	8.74
	G1	187	2.20	18.43	9.45	0.99	1.04	2.03	29.28
	G2	281	13.72	48.86	27.34	2.37	3.01	5.38	12.45
	G3	115	3.88	20.26	10.78	1.05	1.19	2.23	18.29
	Suma	721	36.8	130.1	70.17	6.60	7.73	14.33	12.36
Δ 3	G0	65	8.13	21.15	9.85	1.24	1.09	2.33	9.10
	G1	94	0.83	8.75	4.35	0.48	0.48	0.96	36.86
	G2	47	5.24	14.87	7.73	0.79	0.85	1.64	9.93
	G3	57	2.02	11.25	5.56	0.63	0.61	1.24	19.49
	Suma	262	16.2	56.02	27.49	3.14	3.03	6.17	12.08

La infraestructura y costos requeridos para el cumplimiento se presentan en forma desagregada por tipo de planta en la *Tabla 59*, donde se observa que las mayores necesidades de tratamiento son de plantas del tipo T2, tratamiento convencional de lodos activados con y sin adsorción con carbón activado. La modificación de la Norma impacta mayormente en los costos de las plantas del tipo T2 y T3. Para la remoción de P, si bien los costos globales son relativamente bajos en proporción a los demás costos, los costos unitarios son muy altos por dos razones:

1. Las plantas de este tipo son para gastos relativamente bajos
2. El alto costo del reactivo.

El costo de operación de las plantas para remoción de P es del orden de 50% del costo anual total. En lo que corresponde al costo de operación, el costo de productos químicos, en particular el costo del

cloruro férrico para la precipitación del P, es de un 35% del costo de operación. Este costo fue calculado para una concentración inicial de P de 43 mg/l.

Tabla 59. Costos desagregados por tipo de planta

Grupo	No. de plantas	Gasto Total	Valor presente	Inversión	O&M	Costo de capital	Costo anual total	Costo unitario	
		m ³ /s	miles M\$	miles M\$	miles M\$/año	miles M\$/año	miles M\$/año	\$/m ³	
Δ 1	T2	294	18.4	52.9	33.0	2.2	3.6	5.8	10.0
	T3	139	2.0	14.8	8.2	0.7	0.9	1.6	26.4
	T4	26	0.2	3.2	1.5	0.2	0.2	0.4	50.7
	Sumas	459	20.6	70.9	42.7	3.1	4.7	7.8	12.0
Δ 2	T2	391	26.6	75.8	48.7	3.0	5.4	8.4	10.0
	T3	264	9.7	35.9	18.1	2.0	2.0	4.0	12.9
	T4	67	0.5	7.1	3.3	0.4	0.4	0.8	52.1
	Sumas	721	36.8	118.8	70.2	5.4	7.7	13.1	11.3
Δ 3	T2	97	8.2	22.9	15.7	0.8	1.7	2.5	9.8
	T3	125	7.8	21.0	9.9	1.2	1.1	2.3	9.5
	T4	41	0.3	3.9	1.8	0.2	0.2	0.4	53.3
	Sumas	262	16.2	47.9	27.5	2.2	3.0	5.2	10.3

Resulta ilustrativo comparar los resultados de las necesidades totales de tratamiento, Δ2, para cumplir con la Norma modificada a partir de las condiciones actuales, con los correspondientes a una planta recientemente construida con un caudal similar. El caudal total a tratar en Δ2 es de 36.8 m³/s con una inversión total estimada de 70.2 miles de M\$ y un costo anual total de 13.1 miles de M\$. El gasto de diseño de la planta Atotonilco es de 35 m³/s con una inversión total (actualizada a pesos de diciembre de 2016) del orden de 13 mil M\$ y un costo anual total del orden de 1.7 miles de M\$. La diferencia en costos, del orden de 5:1 en inversión y de 7.3:1 en costo anual total se explica por:

- a) la economía de escala en la inversión en la construcción de grandes plantas y,
- b) en el sustancial ahorro en los costos de operación que se logra con la recuperación de energía de los gases que se generan en la digestión de los lodos.

En la *Figura 25* y en la *Figura 26* se muestran, en forma gráfica, los diferenciales en infraestructura requerida y en costos que representa el cumplimiento con la Norma actual y con la Norma modificada.

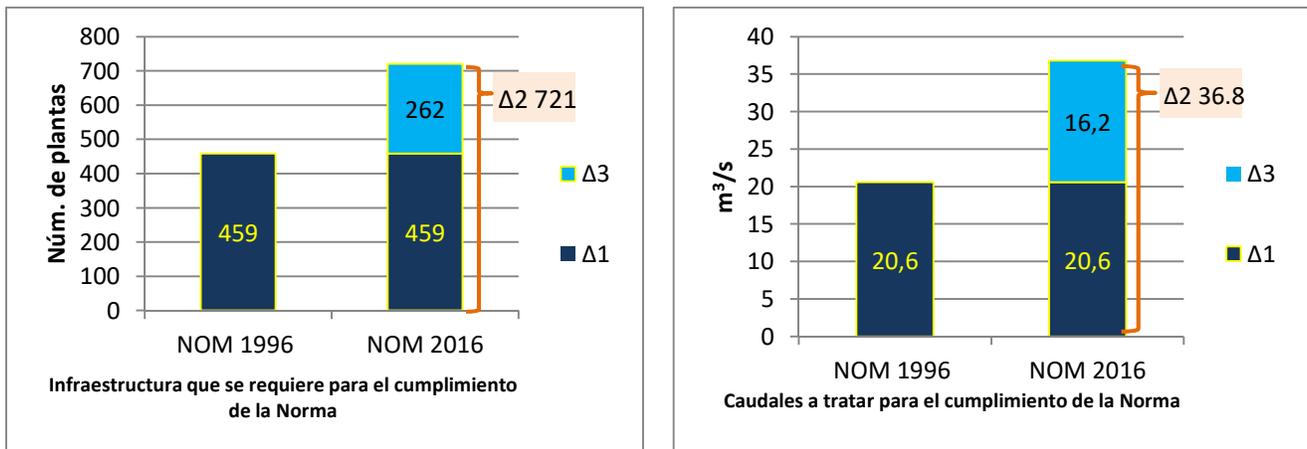


Figura 25. Número de plantas y caudales a tratar

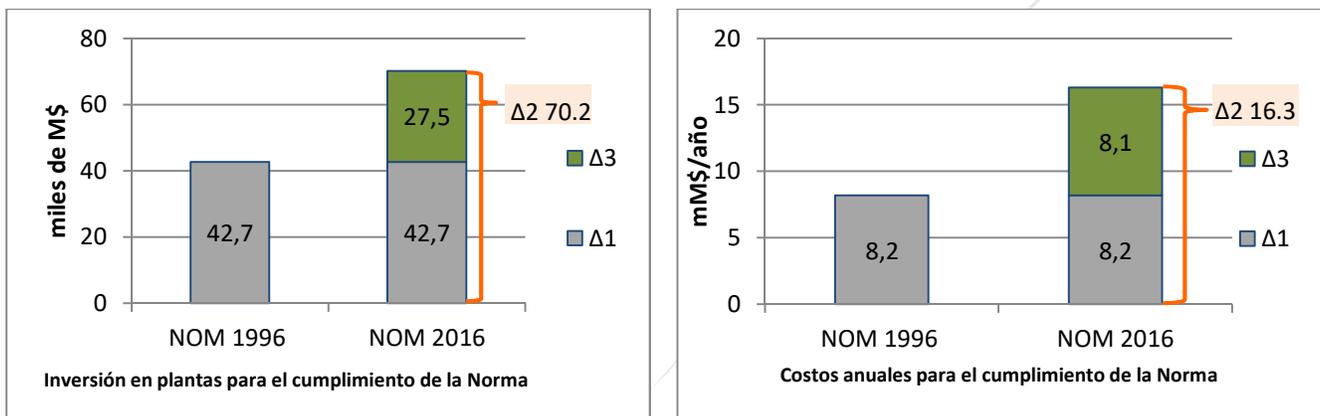


Figura 26. Inversiones en plantas y costos anuales totales

De los resultados del análisis se concluye que para cumplir con la Norma actual y con la Norma modificada se requiere de la siguiente infraestructura y de los siguientes costos para el cumplimiento con los cinco parámetros básicos. El costo de cumplimiento con la modificación a la Norma es, por lo tanto, de 8,140 millones de pesos por año.

5.6 CÁLCULO DE LOS BENEFICIOS

La prevención y control de la contaminación del agua es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país, por lo que las aguas residuales de origen urbano e industrial deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas, depósitos, corrientes de agua o las aguas del subsuelo, y de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), Artículo 117, la participación y corresponsabilidad

de la sociedad es condición indispensable para evitar la contaminación del agua. Asimismo, en su Artículo 118, fracciones I y II, se establece que los criterios referidos serán considerados en la expedición de normas oficiales mexicanas para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública.

A pesar de los esfuerzos gubernamentales para aplicar la NOM-001-SEMARNAT-1996, el deterioro de los cuerpos de agua sigue, impidiendo o amenazando el cumplimiento de la meta propuesta en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018.

Uno de los mecanismos para revertir el deterioro de los cuerpos de agua, y por ende conseguir el objetivo, es la implantación de una Norma más exigente, que permita asegurar descargas de agua residuales tratadas con cargas contaminantes de menor magnitud, que le permitan a la naturaleza realizar los procesos de auto-purificación en menor tiempo. De esta manera, revertirá el impacto negativo en los cuerpos de agua y su entorno, garantizando así la conservación ambiental y su reúso seguro.

Para aceptar la propuesta de modificación de la Norma se requiere realizar la Manifestación de Impacto Regulatorio (MIR), lo cual implica, además de estimar los costos de su aplicación, efectuar un ejercicio de medición de impactos económicos positivos. Con estos resultados, se estima la diferencia entre los beneficios y los costos. En este apartado se estimarán los beneficios esperados derivados de una aplicación efectiva de la Norma. En la *Tabla 60* se describen los beneficios esperados y el impacto económico del proceso de aplicación de una Norma más estricta, que traerá como consecuencia impactos positivos tales como la reducción de riesgo sanitario y evitar o ralentizar la eutrofización de los cuerpos de agua que reciben las descargas. De esta forma se evitan efectos perniciosos sobre especies acuáticas tanto vegetales y como animales (distintas a peces) en cuerpos de agua los cuales se reseñan en el Anexo B.

Tabla 60. Beneficios esperados, resultado de un proceso de aplicación de la Norma

Servicio ambiental	Manifestación del impacto	Impactos económicos	Estimación de Beneficios
A la salud de la población A. Salud	Daños o enfermedades: <ul style="list-style-type: none"> • Por contacto • Por ingestión de productos contaminados • Por beberla • Por proliferación de especies vector (mosquitos: malaria, dengue, paludismo) 	Gastos en médicos, medicinas y hospitales Días perdidos de trabajo por enfermedad Costos de defunción prematura y Potencial productivo de personas muertas. Gastos para el control de plagas nocivas o vector.	Ahorro en costos por consumo de medicamentos. Recuperación de días laborados, tanto por enfermedad como por muertes evitadas. Liberación de recursos médicos, enfermeras y hospitales. Eliminación de costos de defunción atribuibles al agua.
En las zonas ribereñas B. Turismo	Incremento de la materia orgánica Proliferación de especies vector Mal olor Acumulación de basura	Deterioro del paisaje con efectos en el potencial para la recreación. Disminución del valor de los terrenos aledaños al cuerpo de agua.	Se establece la posibilidad de explotación de la región para fines turísticos. Aumento del valor de los predios ribereños.
A la cadena alimentaria (plantas y animales) C. Pesca	Bioacumulación de tóxicos Morbilidad de peces y otras especies Mortalidad de peces y otras especies Modificación del patrón de comportamiento de los animales. Efectos en la reproducción, crecimiento y talla. Efectos en hábitats de poblaciones no comerciales.	Disminución de la calidad y la cantidad de productos alimenticios comerciales y no comerciales. Costos adicionales para mantener la producción (granjas piscícolas).	Diferencia del valor de la producción, en el mercado, con y sin proyecto. Enriquecimiento de la dieta familiar, con productos no comerciales. Eliminación de costos incurridos para mantener la producción.
A la fuente de abastecimiento D. Reúso	Para consumo humano <ul style="list-style-type: none"> • Irritación de la población • Monitoreo adicional • Tratamiento adicional • Necesidad de fuentes alternas de abastecimiento • Mal sabor 	Aumento de los costos de tratamiento para mantener o mejorar la calidad del agua. Requerimientos de fuentes alternas más onerosas, para sustituir la fuente contaminada. Uso de agua de primer uso en industrias y riego	Disminución del costo de tratamiento para consumo humano. Ahorros derivados de la eliminación de fuentes alternas más onerosas. Liberación del recurso por reúso en: <ul style="list-style-type: none"> • Industria • Riego municipal (sustituye agua potable) • Riego agrícola (sustituye agua de pozo)
	Para consumo animal (pecuario y salvaje) Morbilidad Mortalidad	Gastos en veterinarios y medicinas. Disminución de la producción. Pérdidas de capital pecuario. Extinción de especies salvajes	Ahorros en medicinas y veterinarios. Se evitan pérdidas de producción y se conserva el capital pecuario.

Servicio ambiental	Manifestación del impacto	Impactos económicos	Estimación de Beneficios
En la flora de los cuerpos de agua E. Agotamiento y degradación	Proliferación de malezas. Proliferación de algas. Efectos sobre el plancton. Extinción de especies biológicas endémicas ¹ . Eutrofización Aumento de la evapotranspiración	Gastos incurridos para eliminar las malezas. Pérdida de reservas de agua debido a la evapotranspiración. Deterioro de la calidad del recurso. Problemas en la navegación Pérdida de especies vegetales con potencial económico.	Ahorros de gastos para la eliminación de malezas. Garantía de reservas adicionales para diversos usos (aumento de la producción). Reducción de costos de tratamiento de agua para su consumo. Conservación de flora con potencial para su futura explotación.
Para la agricultura F. Riego agrícola	Para riego agrícola: <ul style="list-style-type: none"> • Efecto en la calidad del producto • Reducción de producción agrícola • Afecta la salud de los agricultores • Afecta la salud de consumidores • Compactación de suelos • Pérdida de tierras arables 	Baja calidad de los productos; restricción de especies regables. Deterioro de suelos y como consecuencia la disminución en la productividad de la tierra. Costo de reacondicionamiento del suelo Costos de salud.	Posibilidad de incorporar cultivos de riego restringido, más rentables. Mejoramiento de la salud de los campesinos y los consumidores (gastos médicos y medicinas, días laborados). Se elimina o pospone el costo de reacondicionamiento del suelo agrícola.
Efectos hacia otros cuerpos receptores y su entorno G. Valoración Contingente	<ul style="list-style-type: none"> • Suelos. Contaminación con sedimentos tóxicos y otros, a suelos agrícolas y de cuerpos receptores. • Acuíferos, contaminación y agotamiento. • Océanos, contaminación de mares, estuarios y playas. 	Pérdida de capital natural (recursos naturales), alteración de la capacidad de sostenibilidad del medio ambiente regional. Disminución del potencial de desarrollo regional. Costos incrementales para descontaminar el agua de los acuíferos o para bombear a mayor profundidad.	Disminución de costos de rehabilitación o descontaminación de los cuerpos y zonas contaminadas. Reducción de costos de extracción y tratamiento de agua para su consumo. Se conserva la posibilidad de explotación de la región para fines turísticos. Se garantiza la sostenibilidad económica.

¹Endémica, limitada a un ámbito geográfico reducido y que no se encuentra de forma natural en ninguna otra parte del mundo.

5.6.1 METODOLOGÍA

Para estimar los beneficios se debe comprender que éstos son producto de los servicios que brinda el medio ambiente al ser humano. Para su entendimiento estos servicios se tipifican en seis grupos (*Tabla 60*):

- 1) salud
- 2) entorno de los cuerpos de agua
- 3) impacto a la cadena trófica
- 4) deterioro de fuentes de aprovisionamiento de agua
- 5) proliferación de flora en el cuerpo de agua
- 6) efecto en el suelo y mares.

Los beneficios se citan conforme a la secuencia de los métodos establecidos en los términos de referencia. En este capítulo se aborda el análisis del impacto de la Norma.

En general, los beneficios se estiman como la diferencia entre el actual estado ambiental y los resultados del mejoramiento de los cuerpos de agua receptores debido al cumplimiento con la NOM-2016. Se parte de las condiciones actuales de los cuerpos receptores cuya consecuencia extrema es su eutrofización y con ello el deterioro de su entorno. Para expresar los costos de los impactos negativos derivados del agua contaminada se abordó mediante diferentes procedimientos, según el sector afectado. Así, considerando el propio cuerpo de agua: la pérdida de capacidad para producir peces (deterioro de la capacidad piscícola); la disminución de agua debido a su degradación (aumento en los costos de potabilización); su agotamiento (debido a la evapotranspiración); y los costos de eliminación de malezas para tratar de conservar los cuerpos de agua.

Una consecuencia del deterioro de los cuerpos de agua es el mal olor y la fauna nociva cuyo efecto se trató de estimar a partir de su impacto a la actividad turística y el valor predial de los terrenos urbanos aledaños al cuerpo de agua; y la medición de la disponibilidad a pagar de la población para mantener un cuerpo de agua en buenas condiciones. Adicionalmente, se trató de estimar el riesgo sanitario cuyos resultados son las enfermedades. Finalmente, el impacto positivo se revisó a partir de la conservación de cuerpos de agua (se evitan costos adicionales para su potabilización); la liberación de agua de primer uso a partir de su reutilización; y el potencial mejora en el sector agrícola a partir de un cambio del patrón de cultivos regado con agua de mayor calidad.

El impacto de la Norma se debe contemplar en toda la extensión territorial nacional, pero por razones de disponibilidad de información se consideraron casos puntuales o específicos, tratando con ello, en la medida de lo posible, proyectarla o hacerla extensiva al contexto de los cuerpos de agua de todo el país.

Se tuvo en cuenta que la contaminación difusa también contribuye a la contaminación de los cuerpos de agua, por lo que los resultados obtenidos de una supuesta aplicación de la Norma con eficiencia del 100%, solamente obtendría parte de los resultados positivos deseados. La aplicación de una Norma más rigurosa permitirá que los cuerpos de agua mejoren su capacidad para absorber y procesar con mayor eficiencia la eliminación de contaminantes.

La implantación de una Norma más exigente traerá como consecuencia un impacto positivo que se puede generalizar como la reducción de riesgo sanitario y la eutrofización de los cuerpos de agua que reciben las descargas.

La eutrofización causa efectos perniciosos para la biodiversidad, la calidad de las aguas para consumo humano, su control implica beneficios de diversos aspectos, posibles de cuantificar monetariamente a partir del análisis de aspectos como:

A. Riesgo sanitario: El sector salud. Las enfermedades asociadas al agua son una de las mayores causas de morbilidad y mortalidad entre los pobres de los países en desarrollo. Se estima que el 60% de la mortalidad infantil mundial se debe a enfermedades infecciosas y parasitarias relacionadas con el agua.

Dentro de las enfermedades más comunes transmitidas por el agua contaminada con desechos humanos, animales o químicos se encuentran varios tipos de enfermedades diarreicas, respiratorias, conjuntivitis y dengue. La mayoría de ellas se pueden prevenir con el tratamiento del agua residual y el saneamiento del cuerpo receptor.

Una reducción de enfermedades (Diarreicas Agudas Severas (EDAS), Enfermedades Infecciosas Respiratorias Agudas Severas (IRAS), Conjuntivitis y Escabiosis), generará beneficios cuya valoración está relacionada con los gastos destinados al tratamiento de dichas enfermedades; Gastos en médicos, medicinas y hospitales, días perdidos de trabajo por enfermedad, costos de defunción prematura y potencial productivo de personas muertas.

B. El deterioro de los cuerpos de agua es fuente de generación de fauna nociva y malos olores, su eliminación es un beneficio para la población. El beneficio es posible de cuantificar mediante el método alternativo de valorar los predios aledaños al cuerpo de agua (precios hedónicos) y mediante su impacto al sector turístico, actividad fuertemente ligada a la calidad del entorno, la conservación o no deterioro de los cuerpos de agua superficiales por contaminación, garantizan un crecimiento sostenido de la actividad turística o evitan el colapso de los destinos turísticos, cuyo ejemplo fehaciente es Acapulco, muestra de un entorno acuático deteriorado por falta de la aplicación estricta de la normatividad y con ello su efecto en cuanto a destino del turismo internacional.

Para el caso del turismo se recurrió al *Sistema de Cuentas Nacionales. Cuenta Satélite del Turismo de México*, publicada por el INEGI, para estimar la caída del valor agregado bruto en el sector debido al impacto que podría causar el deterioro del medio ambiente nacional.

C. La pesca, la eutrofización junto con los metales pesados son la principal amenaza para la fauna acuática. Las aguas más susceptibles de sufrir la eutrofización son las más ricas en biodiversidad y las que tienen un mayor valor económico por su potencial capacidad de producción piscícola, como fuente de alimentación. En cuanto a biodiversidad, las marismas, manglares y estuarios son zonas muy sensibles debido a su compleja estructura lo que los hace fuertemente susceptibles a cualquier tipo de alteración. Los beneficios se estiman con la capacidad de proveer alimento a la población, a partir de la diferencia del valor de la producción en el mercado y la eliminación de costos incurridos para mantener la producción, con y sin proyecto. Otro beneficio no cuantificable monetariamente es el enriquecimiento de la dieta familiar, con productos no comerciales.

Los beneficios cualitativos se relacionan con la producción de alimentos libres de toxinas, seguramente con una mayor tasa de reproducción, así como el incremento de la talla de los peces debido a un hábitat sano. Otros beneficios, no cuantificables monetariamente, son el enriquecimiento de la dieta familiar local debido a la mayor disponibilidad local para el consumo, la conservación de la actividad económica y la conservación de la biodiversidad, garantizando así la cadena trófica. Finalmente se puede agregar que se podrá evitar la introducción de especies exóticas, incorporadas a los cuerpos de agua en la búsqueda de conservarla como fuente de suministro alimentario, causando daño a la fauna local.

D. La conservación de las fuentes de suministro para consumo humano, tanto superficiales como subterráneas, actualmente se encuentran en permanente riesgo de degradación debido a la permisividad de las normas de descarga, una Norma más rigurosa redundaría en una disminución de los costos de potabilización y conservación de los cuerpos de agua, sobre todo de los superficiales, que se ven invadidas de malezas debido a la carga de nutrientes actualmente vertidos al medio ambiente. En este caso los beneficios se estiman a partir de la disminución del costo de tratamiento para consumo humano; los ahorros derivados de la eliminación de fuentes alternas más onerosas; y la liberación de agua de primer uso al sustituir con agua de reúso a la industria, al riego municipal y al riego agrícola para sustituir por agua de pozo. La conservación es extensiva para consumo animal y con ello eliminar o disminuir los gastos en veterinarios y medicinas; así como reducir los riesgos de disminución de la producción, pérdidas de capital pecuario o incluso, extinción de especies salvajes.

E. Agotamiento y degradación.

La conservación de las fuentes de suministro para consumo humano, tanto superficiales como subterráneas, actualmente se encuentran en permanente riesgo de degradación debido a la permisividad de las normas de descarga, una Norma más rigurosa redundaría en una disminución de los costos de potabilización y conservación de los cuerpos de agua, sobre todo de los superficiales, que se ven invadidas de malezas debido a la carga de nutrientes actualmente vertidos al medio ambiente. En este caso los beneficios se estiman a partir de la disminución del costo de tratamiento para consumo humano.

La flora de los cuerpos de agua contaminados, con nutrientes agrícolas y domésticos, generan la proliferación de malezas, algas y afectan el plancton. Al romperse el equilibrio ecológico se genera la amenaza de extinción de especies biológicas endémicas. Además, la eutrofización y el aumento de la evapotranspiración, están íntimamente relacionadas con la proliferación de flora en el cuerpo de agua. La eliminación de malezas acuáticas, como acción emprendida para su remoción, tiene efectos secundarios, el uso de agentes químicos o su eliminación mecánica generan lodos que, además de contaminar, reducen la capacidad de los embalses. Ambos métodos resultan preferibles sobre los biológicos por ser estos de resultados a mediano o largo plazo, aún si se utiliza el método biológico implica un costo. En este caso los beneficios se miden con los ahorros de gastos para la eliminación de malezas y la reducción de costos de tratamiento de agua para su consumo. Otros beneficios son la

garantía de reservas adicionales para diversos usos (aumento potencial de las reservas disponibles de agua) y la conservación de flora con potencial para su futura explotación.

F. La agricultura, los principales impactos generados por agua contaminada para riego agrícola son: el efecto en la calidad del producto ya que se reducen las especies vegetales con posibilidad de regarse con estas aguas; la reducción de la producción agrícola, sobre todo desde el punto de vista monetario; afecta la salud de los agricultores; afecta la salud de consumidores; y contribuye a la compactación de suelos y con ello la pérdida de tierras arables. Si bien, la agricultura se vería afectada por la eliminación de nutrientes, propios de las aguas residuales municipales, el reúso beneficiará a aquellos agricultores que estén dispuestos a ampliar la gama de productos regables con agua con menor contenido de contaminantes. Además de la posibilidad de incorporar cultivos de riego restringido, más rentables otros beneficios están relacionados con el mejoramiento de la salud de los campesinos y los consumidores (gastos médicos y medicinas, días laborados) y se elimina o pospone el costo de reacondicionamiento del suelo agrícola.

G. Valoración Contingente. El agua contaminada además de impactar a los acuíferos, contaminándolos y agotándolos o inutilizándolos, también a los suelos, contaminándolos con sedimentos tóxicos, contamina a los océanos, mares, estuarios y playas. Su impacto económico se ve reflejado en pérdida de capital natural (recursos naturales) y la alteración de la capacidad de sostenibilidad del medio ambiente regional; la disminución del potencial de desarrollo regional; los costos incrementales para descontaminar el agua de los acuíferos o para bombear de mayor profundidad o de mayor distancia. En este caso los beneficios se estiman a partir de la valoración contingente o “deseo de pagar” que la sociedad tiene para contribuir a conservar su entorno.

Finalmente, otro sector que se verá impactado con el cambio de Norma es el del mercado, sobre todo aquel que produce para exportación.

H. Análisis del impacto en la competencia.

Se consideraría como un beneficio para la sociedad, toda vez que los costos de tratamiento del agua residual se internalizan, por lo que libera al entorno ecológico y social de los impactos económicos atribuible a las descargas de agua residual no tratada.

Por tratarse de la internación de un costo, la empresa se verá afectada en la medida de la proporción que implique, para sus productos o servicios, el costo de tratamiento del agua residual para cumplir con la Norma.

Desde este punto de vista para el mercado interno todos los productores se ven afectados por las mismas condiciones de tratamiento de agua residual para su descarga y por lo mismo deberán asumir costos de tratamiento semejantes. Para el caso de los productos importados contra los que compiten, los empresarios pueden alegar competencia desleal, cuando los productos importados estén elaborados bajo normas que no respetan su entorno y por lo mismo los productos no asumen el costo de proteger el medio ambiente. En este caso los empresarios locales deberán bloquear la entrada de dichos bienes.

Para el caso de la exportación los productores podrían alegar que tratar el agua al nivel de la exigencia de la nueva Norma es oneroso, se anexa la *Tabla 61* donde se compara el PIB de cada sector, generador de productos comercializables, con el costo adicional requerido para proteger mejor al medio ambiente. En general, el monto adicional de tratamiento es menor al uno por ciento. Los casos excepcionales son para los productos textiles, específicamente “Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles”, del G1, donde el costo por asumir equivale el 5.8% y 3.1% respectivamente. La “Fabricación de prendas de vestir”, tendrá un impacto menor al 0.29%.

Tabla 61. Peso relativo, del costo de tratamiento $\Delta 3$, para el G1

Clave SCIAN Subsector	Denominación	Volumen m ³ /año	PIB a/ 2016	□3 40.9b/	□3 %
221	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	65,570,412	\$ 272,693	\$2,682	0.98
313	Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles	34,602,316	\$ 24,279	\$1,415	5.83
314	Fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir	17,923,928	\$ 23,749	\$ 733	3.09
315	Fabricación de prendas de vestir	5,901,135	\$ 82,877	\$ 241	0.29
431	Comercio al por mayor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco	7,035,450	\$ 1,574,459	\$ 88	0.02
Totales		131,033,241	\$ 1,978,057	\$ 5,360	0.27

a/ Millones de precios corrientes 2016, tanto para el PIB como para $\Delta 3$.

b/ Costo unitario de tratamiento.

Fuente: Elaboración propia con información del INEGI y de los costos estimados en este informe INEGI. SCNM. Producto Interno Bruto (Trimestral) total 2016, Año base 2008.

Para el caso de las empresas integradas en el G2, *Tabla 62*, el sector más afectado será el de “Agricultura, cría y explotación de animales que deberá asumir un costo unitario de \$10.6/m³. Para, aprovechamiento forestal, pesca y caza”, con un peso relativo de 1.37%, y para las otras industrias del sector el peso del costo por asumir es menor a 0.5%.

Tabla 62. Peso relativo, del costo de tratamiento $\Delta 3$, para el G2

Clave SCIAN Sector/Subsector	Denominación	Volumen m ³ /año	PIB a/ 2016	□3 10.6b/	□3 %
11	Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza	909,168,069	\$ 703,880	\$ 9,622	1.37
311	Industria alimentaria	322,517,348	\$ 770,762	\$ 3,413	0.44
312	Industria de las bebidas y del tabaco	57,658,130	\$ 175,798	\$ 610	0.35
322	Industria del papel	35,746,741	\$ 69,795	\$ 378	0.54
Totales		1,325,090,289	\$1,720,235	14,024	0.82

a/ Millones de precios corrientes 2016, tanto para el PIB como para $\Delta 3$

b/ Costo unitario de tratamiento.

Fuente: Elaboración propia con información del INEGI y de los costos estimados en este informe INEGI. SCNM. Producto Interno Bruto (Trimestral) total 2016, Año base 2008.

Por último, en el grupo industrial el G3, *Tabla 63*, es el de “Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón”, “Fabricación de productos metálicos” y el de “Otras industrias manufactureras”,

en ambos casos el peso del costo para el tratamiento adicional es solamente, ligeramente superior al 1.1%.

Tabla 63 Peso relativo, del costo de tratamiento $\Delta 3$, para el G3

Clave SCIAN Subsector	Denominación	Volumen m ³ /año	PIB a/ 2016	□3 15.4b/	□3 %
211	Extracción de petróleo y gas	36,996,337	\$ 418,483	\$ 749	0.179
212	Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	111,658,800	\$ 227,290	\$ 2,260	0.994
316	Curtido y acabado de cuero y piel, y fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos	34,690	\$ 25,735	\$ 0.7	0.003
324	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	62,132,065	\$ 112,920	\$ 1,258	1.114
325	Industria química	69,239,068	\$ 308,611	\$ 1,402	0.454
326	Industria del plástico y del hule	3,656,202	\$ 108,045	\$ 74	0.069
327	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	4,153,718	\$ 166,942	\$ 84	0.050
331	Industrias metálicas básicas	23,175,874	\$ 188,787	\$ 469	0.249
332	Fabricación de productos metálicos	64,706,086	\$ 109,169	\$ 1,310	1.200
333	Fabricación de maquinaria y equipo	901,881	\$ 141,027	\$ 18	0.013
334	Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos	1,752,273	\$188,800	\$ 35	0.019
335	Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica				
336	Fabricación de equipo de transporte	14,235,307	\$ 684,347	\$ 288	0.042
339	Otras industrias manufactureras	56,990,297	\$ 93,183	\$ 1,154	1.238
	Totales	449,632,598	2,773,339	9,102	0.318

a/ Millones de precios corrientes 2016, tanto para el PIB como para $\Delta 3$

b/ Costo unitario de tratamiento.

Fuente: Elaboración propia con información del INEGI y de los costos estimados en este informe INEGI. SCNM. Producto Interno Bruto (Trimestral) total 2016, Año base 2008.

Una Norma más rigurosa hará que la reutilización de agua sea atractiva en la medida de que el costo adicional para su adecuación sea menor que el pago del derecho por utilizar agua de primer uso. Se tiene que tener en cuenta que se trata de agua ya concesionada, por lo que esta medida tendrá un efecto de incremento del volumen de agua disponible para la empresa.

Para animar al usuario a reutilizarla, la condición es que el costo adicional, incluida recuperación de la inversión, debe ser menor al pago de derechos por la extracción de agua de primer uso. Una acción de

esta naturaleza se reflejaría en la liberación de agua de primer uso, beneficiando así tanto al entorno como a la sociedad, sobre todo en los sitios donde el agua tiende a ser relativamente escasa y los acuíferos tienden a ser sobreexplotados.

Más del 80% de nuestro comercio exterior lo hacemos a través del TLCAN, por lo que es importante tomar en cuenta la existencia de las cláusulas de cumplimiento y fortalecimiento de las leyes ambientales que comprometen a los tres países, *asegurando que el TLCAN no provocaría la creación de los llamados paraísos de contaminación o una “carrera al naufragio” en general para las normas ambientales (RMALC, 2007)*². De los tres países involucrados, México es el que actualmente cuenta con las normas más permisivas en materia de descargas de aguas residuales. De esta manera, una Norma de descarga más exigente coadyuvaría a favorecer el comercio agropecuario y pesquero de México con sus aún socios comerciales. Una Norma más exigente contribuye a reducir los pretextos para que los productos de origen mexicano sean comercializados, bajo argumento de inocuidad alimentaria.

A partir de la firma del TLCAN se creó la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA), que viene estudiando, desde mediados de los noventa, los efectos sobre el medio ambiente del TLCAN y de otros compromisos comerciales.

² El capítulo 11 del TLCAN y el medio ambiente: Cómo tratar la incidencia del proceso inversionista-Estado sobre el medio ambiente. Resumen ejecutivo (en línea). Disponible en www.iisd.org/pdf/sp_nafta.pdf

5.6.2 ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS

Premisas básicas para la estimación de los beneficios

- Se aplica un horizonte de planificación de 25 años, que inicia a partir de 2019 y termina en 2043.
- La tasa de descuento es del 10%, conforme a lo indicado por la SHCP en su oficio con fecha del 13 de enero de 2014.
- Todas las unidades monetarias se reexpresaron de precios corrientes a precios constantes promedio 2016, mediante la aplicación del INPC publicado por el INEGI, con base en la segunda quincena de diciembre = 100.
- Los indicadores de valor presente se expresan a precios de 2016.
- El procesamiento de datos se hizo en Hoja de Cálculo, Microsoft® Excel 2010.
- Para calcular las curvas de regresión se utilizó el estimador de la función de tendencia, del programa de Excel.
- Se utiliza preferentemente la información de fuentes oficiales, INEGI, CONAPO, Secretaría de Salud, Secretaría de Turismo, Secretaría Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- En todos los casos se hace el supuesto que el beneficio crece año con año a través del horizonte de planificación hasta alcanzar el máximo supuesto para el caso analizado, excepto en el cálculo de la Valoración Contingente el cual se aplica igual para todo el horizonte de planificación.

A. Riesgo sanitario: El sector salud

Las enfermedades asociadas al agua son una de las mayores causas de morbilidad y mortalidad entre los pobres de los países en desarrollo. Se estima que el 60% de la mortalidad infantil mundial se debe a enfermedades infecciosas y parasitarias relacionadas con el agua, y que las enfermedades infecciosas respiratorias y del tracto gastrointestinal ocupan la quinta y séptima causa de morbi-mortalidad respectivamente.

Los cuerpos de agua superficiales contaminados, secundados por las descargas del drenaje, se pueden considerar como un foco generador de gran parte de estas enfermedades. Cuando el agua se estanca, se establece el medio ideal para la proliferación de las enfermedades que suelen transmitirse a través de organismos acuáticos o vectores asociados al agua.

Entre los patógenos presentes en las aguas residuales están:

- Bacterias
- Virus
- Helmintos
- Protozoos

Estos agentes son responsables de la mayoría de las enfermedades infecciosas en los seres humanos. Dentro de las enfermedades más comunes transmitidas por el agua contaminada con desechos humanos, animales o químicos se encuentran varios tipos de enfermedades diarreicas, respiratorias, conjuntivitis y las transmitidas por agentes vector, como el dengue.



Siendo el agua contaminada la fuente de dichas enfermedades, entonces la mayoría de ellas se pueden prevenir haciendo efectivo el tratamiento del agua residual proveniente de descargas municipales e industriales, y así sanear los cuerpos de agua.

Siendo el agua contaminada la fuente de dichas enfermedades, entonces la mayoría de ellas se pueden prevenir haciendo efectivo el tratamiento del agua residual proveniente de descargas municipales e industriales, y así sanear los cuerpos de agua.

- **Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs)**

Las EDAs están relacionadas con el agua contaminada de los cuerpos de agua superficiales, debido a ser un foco de desarrollo de organismos patógenos en forma considerable, los cuales pueden entrar en contacto con las personas en forma cercana al río, especialmente en los niños. Las enfermedades diarreicas agudas incluyen:

- Amebiasis Intestinal
- Fiebre Tifoidea
- Giardiasis
- Infecciones Intestinales por otros patógenos
- Intoxicación Alimentaria Bacteriana
- Paratifoidea y Salmonelosis
- Shigelosis
- Hepatitis Aguda Tipo A

- **Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs)**

En época de estiaje, la ausencia del cauce del río produce desecación de los desechos, y con el viento la pulverización y contaminación del aire, lo cual se traduce en enfermedades respiratorias agudas. Estas son:

- Infecciones Respiratorias Agudas
- Neumonías y Bronconeumonías

- **Conjuntivitis y Escabiosis**

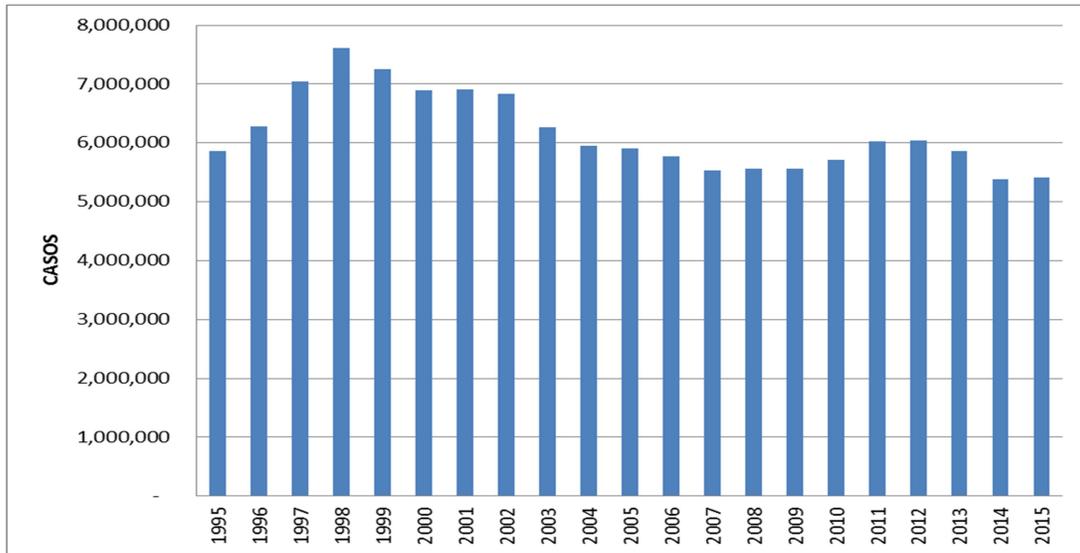
Otras de las enfermedades relacionadas con el deterioro de los cuerpos de agua son las enfermedades en los ojos y la piel Conjuntivitis aguda bacteriana y la Escabiosis, respectivamente.

Estimaciones nacionales

Si bien no se puede considerar que todas estas enfermedades son atribuibles a la contaminación en cuerpos de agua, por lo menos entre el **5%** y **7.5%** de ellas sí pueden estar asociadas a la contaminación generada por las descargas de aguas residuales con tratamiento deficiente.

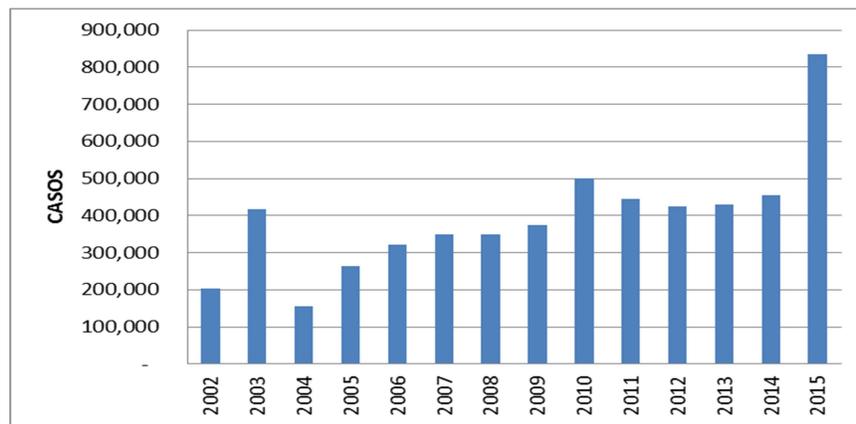
*El informe “Evaluation of the Costs and Benefits of Water and Sanitation Improvements at the Global Level” (OMS, 2004) indica que la consecución de las metas del Objetivo de Desarrollo del Milenio relacionadas con el abastecimiento de agua y el saneamiento proporcionaría beneficios económicos: por cada US\$ invertido se obtendría un beneficio económico de entre US\$ 3 y US\$ 34, dependiendo de la región. Se calcula que para lograr esas metas sería necesario añadir a la inversión actual unos US\$ 11 300 millones anuales. Entre los beneficios se incluirían una reducción media del **10%** en el número de episodios de diarrea en todo el mundo y un beneficio económico anual total de US\$ 84 000 millones.*

En la *Figura 27*, *Figura 28* y *Figura 29* se presentan los casos a nivel nacional para enfermedades gastrointestinales, de la piel y conjuntivitis, y respiratorias, seleccionadas por su peso para estimar los beneficios relacionados con la aplicación de la Norma.



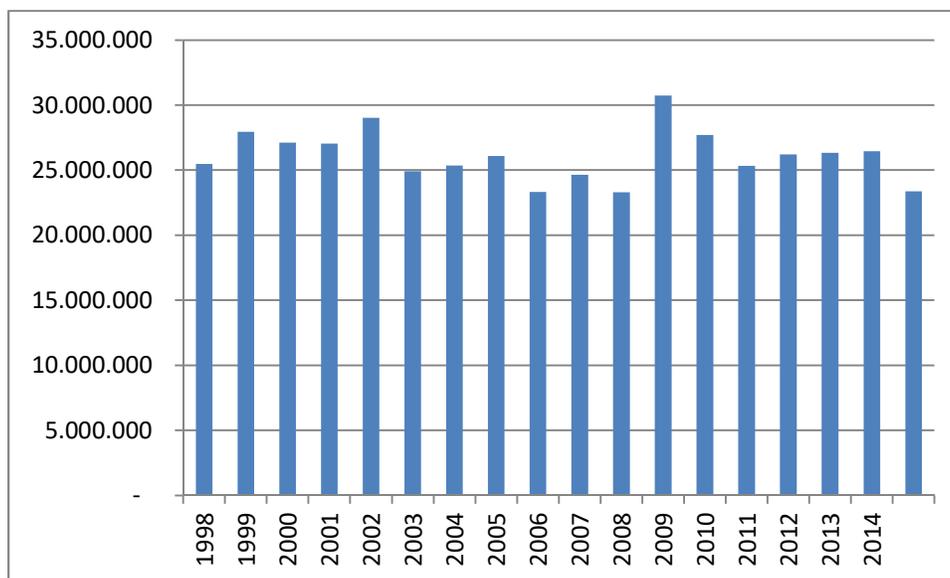
Fuente: DGE, Series monográficas, Perfiles estadísticos No. 1 (1980-1989)/DGIS; Boletín de Información Estadística. Anuarios de Información Epidemiológica, 1990-1994/DGAE; 1995-2010 Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica/Dirección General de Epidemiología/SALUD.

Figura 27. Número de casos de enfermedades diarreicas agudas entre 1995 y 2015



Fuente: Boletín Epidemiológico, Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud, www.epidemiologia.salud.gob.mx/dgae/boletin/intd_historicos.html

Figura 28. Número de casos anuales de conjuntivitis 2002-2015 en México.



Fuente: Boletín Epidemiológico, Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud, www.epidemiologia.salud.gob.mx/dgae/boletin/intd_historicos.html

Figura 29. Número de casos anuales de infecciones respiratorias agudas 1998-2015 en México.

• Consideraciones

De acuerdo a la información, se realizó un análisis por enfermedad, para lo cual se estimó el número de casos posibles a evitar con la aplicación de la NOM 2016 y con ello los costos de salud por hospitalización y atención de primer nivel, para lo cual se aplicaron los siguientes costos unitarios asociados a las enfermedades descritas, *Tabla 64*.

Tabla 64. Costos asociados en el tratamiento de enfermedades (2016)

Enfermedad	Costo unitario por morbilidad (\$/caso atendido) 2016	
	PRIMER NIVEL ¹	HOSPITALIZACION
Enfermedades diarreicas agudas severas EDAS	737.7	
Infecciones respiratorias agudas severas IRAS	630.8	
Conjuntivitis	326.3	
Escabiosis	477.5	
Gastos hospitalarios		\$48,759.4

Fuente: Secretaría de Salud, Seguro Popular. Convenio Interinstitucional para la subrogación de prestación de servicios de salud, 2014, expresados a precios de 2016 con el INPC, publicado por INEGI.

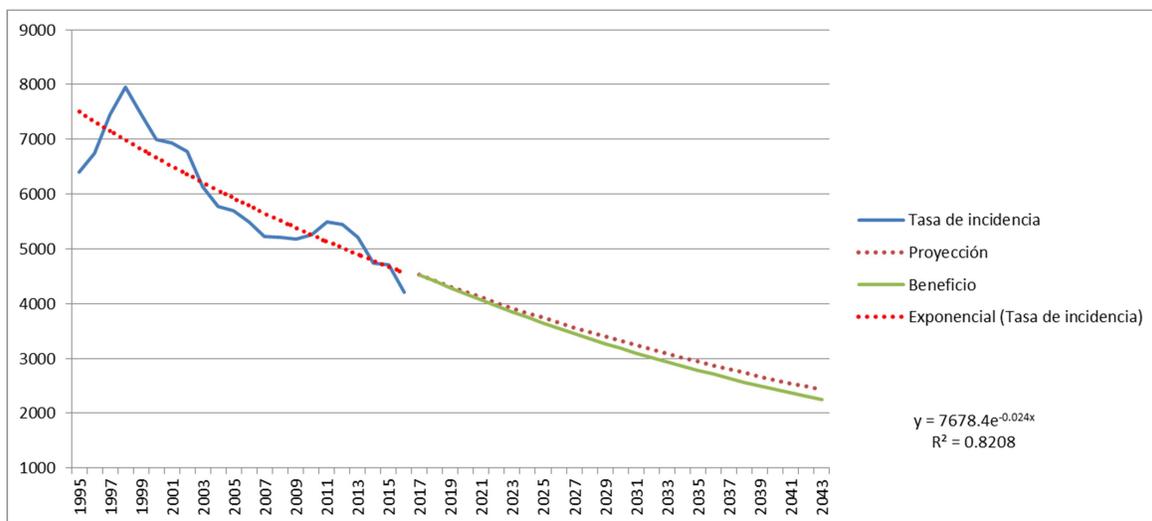
Los supuestos que se consideraron para la obtención de los costos unitarios por morbilidad de acuerdo a la división de enfermedades, son: que sólo el 1.4% de las EDAS e IRAS, requieren ingresos

hospitalarios, el restante 98.6% de los casos se atiende en primer nivel. Con el Número de casos de primer nivel y los costos asociados se realizó la división correspondiente. Vale la pena mencionar, que para la valoración de los beneficios no se consideraron casos de ingresos hospitalarios, para ningunas de las enfermedades anteriormente mencionadas.

Proyecciones

Para los casos de las EDAS se obtuvo información histórica, registrada en los boletines históricos de información epidemiológica de la Secretaría de Salud. Esta información permitió hacer la proyección de la tendencia de los casos, (*Figura 30*) que se asemeja a una curva de ajuste de tipo exponencial ($Y=be^{-ax}$), *Figura 30* y Anexo C (Análisis estadístico), en este anexo se presenta el análisis estadístico y la robustez del modelo.

Los beneficios se estimaron a partir de la desviación de esta curva, para un escenario planteado de 7.5% de población beneficiada por el mejoramiento de los cuerpos de agua.



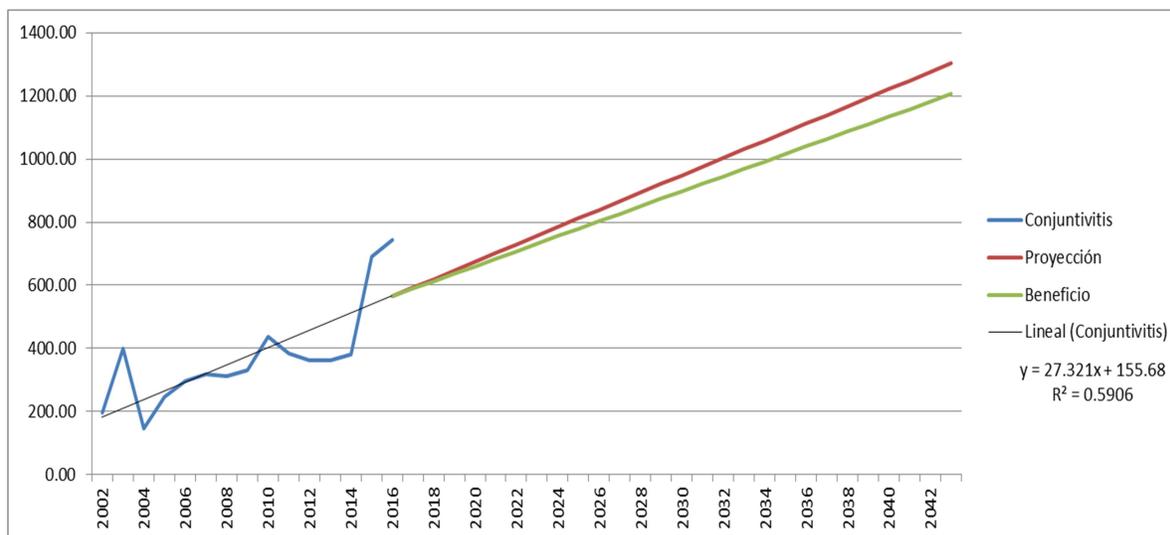
Fuente: Elaboración propia, con base en la información de los boletines históricos de información epidemiológica, Secretaría de Salud.

Figura 30. Proyección de los casos de EDAS.

Para las enfermedades de Conjuntivitis y Escabiosis, no se consideraron ingresos hospitalarios. Por lo que la atención sólo fue a primer nivel, tomando todos los costos del año 2015 entre el número de casos correspondiente a cada enfermedad.

Se contó con los datos específicos de casos y sus costos asociados, por lo que el costo unitario se obtuvo del cociente entre éstos, por clase (*Tabla 64*).

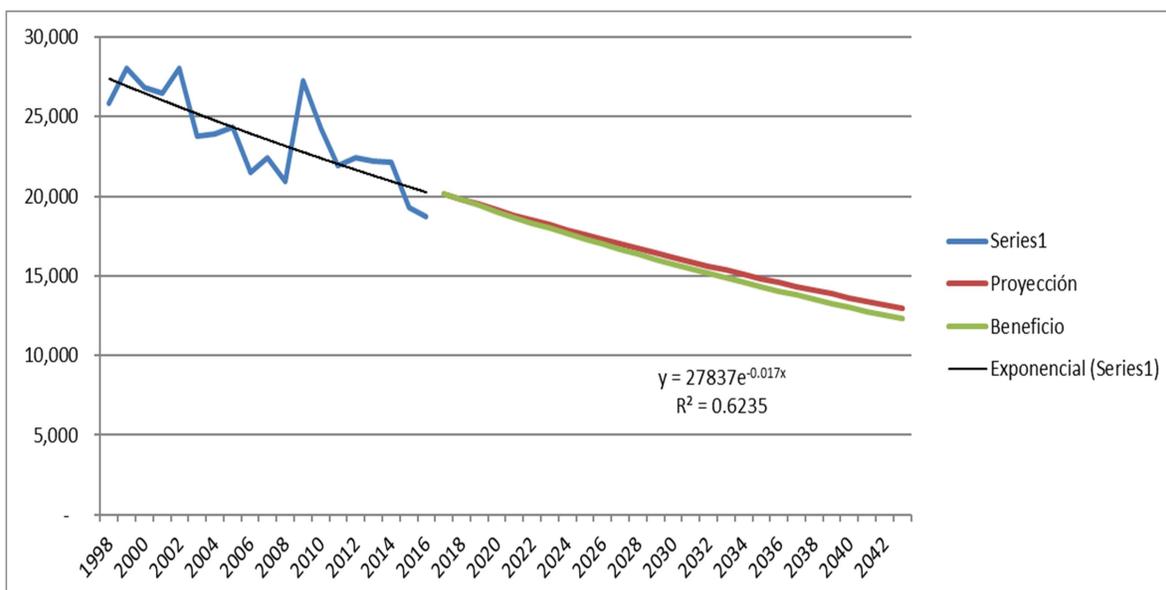
Con la finalidad de no sobre estimar los beneficios atribuibles a la aplicación de la Norma, se consideró sólo un porcentaje de los casos por enfermedad. Para los casos de Conjuntivitis, el número de casos se calculó tomando en cuenta la tendencia incremental anual del periodo 2002 a 2015. Se utilizó una regresión lineal para proyectar la tendencia y, al igual que en el caso anterior, se consideró una influencia de 7.5% a obtener en 25 años, *Figura 31* y Anexo C (Análisis estadístico), en este anexo se presenta el análisis estadístico de las proyecciones y la robustez del modelo. La diferencia entre ambas curvas arroja el número anual de casos que se evitarían, beneficio de aplicar la NOM-001-1996.



Fuente: Elaboración propia, con base en la información de los boletines históricos de información epidemiológica, Secretaría de Salud.

Figura 31. Proyección de casos de conjuntivitis

Para las IRAS se utilizó una curva de ajuste de tipo exponencial ($Y=be^{-ax}$), *Figura 32* y Anexo C. En este anexo se presenta el análisis estadístico y la robustez del modelo. Los beneficios se estimaron con una influencia de sólo el 5% del total de los casos. La base histórica es de 1998 a 2015.



Fuente: Elaboración propia, con base en la información de los boletines históricos de información epidemiológica, Secretaría de Salud.

Figura 32. Proyección de casos de infecciones respiratorias agudas

Resumen de resultados

Para la valoración de los beneficios a través del tiempo, teniendo el número de casos por enfermedad atribuibles a la aplicación de la Norma, en el año 2015, se realizó una proyección con base a un porcentaje de incidencia por enfermedad atribuible a la aplicación de la NOM-001, con relación al total de la población, *Tabla 65*. El número de casos para cada año a lo largo del periodo de evaluación será creciente; de acuerdo al incremento de la población y la diferencia de la línea base con la línea de beneficios, regido por las proyecciones CONAPO 2005-2030.

Tabla 65. Análisis de casos totales y atribuibles al proyecto

Enfermedad	Casos totales en el año 2043	Porcentaje atribuible a la NOM 001 2019-2043	Casos considerados en la valoración del beneficio de la NOM 001
Enfermedades diarreicas agudas severas EDAS	265,739	7.50%	5,628,861
Enfermedades respiratorias agudas severas IRAS ¹	956,049	5.00%	14,328,405
Conjuntivitis	143,977	7.50%	1,731,951

¹No se consideró ningún caso de Neumonía o Pulmonía.

Fuente: Elaboración propia, con base en la información de proyecciones CONAPO 2005-2030

De acuerdo con la cantidad de casos por año y el costo unitario por morbilidad y tipo de enfermedad, derivados del análisis, y mediante el producto de los mismos se obtienen los beneficios anuales por ahorro de recursos al disminuir las enfermedades atribuibles a la implantación de la modificación a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Considerando que esta relación se comporta de manera creciente en el tiempo, conforme se implanta la Norma, se obtienen los beneficios que se presentan en la *Tabla 66*.

Tabla 66. Proyección de casos de incidencia por tipo de enfermedad

Año	Población CONAPO	Población Beneficiada			Población Beneficiada Total
		EDAS	Conjuntivitis	IRAS	
2016					
2017	123,518,270	-	-	-	-
2018	124,737,789	-	-	-	-
2019	125,929,439	158,255	4,733	95,706	258,694
2020	127,091,642	166,210	9,555	143,614	319,379
2021	128,230,519	173,829	14,461	189,781	378,071
2022	129,351,846	181,120	19,449	235,420	435,989
2023	130,451,691	188,095	24,519	279,167	491,781
2024	131,529,468	194,751	29,666	323,562	547,979
2025	132,584,053	201,091	34,887	365,932	601,910
2026	133,614,190	207,117	40,181	407,523	654,821
2027	134,619,411	212,830	45,544	448,283	706,657
2028	135,599,641	218,235	50,973	486,803	756,011
2029	136,554,494	223,335	56,465	525,735	805,535
2030	137,481,336	228,135	62,017	563,673	853,825
2031	138,383,142	232,634	67,625	599,199	899,458
2032	139,263,092	236,844	73,290	636,432	946,566
2033	140,118,934	240,774	79,008	669,769	989,551
2034	140,950,312	244,428	84,775	703,342	1,032,545
2035	141,756,920	247,808	90,589	735,718	1,074,115
2036	142,538,744	250,922	96,447	766,858	1,114,227
2037	143,295,719	253,775	102,346	796,724	1,152,845
2038	144,027,641	256,372	108,283	825,278	1,189,933
2039	144,734,346	258,720	114,255	853,933	1,226,908
2040	145,415,859	260,824	120,259	881,220	1,262,303
2041	146,072,453	262,691	126,293	907,110	1,296,094
2042	146,704,227	264,327	132,354	931,572	1,328,253
2043	147,311,186	265,739	143,977	956,050	1,365,766
TOTALES		5,628,861	1,731,951	14,328,405	21,689,217

Fuente: Elaboración propia, con base en la información de proyecciones CONAPO 2005-2030

El producto de los casos por año y el costo unitario por morbilidad y tipo de enfermedad, arroja los beneficios anuales, *Tabla 67*, derivado del ahorro de recursos al disminuir las enfermedades atribuibles a la aplicación de la Norma.

Tabla 67. Beneficios por ahorro de recursos al evitar enfermedades. Proyección de casos

Proporción atribuible a aguas residuales		Población beneficiada	BENEFICIOS 2019-2043 Millones \$
EDAS	0.075	5,628,861	11,208.55
Conjuntivitis	0.075	1,731,951	2,729.21
IRAS	0.05	14,328,405	26,984.18
TOTAL		21,689,217	40,921.94
Tasa de descuento	0.1		
Horizonte (años)	25 años		
VPN			\$ 9,296.01

Fuente: Elaboración propia. Precios constantes del año 2016.

B. El deterioro de los cuerpos de agua. Sector turismo

Para el sector turístico es de suma importancia tener en cuenta el beneficio que genera mantener un ambiente limpio. Las descargas contaminadas, que deterioran el medio ambiente, pueden impactar negativamente en el flujo de visitantes, ocasionando con ello una reducción de ingresos para el sector, estimados en 18.876 billones de pesos al año, pues incluye hospedaje, transporte, alimentación, diversión y compras.

En 2003, un diagnóstico de la contaminación en las playas de Acapulco y Zihuatanejo, originó la molestia del entonces gobernador de Guerrero, René Juárez Cisneros y del Congreso local, quienes solicitaron la remoción de un funcionario de la PROFEPA en la entidad, por haber dado a conocer a los medios de comunicación esa información. Las autoridades del estado consideraron que el funcionario había puesto en riesgo a la industria turística, principal fuente de ingresos y de empleo en Guerrero (Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, "Temas en la agenda nacional", en Medio ambiente http://archivos.diputados.gob.mx/Centros_Estudio/Cesop/Eje_tematico/11_mambiente.htm).

En febrero 2003, la PROFEPA reportó que las bahías de Acapulco y Zihuatanejo estaban catalogadas como focos rojos de infección para bañistas por los contaminantes que se descargaban en sus aguas (<http://suracapulco.mx/4/las-bahias-de-acapulco-y-zihuatanejo-de-las-mas-contaminadas-del-pais-PROFEPA/>). Se indicaba que entre los lugares que presentaban una situación crítica se encontraba la bahía de Santa Lucía, en Acapulco, y las playas La Ropa, Las Gatas y Del Pueblo, en Zihuatanejo. Otras playas contaminadas incluían Puerto Ángel, Puerto Escondido y Huatulco, en Oaxaca; Boca del

Río, en Veracruz, en Cd. Madero y Tampico, Tamaulipas, Lázaro Cárdenas, Michoacán; Puerto Vallarta y Nuevo Vallarta, Jalisco.

En 2006, Fidel Herrera Guzmán, gobernador del estado de Veracruz, calificó de “propaganda negra” en contra de Veracruz la difusión en torno a que las playas del estado se encontraban contaminadas, “*ya que buscaban desalentar el turismo*”, a raíz del reporte de la Cofepris, elaborado entre el 30 de junio y el 10 de julio de ese año, en donde se dio a conocer que seis playas rebasaban los límites recomendables de contaminación (<https://www.alcalorpolitico.com/informacion/playas-jose-marti-y-penacho-del-indio-no-se-cerraran-2978.html#.WRXrIfk1-po>). Veracruz reportó cuantiosas pérdidas por los análisis realizados por el Programa Playas Limpias. A pesar de no depender tan estrechamente del turismo de playa como otras regiones, el impacto económico fue de tal importancia que el gobierno municipal encaró acciones mediáticas para tratar de revertir el impacto que provocó la noticia a nivel nacional. Recuperar la confianza del consumidor conlleva costos mucho más elevados que realizar las acciones necesarias para la conservación del medio ambiente.

En 2012, el Sistema de Monitoreo de Calidad del Agua en Playas Prioritarias (SisPlayas) reportó un alto índice de contaminación en el agua de 22 playas de los estados de Veracruz, Jalisco, Nayarit y Guerrero. SisPlayas realizó muestreos de la calidad del agua y los niveles de enterococos encontrados, sobre todo en playas veracruzanas, fueron superiores al umbral de riesgo sanitario. Veracruz es la entidad que tiene el mayor número de playas en situación de riesgo.

Según el informe de SisPlayas, los niveles más alto de contaminación se registraron en las playas Regatas, Veracruz, con 24 mil 196 enterococos por cada 100 mililitros de agua; Guayabitos 1, de Compostela, con la misma cantidad, y Carabalí, de Acapulco, con 7 mil 270. Las playas en Veracruz con alto índice de enterococos son: Antón Lizardo, Gaviota II, Tortuga II, Pelicano II, José Martí, Mocambo, Pelicano I, Playón de Hornos, Regatas y Villa del Mar, son las más contaminadas. Asimismo, se reportó que en Bahía de Banderas, Puerto Vallarta, Mismaloya y Playa del Cuale, en Jalisco, también registran riesgo sanitario, en tanto en Boca de Tomatlán y Los Muertos, la calidad del agua era inadecuada. El criterio establecido por la Semarnat indica que existe riesgo sanitario cuando las lecturas son superiores a 200 enterococos.

Nuevamente en 2014, a petición de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris), la Secretaría de Salud de Guerrero y el Ayuntamiento de Zihuatanejo cerraron la Playa

Principal por exceder los límites de contaminación (<https://www.am.com.mx/leon/mexico/cierran-playa-contaminada-en-zihuatanejo-99818.html>).

En enero 2015, autoridades federales determinaron el cierre de las playas de Tijuana y Rosarito para el uso de bañistas debido al nivel de contaminación en el mar, informó la Dirección del Organismo de Cuenca Baja California de la Comisión Nacional de Agua (<http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2015/01/14/cierran-playas-de-tijuana-y-de-rosarito-por-contaminacion-8899.html>). El Departamento de Salud Ambiental del Condado de San Diego, California, emitió una alerta y también cerró el paso a sus playas, luego que detectaran niveles anormales de bacterias. Ya en enero de 2011, las playas de ambos municipios permanecieron cerradas durante tres días al rebasar el límite permitido por la Cofepris. Un año después, en abril de 2012, el organismo federal determinó el cierre al detectarse un derrame de aguas negras en el arroyo Alamar que la lluvia llevó hasta la costa. En marzo de 2014 se determinó el cierre precautorio de ambas playas ante el riesgo que las lluvias condujeran diversos contaminantes.

En 2016, activistas, surfistas y residentes de Baja California y California exigieron a los gobiernos federal, estatal y de Tijuana que se controlen las descargas de aguas residuales que emite al mar la planta de tratamiento de Punta Bandera de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (Cespt), por los niveles de contaminación que generan que consideraron “alarmantes”. Señalaron que la planta, ubicada en la carretera escénica a Rosarito, arroja la mar entre 800 y 900 litros por segundo de agua no tratada que va a dar hasta el otro lado de la frontera y provoca daños a la población y a las especies marinas que viven en la zona, y afectan el estuario del Río Tijuana (<http://jornadabc.mx/tijuana/26-10-2016/denuncian-alta-contaminacion-por-descargas-de-la-cespt-al-mar>).

La diferencia de ingresos por el deterioro de la calidad del agua se puede comparar en los destinos de Ixtapa y Zihuatanejo, así como en la bahía de Acapulco contrastada con el nuevo desarrollo Punta Diamante.

En el primer caso, Ixtapa y Zihuatanejo se encuentran separadas por apenas unos kilómetros, pero el primer destino cuenta con reconocimientos internacionales de la calidad de sus playas (Blue Flag, <http://www.blueflagmexico.org/PlayasGalardonadas>), mientras que el segundo reportó durante varios

años presencia de contaminación microbiológica de origen fecal (aguas residuales) en varias de sus playas y no ha podido despegar como destino turístico de alto nivel.

Por lo que respecta Acapulco, a pesar de haber sido el destino turístico por excelencia y de gran impacto hasta la década de los 70's, las descargas no contraladas a la bahía mermó su imagen a nivel mundial, y a la fecha no ha logrado recuperar el turismo de alto nivel. La pérdida económica asociada a la mala imagen de un destino turístico puede ser de hasta el 90% de sus ingresos, en función de la gravedad del caso.

De forma conservadora, para estimar los beneficios que conlleva implantar la modificación de la Norma, se propone considerar un impacto del 1% en el PIB generado por el turismo, debido al deterioro del medio ambiente en los destinos turísticos provocados por las descargas de aguas residuales.

Para estimar los beneficios del sector turístico se recurrió a la cuenta satélite del Sistema de Cuentas Nacionales de México, con la información histórica del periodo 1993-2015 se hizo un ejercicio de regresión para encontrar la curva de tendencia y proyectarla a 25 años, *Figura 33*.

En resumen, la oferta turística total queda integrada por los bienes y servicios característicos y no característicos, a precios del productor; la importación de bienes, en valores CIF; las compras directas de residentes en el exterior y los márgenes de comercio y distribución (Sistema de Cuentas Nacionales. Cuenta Satélite del Turismo de México, INEGI). Las cuentas satélite, incluyen:

Bienes y servicios característicos.

- Alojamiento u hospedaje

- Transporte: aéreo, ferroviario, autobús foráneo

- Agencias de viajes: guías de turistas, paquetes turísticos

- Artesanías

- Otros bienes: maletas, trajes de baño y ropa de playa

- Otros servicios: peajes y uso de instalaciones aeroportuarias

Bienes y servicios no característicos.

- Preparación y suministro de alimentos y bebidas

- Autobús urbano, suburbano y taxis

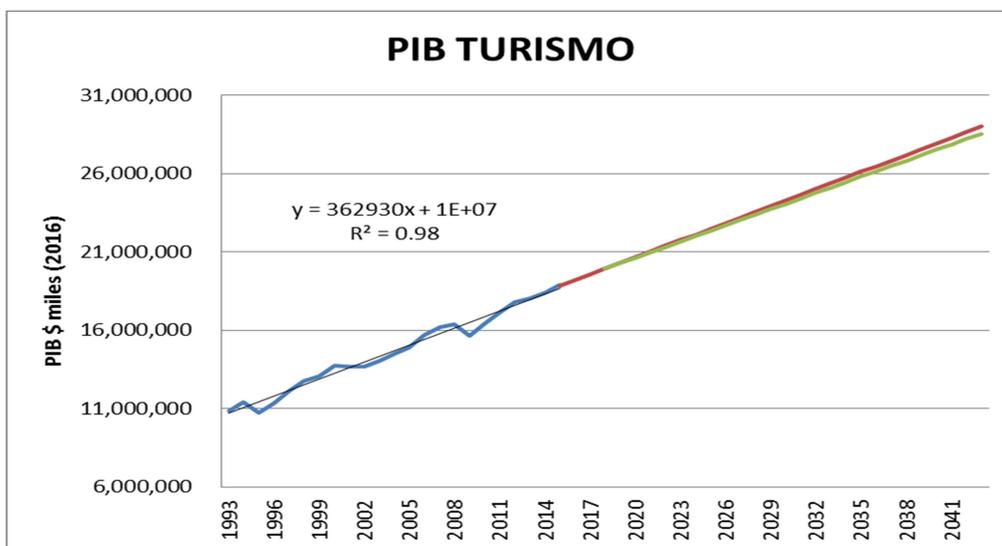
Recreación: cine, teatro, espectáculos taurinos y deportes; centros nocturnos, museos, entre otros.

Para estimar el efecto de no cambio, debido al continuo deterioro del entorno, se introducen dos curvas de tendencia, con el supuesto equivalente a una desaceleración del crecimiento de la actividad turística de uno y dos por ciento, respecto a la tendencia proyectada de crecimiento, en el supuesto de que sería equivalente a un impacto de un ambiente deteriorado, y manifiesto en cuerpos de agua en mal estado, durante el periodo de 25 años (2019-2043). En términos absolutos, las pérdidas evitadas debido al mantenimiento y mejoramiento de los cuerpos de agua producto de la modificación de la NOM 001, equivalen a un gasto turístico de 1.179 billones a 2.359 billones de pesos durante el periodo de 25 años, o 230 mil a 460 mil millones, traídos a valor presente con una tasa de descuento de 10%, *Tabla 68, Figura 33 y Anexo C*, en este anexo se presenta el análisis estadístico y la robustez. Este resultado se interpreta como el beneficio por evitar una disminución en la derrama económica para el país debido a la conservación de los cuerpos de agua, producto de la implantación de una Norma de descarga de agua residual más rigurosa.

Tabla 68. Impacto del riesgo ambiental, pérdida en el sector turístico (millones\$) a precios de 2016

PIB Sector turístico	Periodo 25 años Millones (\$)	Valor presente Tasa = 10% Millones (\$)	Valor anual equivalente
Disminución de 1%	1,179,253	230,276	25,369
Disminución de 2%	2,359,045	460,552	50,738

Fuentes: Elaboración propia con base en información de INEGI, "Sistema de Cuentas Nacionales de México, Cuentas de bienes y servicios; Indicadores trimestrales de la actividad turística", Cuenta satélite del turismo de México, 1993-2016.



Fuentes: Elaboración propia con base en información de INEGI, "Sistema de Cuentas Nacionales de México, Cuentas de bienes y servicios; Indicadores trimestrales de la actividad turística", Cuenta satélite del turismo de México, 1993-2016.

Figura 33. Beneficio por la conservación del medio ambiente, caso del sector turístico

Beneficios cualitativos, el paisaje es un intangible que sin duda es el atractivo en que se basa el turismo, en este caso se cuantificó el efecto que puede haber entre la inacción en cuanto a preservar y mejorar la calidad de las fuentes de agua del país.

Incluso es posible especular que, de implantarse una Norma más rigurosa, el mejoramiento de la calidad del agua puede favorecer la existencia en cuerpos de agua en buen estado, sin contaminar, y se abren las puertas para impulsar además de los deportes acuáticos, el excursionismo, el turismo de aventura y el recreativo, hoy cada vez más restringidos por el deterioro de los cuerpos de agua y su entorno. En una dinámica de conservación del medio ambiente, la actual proyección de la tendencia de crecimiento anual del sector, del orden del 2% pudiese ser mayor.

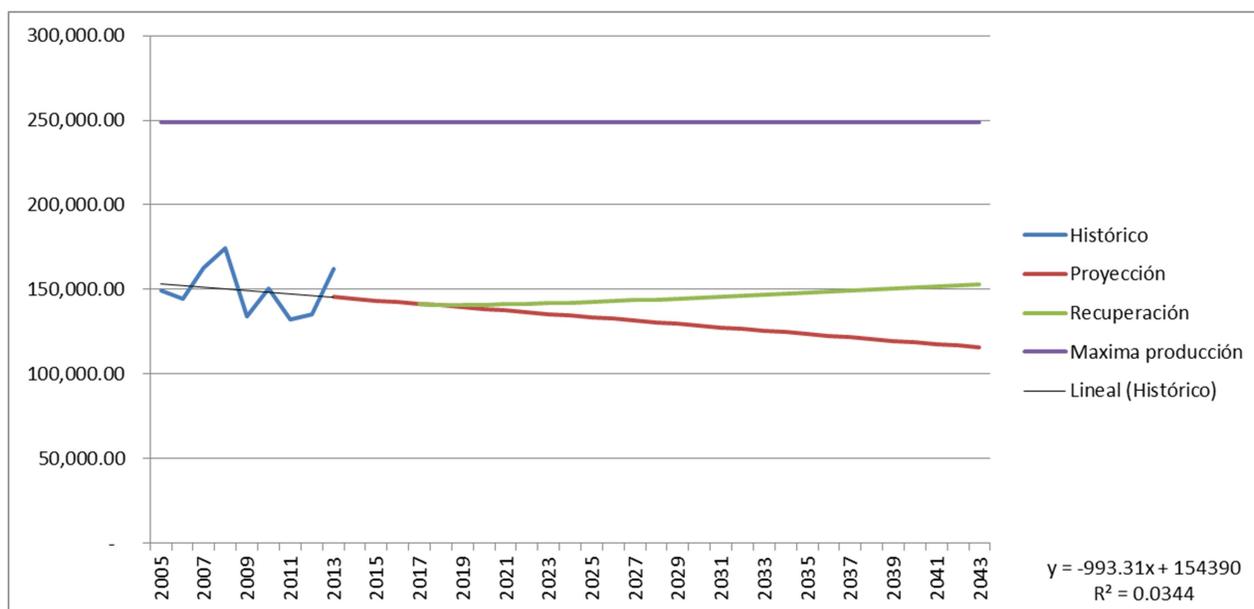
Una Norma más rigurosa garantizará que las corrientes de agua transporten contaminantes aguas abajo, para así evitar que los ríos y lagos lejanos de los centros de población se vean contaminados, detonando así la posibilidad de impulsar el turismo local, con el impacto que ello genera.

De aplicar la nueva Norma, en lugar de valorar una posible desaceleración del crecimiento del sector, se tendría que valorar un "ligero" incremento en su dinámica de crecimiento, con lo que el impacto de la Norma se duplicaría. Primero por evitar el deterioro del medio ambiente y posteriormente por mejorarlo.

C. La pesca

Para estimar las pérdidas por concepto de pesca se recurrió a información del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Con esta información se estimó la línea de tendencia (tipo potencial: $Y = BX^m$) de la captura de peces en cuerpos de agua dulce, para la República Mexicana. En la *Figura 34* se observa la tendencia decreciente de la captura de peces en el periodo estudiado.

El crecimiento de la producción se calibra con la capacidad máxima que podría haber, tomando en cuenta el volumen de los lagos y los nutrientes, obtenidos con información de siete lagos: Chapala, Cuitzeo, Pátzcuaro, Yuriria, Catemaco, Tequesquitengo y Nabor Carrillo, y que resulta del orden de las 249 mil toneladas anuales.



Fuente: Elaboración propia con base en información Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca.

Figura 34. Beneficios esperados en la captura de peces

Se estimó la producción al incorporar un escenario de mejora para un periodo de 25 años (2019-2043), cuyos resultados se presentan en la Tabla 69 y se justifican en el Anexo C. En este anexo se presenta el análisis estadístico y la robustez del modelo. Los resultados para este sector de la economía fueron:

- Captura adicional en 25 años: 461,822 Toneladas
- Precio promedio: \$26.50/Kg
- Beneficio esperado en precios de 2016: \$12,239,828,111
- Valor presente del beneficio: \$ 2,309,608,001

Tabla 69. Resultados de incremento de producción debido al saneamiento de los cuerpos de agua.

Año	Proyección	Recuperación	Beneficio	VP
2017	141,476.97	141,476.97	-	-
2018	140,483.66	140,483.66	-	-
2019	139,490.35	140,624.14	1,133.79	851.84
2020	138,497.04	140,854.40	2,357.36	1,610.11
2021	137,503.73	141,137.69	3,633.96	2,256.40
2022	136,510.42	141,462.05	4,951.63	2,795.06
2023	135,517.11	141,820.82	6,303.71	3,234.80
2024	134,523.80	142,209.65	7,685.85	3,585.50
2025	133,530.49	142,625.38	9,094.89	3,857.12
2026	132,537.18	143,065.63	10,528.45	4,059.17
2027	131,543.87	143,528.51	11,984.64	4,200.54
2028	130,550.56	144,012.45	13,461.89	4,289.37
2029	129,557.25	144,516.17	14,958.92	4,333.07
2030	128,563.94	145,038.57	16,474.63	4,338.28
2031	127,570.63	145,578.69	18,008.06	4,310.99
2032	126,577.32	146,135.70	19,558.38	4,256.47
2033	125,584.01	146,708.86	21,124.85	4,179.44
2034	124,590.70	147,297.53	22,706.83	4,084.02
2035	123,597.39	147,901.10	24,303.71	3,973.85
2036	122,604.08	148,519.06	25,914.98	3,852.10
2037	121,610.77	149,150.90	27,540.13	3,721.51
2038	120,617.46	149,796.19	29,178.73	3,584.49
2039	119,624.15	150,454.52	30,830.37	3,443.08
2040	118,630.84	151,125.52	32,494.68	3,299.04
2041	117,637.53	151,808.83	34,171.30	3,153.87
2042	116,644.22	152,504.13	35,859.91	3,008.84
2043	141,476.97	153,211.12	37,560.21	2,865.01
2017	140,483.66	Toneladas	461,821.87	87,143.99
		\$/kg	26.50	26.50
		miles \$	12,239,828.11	2,309,608

Fuente: Elaboración propia con base en información Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca.

D. Reutilización

En este caso los beneficios se estiman a partir de la liberación de agua de primer uso al sustituirla con agua de reúso para la industria, para riego municipal y para riego agrícola. Esta liberación tiene como consecuencia los ahorros derivados de evitar recurrir a fuentes alternas de suministro más onerosas debido a una ubicación lejana, o a los costos incrementales por requerir bombear de mayor profundidad o por tener gastos en exceso para potabilizar debido a la contaminación del acuífero.

La conservación o agua residual de mejor calidad vertida en los cuerpos de agua, es extensiva para consumo animal, con ello se elimina o disminuyen los gastos en veterinarios y medicinas; así como reducir los riesgos de disminución de la producción, pérdidas de capital pecuario o incluso, extinción de especies salvajes. Otros beneficios son la garantía de reservas adicionales para diversos usos (aumento potencial de las reservas disponibles de agua) y la conservación de fauna con potencial para su futura explotación.

Recurrir a fuentes lejanas, es el caso de muchas ciudades del país que han rebasado la capacidad de suministro de sus fuentes cercanas por lo que requieren suministrarse de fuentes distantes. En la *Tabla 70* se listan los principales acueductos del país, cuyo caudal de diseño es de 87,752 l/s.

Tabla 70 Principales acueductos de México

No	Acueducto	Región	Longitud (km)	Caudal de diseño (l/s)	Año de término	Abastece a	Responsable de la operación
1	Lerma	VIII Lerma-Santiago-Pacífico y XIII Aguas del Valle de México	60	14 000	1975	Ciudad de México con agua de los acuíferos localizados en la zona alta del Río Lerma.	Sistema de Aguas de la Ciudad de México
2	Chicbul-Ciudad del Carmen	XII Península de Yucatán	122	390	1975	Sabancuy, Isla Aguada y Ciudad del Carmen, Camp	Sistema Municipal de Agua Potable de Ciudad del Carmen, Camp.
3	Río Colorado-Tijuana	I Península de Baja California	130	4 000	1982	Ciudades de Tijuana y Tecate y al poblado La Rumorosa, BC.	Comisión de Servicios de Agua del Estado de Baja California (Cosae).
4	Linares-Monterrey	VI Río Bravo	133	5 000	1984	Área Metropolitana de la ciudad de Monterrey, N.L., con agua de la presa Cerro Prieto.	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.
5	Uxpanapa- La Cangrejera	X Golfo Centro	40	20 000	1985	22 industrias en la parte sur del estado de Veracruz	Conagua

No	Acueducto	Región	Longitud (km)	Caudal de diseño (l/s)	Año de término	Abastece a	Responsable de la operación
6	Yurivia - Coatzacoalcos y Minatitlán	X Golfo Centro	64	2 000	1987	Coatzacoalcos y Minatitlán, Ver. con agua del Río Ocotál y Tizizapa	Comisión Municipal de Agua y Saneamiento de Coatzacoalcos, Ver. (CMAPS Coatzacoalcos).
7	Armería-Manzanillo	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	50	250	1987	Manzanillo, Colima.	Comisión de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado de Manzanillo, Col.
8	Vizcaíno-Pacífico Norte	I Península de Baja California	206	62	1990	Localidades de Bahía Asunción, Bahía Tortugas y poblados pesqueros de Punta Abrejos, BC.	Organismo operador del municipio de Mulegé, B.C.
9	Chapala-Guadalajara	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	42	7 500	1991	Zona Metropolitana de Guadalajara con agua del Lago de Chapala.	Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (Siapa).
10	Presa Vicente Guerrero- Ciudad Victoria	IX Golfo Norte	54	1 000	1992	Ciudad Victoria, Tamaulipas con agua proveniente de la presa Vicente Guerrero	Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (Comapa Victoria).
11	Sistema Cutzamala	IV Balsas y XIII Aguas del Valle de México	162	19 000	1993	Zona Metropolitana del Valle de México con agua de las presas Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque, entre otras.	Conagua
12	El Cuchillo-Monterrey	VI Río Bravo	91	5 000	1994	Área metropolitana de la ciudad de Monterrey con agua proveniente de la presa el Cuchillo.	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.
13	Río Huitzilapan-Xalapa	X Golfo Centro	55	1 000	2000	Xalapa-Enríquez, Ver.	Comisión Municipal de Agua y Saneamiento de Xalapa (CMAS Xalapa).
14	Conejos-Médanos	VI Río Bravo	25	1 000	2009	Ciudad Juárez, Chih.	Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez, Chihuahua - Administradora de Proyectos Hidráulicos de Ciudad Juárez, S.A. de C.V. (Grupo Carso).
15	Acueducto II Querétaro	VIII Lerma-Santiago-Pacífico y IX Golfo Norte	122	1 500	2011	Santiago de Querétaro, Qro.	Comisión Estatal de Aguas - Controladora de Operaciones de Infraestructura S.A. de C.V. (ICA).
16	Independencia	II Noroeste	135	2 380	2013	Hermosillo, Son.	Conagua
17	Lomas de Chapultepec	V Pacífico Sur	34	1 250	2014	Acapulco, Gro.	Comisión de Agua Potable, Alcantarilla-do y Saneamiento del Estado de Guerrero (CAPASEG)

No	Acueducto	Región	Longitud (km)	Caudal de diseño (l/s)	Año de término	Abastece a	Responsable de la operación
18	Paralelo Chicbul-Ciudad del Carmen	XII Península de Yucatán	120	420	2014	Sabancuy, Isla Aguada y Ciudad del Carmen, Camp.	Sistema Municipal de Agua Potable de Ciudad del Carmen, Camp.
19	Realito - San Luis Potosí		133	1 000	2015	San Luis Potosí, SLP	Comisión Estatal del Agua de San Luis Potosí – Aquos- El Realito S.A. de C.V
20	Región Carbonífera		78	1 000		San José de Aura, La Florida, Baroterán, Esperanzas, Rancherías, Palaú, San Juan Sabinas, Nueva Rosita, Cloete, Agujita y Sabinas	Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Saneamiento de Muzquiz, San Juan Sabinas y Sabinas, Coahuila
	Total		1 856	87 752			

Fuente: CONAGUA e información propia

Considerando que los acueductos operen al 80% de su capacidad de diseño y que, por efecto de la Norma, se libere el 10% del volumen, podría haber hasta un ahorro equivalente mil 164 millones de pesos anuales, considerando solamente el ahorro en gasto energético y potabilización, *Tabla 71*.

Tabla 71 Ahorros por reúso

Acueducto	\$/m ³	m ³ liberados por reúso	
		10%	Ahorro energético \$/año
Lerma	4.311	435,456,000	150,195,963
Chicbul-Ciudad del Carmen	4.311	12,130,560	4,184,030
Río Colorado- Tijuana	8.752	124,416,000	87,113,669
Linares-Monterrey	2.410	155,520,000	29,985,796
Uxpanapa- La Cangrejera	4.311	622,080,000	214,565,662
Yurivia- Coatzacoalcos y Minatitlán	4.311	62,208,000	21,456,566
Armería- Manzanillo	4.311	7,776,000	2,682,071
Vizcaíno- Pacífico Norte	2.851	1,928,448	439,864
Chapala- Guadalajara	4.311	233,280,000	80,462,123
Presa Vicente Guerrero- Ciudad Victoria	4.311	31,104,000	10,728,283
Sistema Cutzamala	8.545	590,976,000	404,000,238
El Cuchillo- Monterrey	2.410	155,520,000	29,985,796
Río Huitzilapan-Xalapa	4.311	31,104,000	10,728,283
Conejos-	4.356	31,104,000	10,840,364
Acueducto II Querétaro	4.311	46,656,000	16,092,425
Independencia	9.023	74,027,520	53,435,002
Lomas de Chapultepec	4.311	38,880,000	13,410,354
Paralelo Chicbul-Ciudad del Carmen	4.311	13,063,680	4,505,879
Realito- San Luis Potosí	4.311	31,104,000	10,728,283
Región Carbonífera	3.399	31,104,000	8,457,532
	Totales	2,729,438,208	1,163,998,183

Fuente: Elaboración propia con base en información CONAGUA.

E. Degradación y agotamiento

Eliminación de malezas acuáticas

El problema de la infestación de los cuerpos de agua con malezas acuáticas se remonta a la década de los cincuenta, cuando se detectaron los primeros problemas en cuerpos de agua cercanos a las principales zonas urbanas, como el Lago de Chapala, Jal., localizado en la parte central del país.

Hoy en día, la presencia de las malezas sigue siendo un problema por la magnitud de las áreas afectadas y los problemas asociados.

Para su eliminación utilizan métodos físicos, químicos y biológicos. En cuanto a la prevención para reducir su proliferación, se ha tratado de disminuir el volumen de nutrientes de las descargas de agua residual. Con la modificación de la Norma se espera que el impacto sea aún mayor, en cuanto al desarrollo de malezas.

En 1993 existían unas 10,000 hectáreas de drenes y canales, en los distritos de riego, y 63,000 ha en otros cuerpos de agua, infestados con malezas. De entonces a la fecha se han intensificado las acciones para controlar su proliferación, a pesar de los esfuerzos el problema subsiste por lo que se les deben dar servicio continuo para controlar la reproducción de las malezas acuáticas. Se considera que en 2016 se había eliminado malezas en el 50% de la superficie reportada en 1993 y que se continúa con los trabajos de mantenimiento para conservar el área despejada, con los siguientes datos:

PREMISAS	
Para una velocidad de crecimiento anual de:	2.7
Superficie rescatada respecto 1993	0.5
Proporción eliminada con el método de trituración	0.3
Proporción eliminada con el método de extracción	0.3
Proporción eliminada con el método químico	0.4

Con los costos presentados en la *Tabla 72*, incluyen depreciación, operación y mantenimiento del equipo, se encontró el resultado a nivel nacional, que sería el máximo ahorro anual derivado de la reducción de la velocidad de reproducción de las malezas, consecuencia de la reducción de nutrientes proveniente del agua residual tratada.

Tabla 72. Resultados de los ahorros en eliminación de malezas.

Método	Costos (\$/ha)	Beneficio
Trituración y hundimiento	2,966	87,683,590
Extracción de malezas	5,190	153,694,432
Aplicación de químicos	2,545	100,314,502
Total Anual		\$341,692,524

Fuente: Elaboración propia con base en información CONAGUA.

El beneficio anual parte del gasto evitado para eliminar las malezas, partiendo de que los ahorros serían incrementales conforme se implanta la nueva Norma, se parte de cero beneficios en 2018 para incrementar linealmente durante 25 años, tiempo que se considera se requerirá para sanear los cuerpos de agua. El valor presente de los beneficios del periodo de 25 años, utilizando una tasa de descuento de 10%, resultó de 867.2 millones de pesos, lo cual implica los gastos de inversión, operación y mantenimiento de los equipos utilizados tanto en la eliminación mecánica como química de las malezas acuáticas.

Este resultado no implica otros beneficios que acompañan a la eliminación de la maleza, como: la navegación y las pérdidas de agua debido a la evapotranspiración; o el turismo y la pesca, cuya estimación se abordaron en otras secciones.

La degradación y agotamiento también se asocia con; y los ahorros en el tratamiento de agua para consumo humano, sobre el cual se expone como ejemplo el caso del agua tratada en los Berros, para su envío a la Ciudad de México.

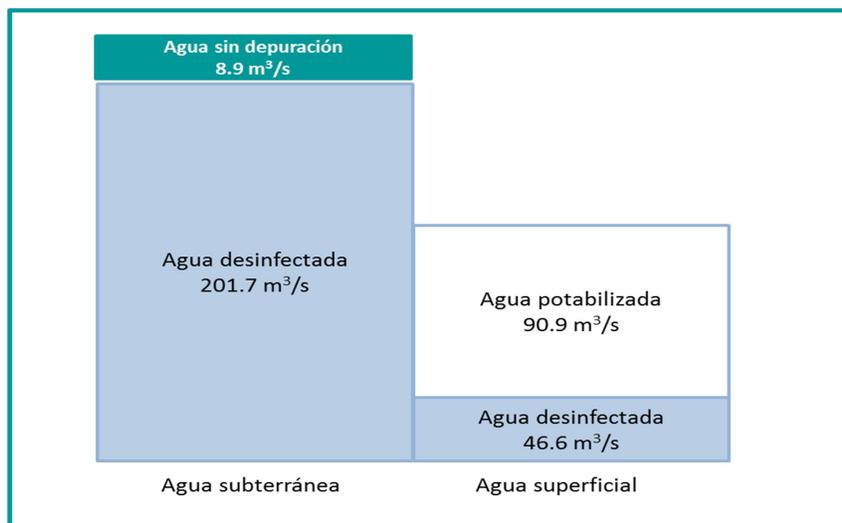
La conservación de las fuentes de suministro para consumo humano

En este caso los beneficios se relacionan con la disminución en los costos de operación de una planta potabilizadora. En años recientes, el proceso de tratamiento de algunas plantas potabilizadoras se ha visto seriamente afectados por los florecimientos algales, especialmente exacerbados antes del inicio de la temporada de lluvias debido los nutrientes contenidos en las descargas de aguas residuales municipales.

Los ríos poseen la característica de presentar cambios rápidos en su calidad, debido a que las variaciones de flujo (producto de la precipitación pluvial) arrastran y resuspenden sólidos. Los lagos y

presas en cambio, poseen la característica de que su calidad se ve modificada en forma gradual y menos drástica, a causa del poco movimiento del agua. Por esta característica se pueden contaminar fácilmente y generar una mayor actividad biológica (microorganismos), asociada al color, materia orgánica y material flotante en dichos cuerpos.

Las aguas superficiales de ríos y lagos son fuentes importantes de abastecimiento de agua, y normalmente soportan altas tasas de extracción, $137.5 \text{ m}^3/\text{s}$ en toda la República (CONAGUA, 2016), y de estos se potabilizan $90.9 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalente al 26% del total, subterráneo y superficial, extraído para consumo humano *Figura 35*.



Fuente: CONAGUA/ Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, edición 2016
Figura 35. Agua producida y desinfectada por origen (m^3/s).

Los principales problemas relacionados con las cianobacterias son: obstrucción de conductos y equipos, en particular los filtros de arena; y producción de metabolitos, usualmente generadores de compuestos que producen olor y sabor terro-mohoso, así como de toxinas que pueden representar un riesgo potencial para la salud humana y en animales, si se consume el agua contaminada por estos compuestos (Codd, 2000; Codd et al., 2005a).

Las cianobacterias y sus metabolitos determinadas épocas del año (como en el verano), en que las condiciones de temperatura y concentración de nutrientes son favorables, se presenta un crecimiento excesivo de algas, el cual deteriora la calidad del agua al afectar la variación de pH, color, turbidez, olor y sabor (Hammer, 1996), es decir, causan de manera indirecta el agotamiento del oxígeno

contenido en las aguas naturales y producen como efecto primario la eutroficación. El efecto secundario incluye la de los organismos acuáticos con una colonización total del cuerpo de agua que eventualmente se convertirá en un pantano, para finalmente desaparecer (Hammer, 1996). Las cianobacterias se encuentran en aguas superficiales recreativas y fuentes de abastecimiento de agua potable.

Este fenómeno se ha podido observar en las presas abastecedoras. Como es el caso del agua cruda con que se alimenta a la Planta Potabilizadora “Los Berros”, la más grande del país con capacidad de tratamiento de 20 m³/s (CONAGUA, 2015) alimentada principalmente por la presa de Valle de Bravo ubicada en el estado de México. Otro ejemplo es la presa Chilesdo, que se construyó para aprovechar las aguas del río Malacatepec.

Específicamente en la potabilizadora “Los Berros” se han tenido que modificar las condiciones de operación cuando se presentan los florecimientos algales.

La producción de sustancias tóxicas se denomina “cianotoxinas”, por provenir de las cianobacterias. Las cianotoxinas afectan a órganos y se clasifican en Citotoxinas, Hepatotoxinas, Neurotoxinas, Endotoxinas y Dermatotoxinas. El riesgo para la salud se relaciona principalmente con la producción de sustancias tóxicas que se volatilizan produciendo olor y sabor desagradable debido a la producción de la Geosmina.

A finales de los años noventa, se presentó un desarrollo importante de algas asociado a una mala calidad de agua en la presa de Valle de Bravo, que causó olor y sabor terromohoso, fenómeno que generó una serie de quejas entre los consumidores del agua potable de la Planta Potabilizadora “Los Berros”, Sistema Cutzamala (CNA, 1998).

El incremento de la concentración de los nutrientes nitrógeno (N) y fósforo (P) en el embalse, favoreció un crecimiento importante de cianobacterias o bloom, hasta alcanzar niveles como el observado en el agua cruda de la presa Valle de Bravo (en la toma de bombeo a la planta potabilizadora) en el verano de 1998; en el transcurso de ese año se cuantificó un número total de algas equivalente a 286,532 Org/mL, de los cuales 117,168 Org/mL correspondieron a las cianobacterias.

De acuerdo con los criterios propuestos por la OMS para fuentes de abastecimiento de agua potable, el contenido de cianobacterias rebasa, de manera muy significativa, el valor para el Nivel 2 (100,000

Org/mL). Entre las más abundantes se detectó la denominada *Anabaena spiroides* con 62,544 Org/mL, especie característica de aguas eutróficas y de nivel trófico más avanzado. Este bloom algal de cianobacterias se considera el más importante por haber dominado durante siete meses del año y por tratarse de algas productoras de toxinas. Ello indica la necesidad de aplicar un tratamiento para disminuir la concentración de estos microorganismos.

La concentración promedio de clorofila-a, en ese año fue de 32.2 µg/L (CNA, 1998), valor que rebasó significativamente el valor propuesto por la OMS para fuentes de abastecimiento de agua potable en el Nivel 1 (1 µg/L). Con base en el valor promedio de clorofila-a, la presa Valle de Bravo presentaba eutrofización, ya que un sistema se clasifica como eutrófico, si los valores de concentración media anual de clorofila-a en aguas superficiales están entre 8–25 µg/L (Ryding y Rast, 1992 citado en CNA 2005), y si el valor es mayor a 15 µg/L, según la CNA (CNA, 2005).

El desarrollo importante de cianobacterias observado en 1998, se atribuyó a la alta concentración de nutrientes en la cuenca del embalse Valle de Bravo, proveniente de fuentes puntuales de descargas de aguas residuales (57%) y de fuentes difusas como aguas de retorno agrícola (43%).

Para mejorar el efluente tratado por la potabilizadora “Los Berros”, se implementaron acciones que permiten garantizar la calidad del agua potable durante los florecimientos algales.

En este sentido, durante este periodo se incrementa la dosis de reactivos utilizados en el proceso y aumenta el número de retrolavados de los filtros:

- Carbón Activado en Polvo (CAP): 10 mg/L
- Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$): 5.1 mg/L
- Cloro gas (Cl): 0.7 mg/L

Los costos asociados a estas sustancias son:

- | Reactivo | Costo utilizado |
|----------|-----------------|
|----------|-----------------|

Para estimar el beneficio de la mejora de la Norma, se considera solamente el periodo Marzo – Abril – Mayo, por considerar que ya no hay influencia de la lluvia sobre las presas que alimentan a la

potabilizadora (91 días) y para un caudal de operación de la potabilizadora de 15 m³/s, el aumento del costo por operación está en función de la cantidad extraordinaria de reactivos, el cual se presenta en la *Tabla 73*. El costo del carbón activado en polvo se consideró a 1,250 dólares por tonelada, y se considera un cambio de 1 dólar = \$20.50.

Tabla 73. Cantidades complementarias de reactivos, periodo Marzo – Mayo

Sustancia	Cantidad requerida extraordinaria	Costo adicional
Carbón Activado en Polvo	1,192.32 ton	\$30,553,200.00
Sulfato de aluminio	608.08 ton	\$1,184,546.07
Cloro gas	83.46 ton	\$734,469.12
Energía para retrolavado	\$0.01/m ³	\$429,235.20
	Total	\$32,901,450.39

Fuente: Elaboración propia con base en información de la Planta Potabilizadora Los Berros.

En lo que corresponde a la operación, las carreras de filtración disminuyen en hasta 13 horas, esto es, una carrera de filtración normal dura 49 horas mientras que durante los florecimientos algales estas duran solamente 36 horas. Esto implica retrolavados más frecuentes, con el consecuente consumo suplementario de energía. En el periodo considerado se considera que hay que efectuar al menos 16 retrolavados suplementarios, lo que implica que habrá un 36% más de consumo de energía eléctrica por este concepto. Si se considera de manera general que el costo de retrolavado es de \$0.01/m³ de agua tratada, la utilización suplementaria de energía es de \$429,235.20.

En este caso, el costo de la Planta Los Berros suplementario por los florecimientos algales durante el periodo Marzo – Mayo se eleva a \$32,901,450, que se puede traducir como un costo extraordinario de \$0.28/m³ de agua potabilizada.

Otras instalaciones susceptibles de presentar este problema son las potabilizadoras que se encuentran alrededor del lago de Chapala, ya que el INE ha reportado presencia de cianobacterias en este lago. De manera general, se han reportado muchos eventos de florecimientos de cianofitas en varios estados de la República Mexicana, como: Baja California Sur, Jalisco, Michoacán, Veracruz, San Luis Potosí, Sinaloa, Querétaro, Guanajuato, Puebla, Oaxaca, Hidalgo y en el Estado de México³.

³ (Cortés-Altamirano y Licea-Durán, 1999; Ramírez-García et al., 2004; Oliva-Martínez et al., 2008; Arzate-Cárdenas et al., 2010; Vasconcelos et al., 2010; Sánchez-Chávez et al., 2011; Berry et al., 2011; Gárate-Lizárraga y Muciño-Márquez 2012; Tomasini-Ortiz et al., 2012; R.E. Muciño-Márquez, M.G. Figueroa-Torres1 A. Aguirre-León, 2015)

El mejoramiento de la Norma conlleva a mejorar la calidad de los cuerpos de agua que son utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable, evitando un mayor consumo de reactivos y de energía.

En el país existen 874 plantas potabilizadoras, con una capacidad instalada de 140.7 l/s, de diseño que suministran un caudal potabilizado de 97.89 l/s (Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, CONAGUA, 2015). De ellas, 215 plantas potabilizadoras utilizan un tren de tratamiento de agua de tipo convencional (coagulación-floculación, sedimentación y filtración sobre arena).

La proyección a nivel nacional de la experiencia de los Berros, *Tabla 74*, arrojó que, de prosperar la aplicación de modificación a la Norma de descarga, las plantas potabilizadoras podrían sumar ahorros del orden de los 79 millones de pesos al año, en un periodo de 25 años la suma de los ahorros traídos a valor presentes sería del orden de \$200.5 millones de pesos.

Tabla 74. Ahorros en el consumo de reactivos y energía

Año	Ahorros	Valor Presente
2019	\$3,160,629	2,374,627
2020	\$6,321,258	4,317,504
2021	\$9,481,887	5,887,506
2022	\$12,642,516	7,136,371
2023	\$15,803,145	8,109,512
2024	\$18,963,774	8,846,740
2025	\$22,124,403	9,382,906
2026	\$25,285,032	9,748,474
2027	\$28,445,661	9,970,030
2028	\$31,606,289	10,070,738
2029	\$34,766,918	10,070,738
2030	\$37,927,547	9,987,509
2031	\$41,088,176	9,836,183
2032	\$44,248,805	9,629,829
2033	\$47,409,434	9,379,704
2034	\$50,570,063	9,095,470
2035	\$53,730,692	8,785,398
2036	\$56,891,321	8,456,532
2037	\$60,051,950	8,114,854
2038	\$63,212,579	7,765,411
2039	\$66,373,208	7,412,438
2040	\$69,533,837	7,059,464
2041	\$72,694,466	6,709,408
2042	\$75,855,095	6,364,656
2043	\$79,015,724	6,027,136
	VPN	200,539,139

Fuente: Elaboración propia con base en información de la Planta Potabilizadora Los Berros.

Cuentas Económicas y Ecológicas de México

El INEGI contabiliza la degradación y el agotamiento del medio ambiente en el país por medio de las Cuentas Económicas y Ecológicas de México. De los conceptos contabilizados, considera específicamente el agua, cuyos resultados se presentan en la *Tabla 75*, denominado “Costo por agotamiento” y “Costo por degradación”. Al sumar ambos conceptos y convirtiéndolos a precios 2016, el costo total por agotamiento y degradación durante el periodo 1996-2015 es de \$214,505 millones de pesos, a precios 2016.

Tabla 75. Degradación y Agotamiento del agua en México

Año	Agotamiento	Degradación	Agotamiento + Degradación	INPC	Precios 2016	VP
1996	22,535	236,504	259,039	34.6565	896,719	133,292
1997	37,801	306,253	344,054	41.8047	987,366	161,442
1998	35,735	382,369	418,104	48.4635	1,035,015	186,156
1999	44,487	455,919	500,406	56.5014	1,062,526	210,215
2000	55,383	517,775	573,158	61.8643	1,111,504	241,896
2001	51,739	539,673	591,412	65.8037	1,078,243	258,123
2002	55,474	565,304	620,778	69.1141	1,077,572	283,758
2003	127,934	520,124	648,058	72.2566	1,076,001	311,679
2004	162,648	534,707	697,355	75.6443	1,105,998	352,405
2005	196,291	562,583	758,874	78.6611	1,157,408	405,664
2006	221,378	579,479	800,857	81.5160	1,178,660	454,424
2007	251,079	605,058	856,137	84.7496	1,211,942	513,982
2008	292,336	622,661	914,997	89.0930	1,232,118	574,792
2009	190,356	641,648	832,004	93.8126	1,063,998	545,999
2010	229,179	645,695	874,874	97.7122	1,074,171	606,342
2011	260,373	668,736	929,109	101.0415	1,103,172	684,983
2012	264,018	722,589	986,607	105.1959	1,125,180	768,513
2013	172,024	737,115	909,139	109.2001	998,812	750,422
2014p/	149,400	741,558	890,958	113.5884	941,022	777,704
2015p/	122,716	784,757	907,473	116.6788	933,079	848,254
2016				119.9711	-	

p/ Cifras preliminares

Fuente: INEGI Estadísticas de contabilidad nacional > Base 1993 > Cuentas económicas y ecológicas de México (1996-2002) y Cuentas nacionales > Cuentas económicas y ecológicas de México a precios corrientes, base 2008 (2003-2015).

Al procesar la serie de tiempo al año 2016 y utilizando una tasa de descuento de 10%, el Valor Presente Neto es de \$90,700 millones de pesos, con un Valor Anual Equivalente de \$9,992 millones de pesos.

Estos resultados incluyen las estimaciones realizadas previamente, las cuales suman un Valor Anual Equivalente de \$118.8 millones de pesos, 0.04% de los valores reportados por el INEGI para reportar las cuentas nacionales. EL INEGI incluye, entre otros aspectos, el costo por recurrir a fuentes cada vez más lejanas, o la pérdida de valor de los predios debido al deterioro del entorno.

Con base en esta información se considera que un escenario debido al impacto favorable por la modificación de la Norma 001-2016, repercutiría en un 1% del valor total por degradación y agotamiento reportado en las Cuentas Nacionales, equivalente a \$11,059 millones de pesos anuales.

F. Riego Agrícola

El recurso agua es un bien necesario para la producción y desarrollo en México, el sector primario aportó en 2014 un 3.1% al PIB (CONAGUA, 2015). No obstante, en la agricultura la poca disponibilidad del agua influye para que este recurso hídrico sea aprovechado de todas las fuentes disponibles, incluso se utilizan fuentes alternas (aguas crudas o tratadas) para la producción.

En México se tienen 6.1 millones de hectáreas destinadas a producción agrícola en donde la producción es por riego, de las cuales aproximadamente 2.2 millones de hectáreas están bajo la jurisdicción de los Distritos de Riego y 3.9 millones de hectáreas que pertenecen a obras de pequeña irrigación bajo la jurisdicción de las Unidades de Riego. En el 2014-2015 la superficie regada en DR fue de 2,898,099 ha, en cuanto a las Unidades de Riego para el mismo año agrícola la superficie sembrada fue de 3,924,842 ha 30% más de superficie que en los DR.

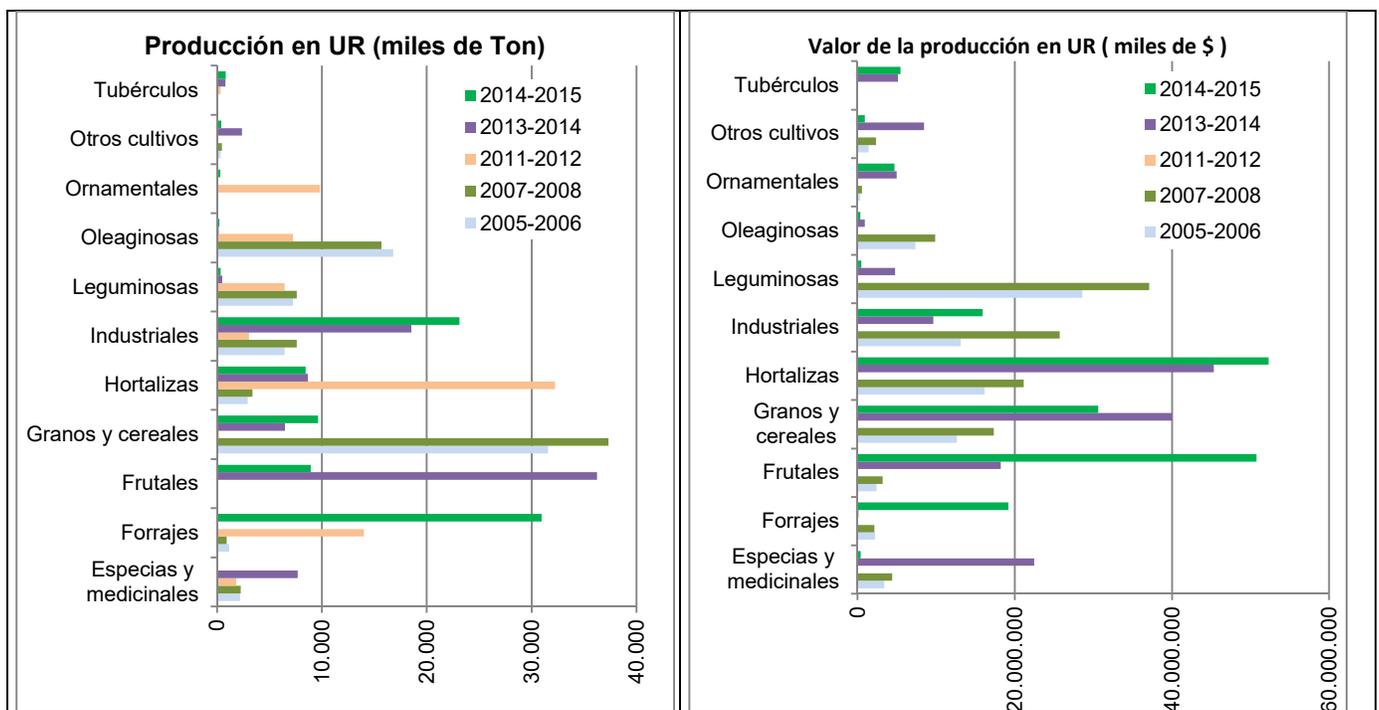
Año agrícola 2014-2015		Superficie cosechada Ha	Producción (Miles de toneladas)	Valor de producción (Millones \$)
Unidades de riego		3,796,239	83,176	184,047
Distritos de Riego	(Riego +Temporal ⁴)	2,898,099	48,033	122,605

Fuente: Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Año Agrícola 2014-2015, Conagua; Estadísticas Agrícolas de las Unidades de Riego, Año Agrícola 2014-2015, Conagua.

⁴ Superficie, localizada dentro de los límites oficiales de los distritos de riego, dedicada a la producción agrícola y cuyos requerimientos hídricos en un año agrícola fueron satisfechos por lluvia (no por riego).³

En las unidades de riego se siembra principalmente forrajes, industriales, granos, hortalizas y frutales en cambio en los distritos de riego los principales cultivos que se siembran son forrajes, granos, industriales y hortalizas (*Figura 36*).

Por lo tanto, la NOM-1996 y NOM-2016 al permitir que el agua que se descarga tenga determinadas características dependiendo del cuerpo receptor destino y al ir al suelo para infiltración y otros riegos la calidad del agua afecta de forma directa e indirectamente la producción agrícola que debe ser acorde a los lineamientos. En este contexto la producción agrícola en DR y UR debería de acotarse a los límites máximos permisibles (LMP) para el riego restringido y al no restringido. Esto limita los beneficios de los agricultores ya que al no contar con agua de buena calidad tienen que limitar su producción a otros cultivos diferentes a hortalizas, legumbres y verduras.



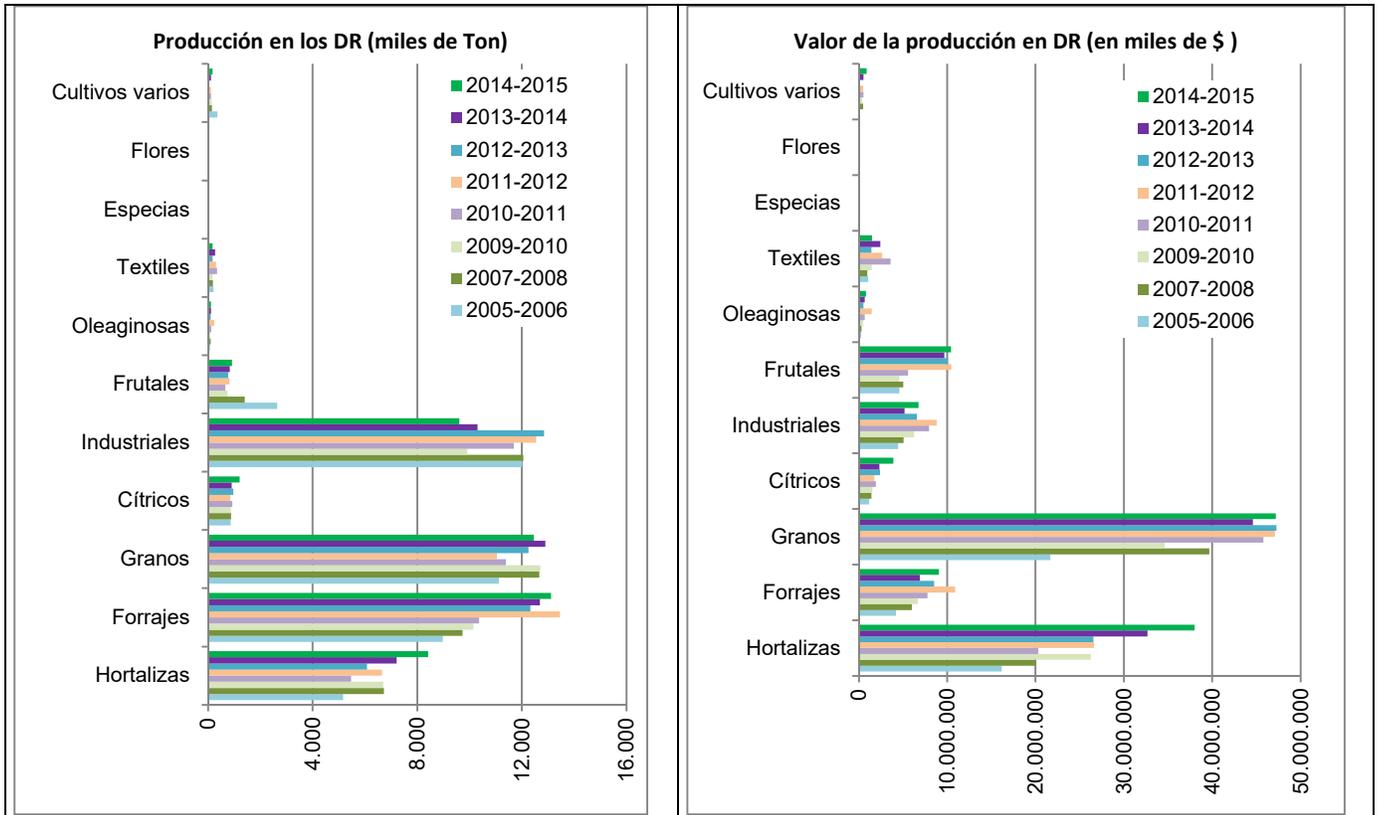
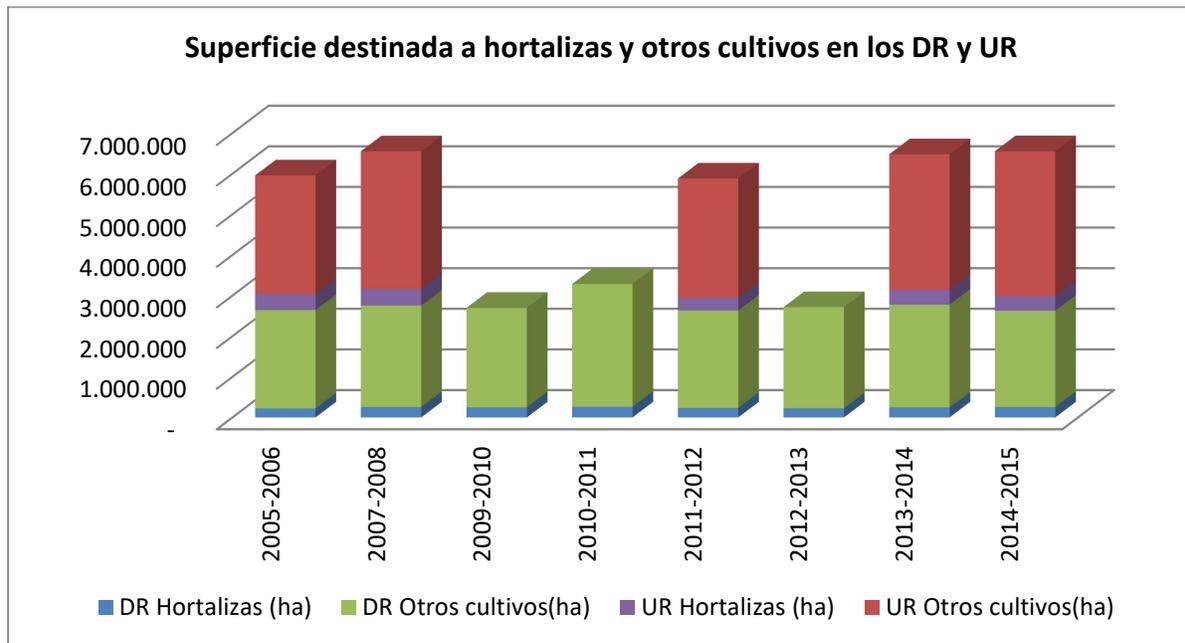


Figura 36. Cultivos y valor de la producción agrícola

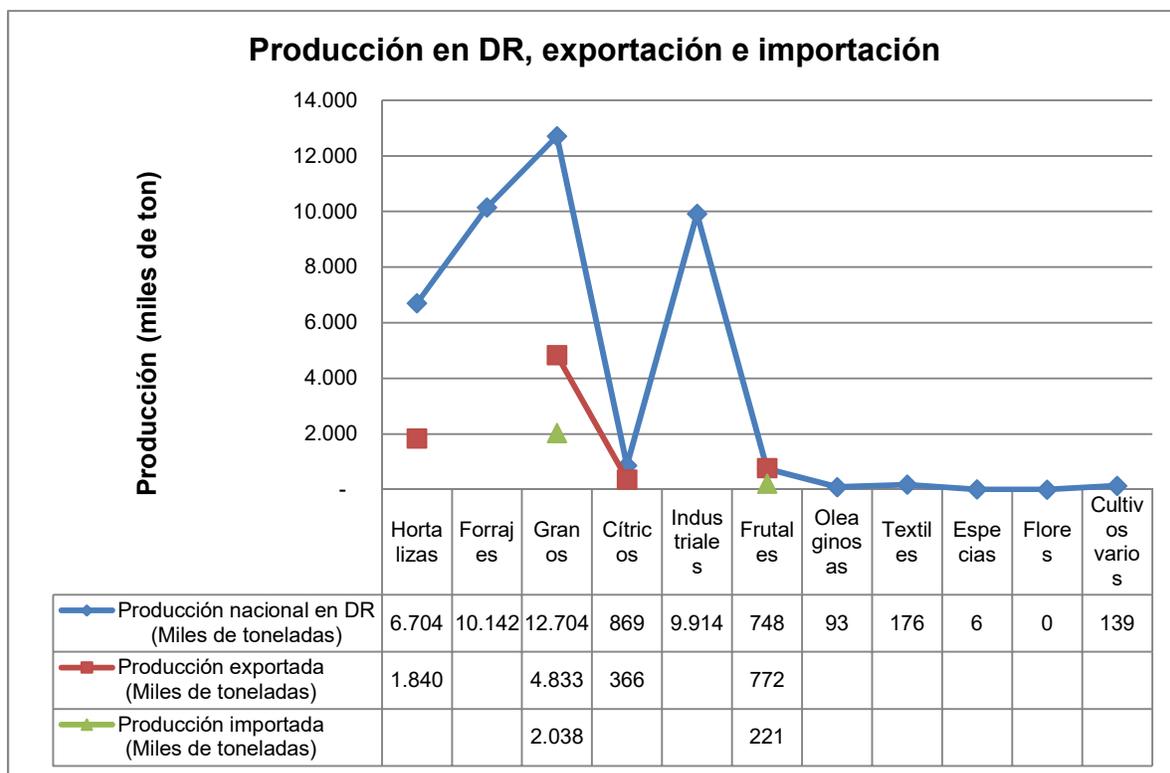
Actualmente la producción de este tipo de cultivos en los DR representa solo el 9% de su producción total por año agrícola mientras que la producción en unidades de riego es del 10% en promedio, en conjunto la superficie de los Distritos de Riego y Unidades de Riego en las que se siembran hortalizas son del orden de 451,515 ha sembradas por año, *Figura 37*.



Fuente: Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego y de las Unidades de Riego, Conagua.

Figura 37. Producción agrícola nacional

Por otra parte, en México en el 2010 si comparamos la producción en los distritos de riego con lo que se exportó se tiene que fue el 38% de granos, 27% de hortalizas, 103% de productos frutales y 42% de cítricos mientras que las importaciones fueron en granos (16%) y frutales (36%). En el caso de los granos la importación fue en harinas y malta, *Figura 38*.



FUENTE: INEGI. Comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos, 2010.

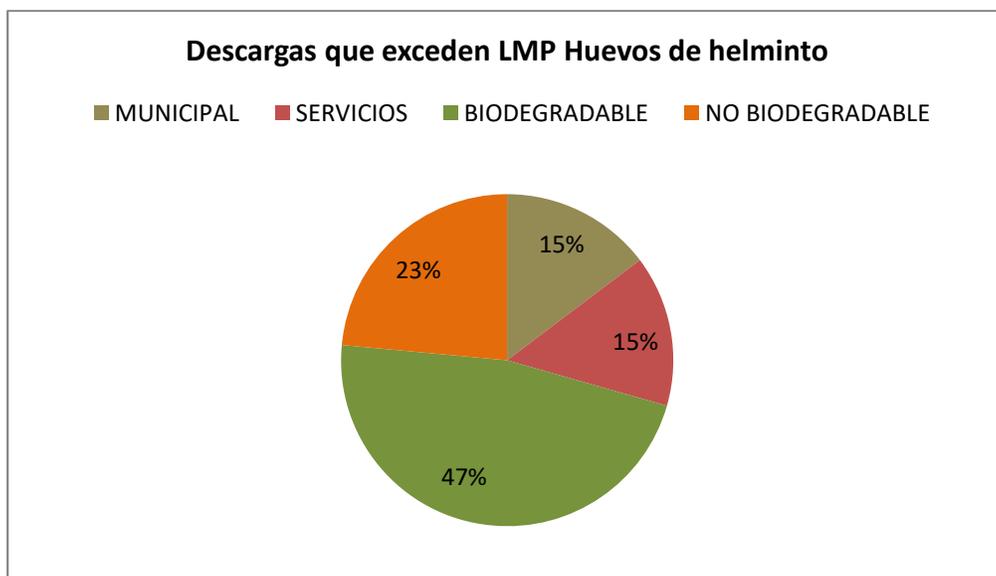
Figura 38. Producción nivel nacional en DR, exportación e importación en 2010.

Con información reportada en el SIRALAB se evaluaron los parámetros de contaminación por parásitos (huevos de helminto) considerando la NOM-2016 que limita a 1 Huevo de Helminto/L por descarga en suelo.

En contaminación por patógenos en la NOM-1996 consideraba de forma genérica a los Coliformes fecales con un LMP 1000 y 2000 NMP por cada 100 ml. En la NOM-2016 es más específica a *Escherichia coli* (NMP/100 ml) y *Enterococos fecales* (NMP/100 ml), no obstante, la información del SIRALAB al 2015 considera el parámetro de Coliformes fecales, por lo que se analizó considerando la NOM-1996.

De la muestra se obtuvieron 34 descargas representativas de 2 hasta 130 huevos de Helminto/L para en el cuerpo receptor suelo. Principalmente descargas de servicios, no biodegradable y biodegradable

Figura 39.

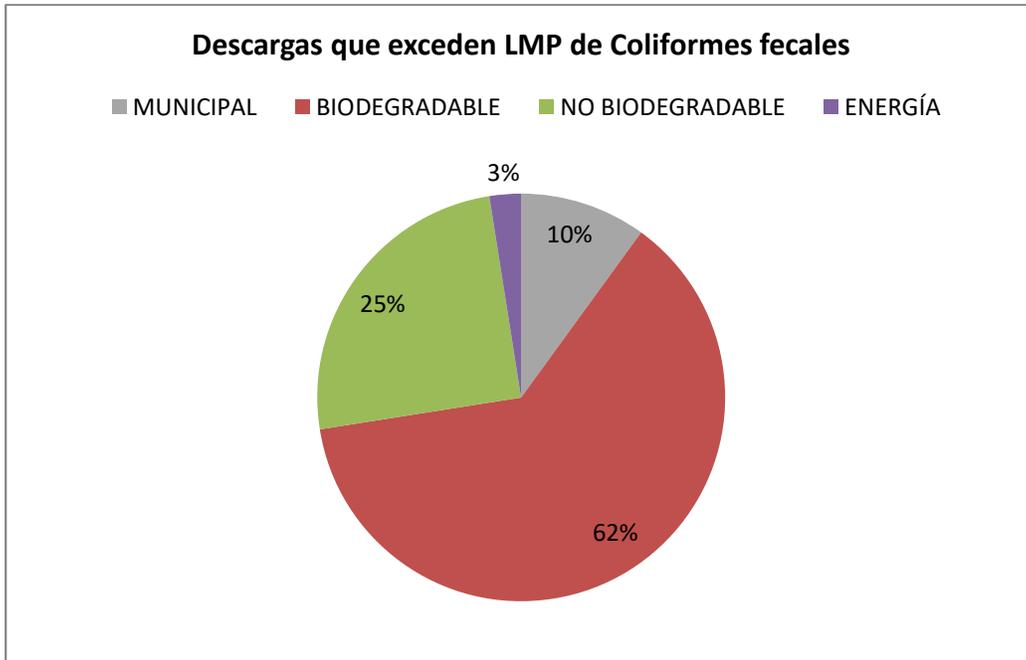


Fuente: SIRALAB, 2015-2016, CONAGUA.

Figura 39. Descargas que exceden LMP Huevos helminto

Las descargas que excedieron en los LMP para riego agrícola restringido (suelo) fueron diez y 24 para el uso en riego agrícola- riego no restringido. Las descargas se localizaron en 12 estados que son Baja California, Chihuahua, Coahuila de Zaragoza, Durango, Guanajuato, Jalisco, Michoacán de Ocampo, Morelos, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tamaulipas, Veracruz de Ignacio de la Llave.

En cuanto a los Coliformes fecales se obtuvieron 40 descargas que excedieron los LMP y corresponden a los sectores biodegradable, no biodegradable, de energía y municipal, *Figura 40*.

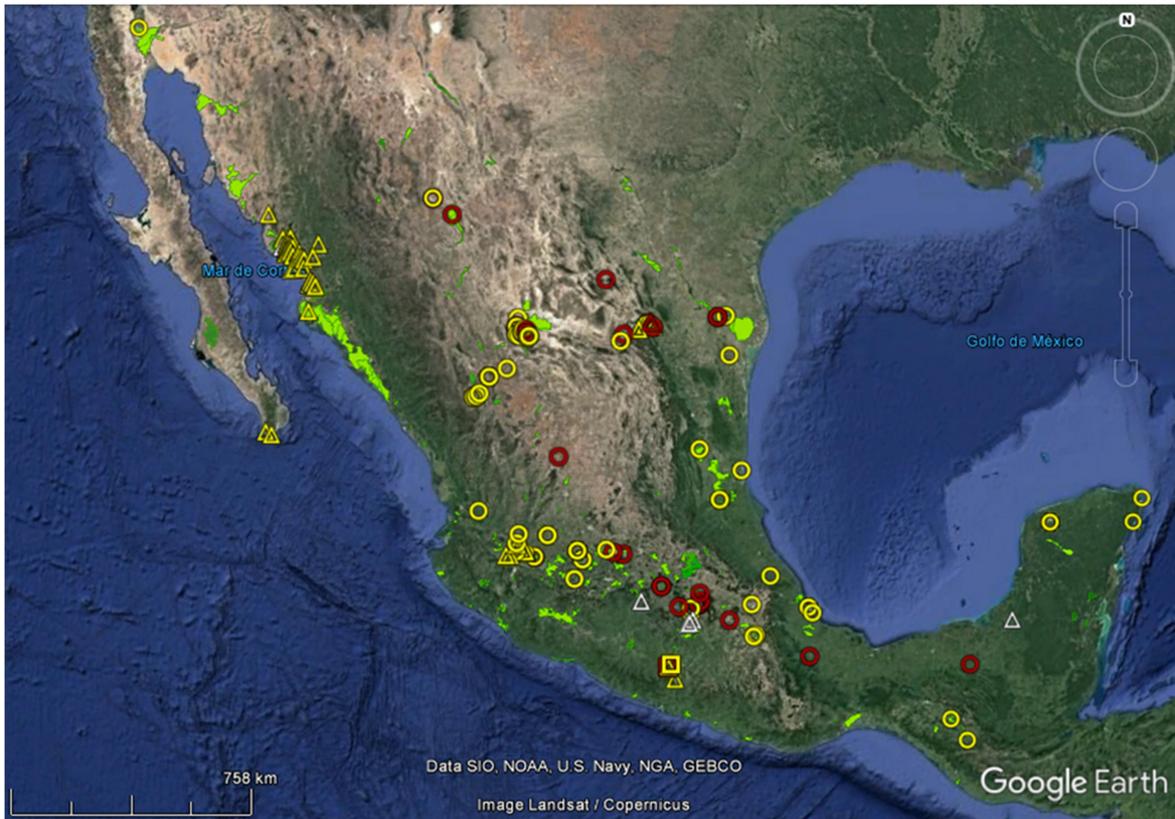


Fuente: SIRALAB, 2015-2016, CONAGUA.

Figura 40. Descargas que exceden LMP de Coliformes fecales

Las descargas que no cumplieron con los LMP fueron 35 en suelo, cinco en ríos localizadas en nueve estados que son Baja California Sur, Colima, Jalisco, Michoacán de Ocampo, Morelos, Nuevo León, Sinaloa, Sonora, Veracruz de Ignacio de la Llave.

En la *Figura 41* se muestran los puntos con las descargas que exceden en huevos de helminto y coliformes fecales.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SIRALAB, CONAGUA y distritos de riego de CONAGUA.
 Figura 41. Imagen de identificación de los puntos de descargas que exceden los LMP

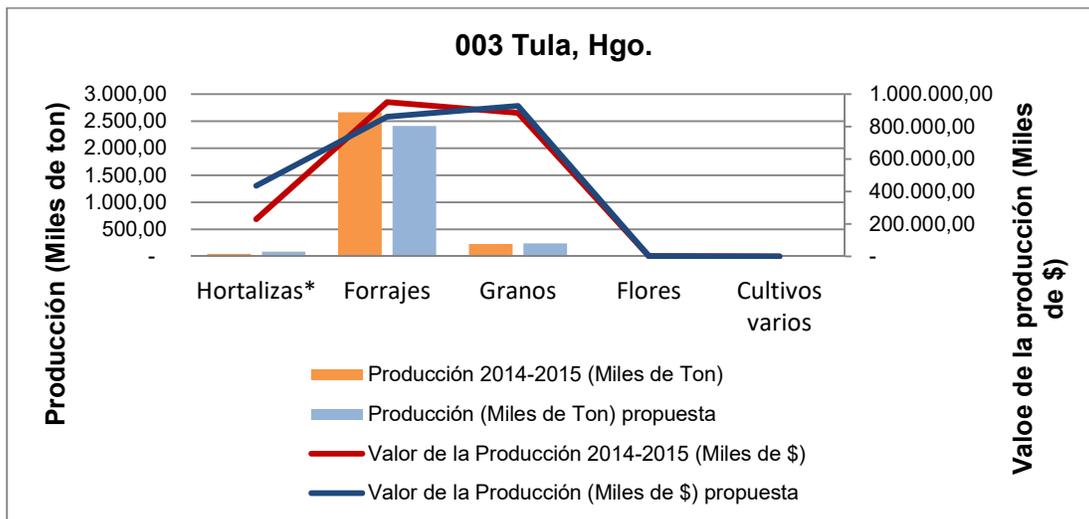
	Huevos de helmintos que exceden en riego no restringido		Huevos de helmintos que exceden en riego restringido
	Coliformes fecales en riego no restringido (en suelo)		Coliformes fecales en riego no restringido (en embalses y ríos)
	Huevos de helmintos y Coliformes fecales en riego no restringido		Huevos de helmintos y Coliformes fecales en riego restringido

Las descargas que no cumplen con la normatividad se encuentran localizadas en 8 distritos de riego (005, 011, 013, 017, 029, 094, 030 y 059). En estos distritos de riego la producción de los cultivos que son vulnerables a la contaminación por el uso de aguas residuales es de un 32% del total de la producción nacional en DR, este tipo de cultivos tiene un precio medio rural (PMR) de 6,141 pesos por tonelada (2014-2015) mientras que el PMR para forrajes es inferior a 1,000 pesos por tonelada para el mismo periodo.

El tener agua de mejor calidad (tratada) permite que los agricultores siembren cultivos restringidos, se incremente el área de siembra de hortalizas o se cambie a cultivos más rentables para el agricultor.

Los beneficios que se pueden alcanzar en la agricultura al aplicar una Norma más estricta sería tener agua de mejor calidad lo que permitiría disminuir cultivos de menor rentabilidad y sembrar aquellos que son de mayor rentabilidad y que requieren agua de mejor calidad. Al hacer estos cambios en los distritos de riegos vulnerables se tienen un mayor beneficio en el valor de la producción cuando sus cultivos principales son forrajes, en caso de que la mayor producción sean granos y hortalizas solo se alcanza el 1% de incremento en el valor de la producción.

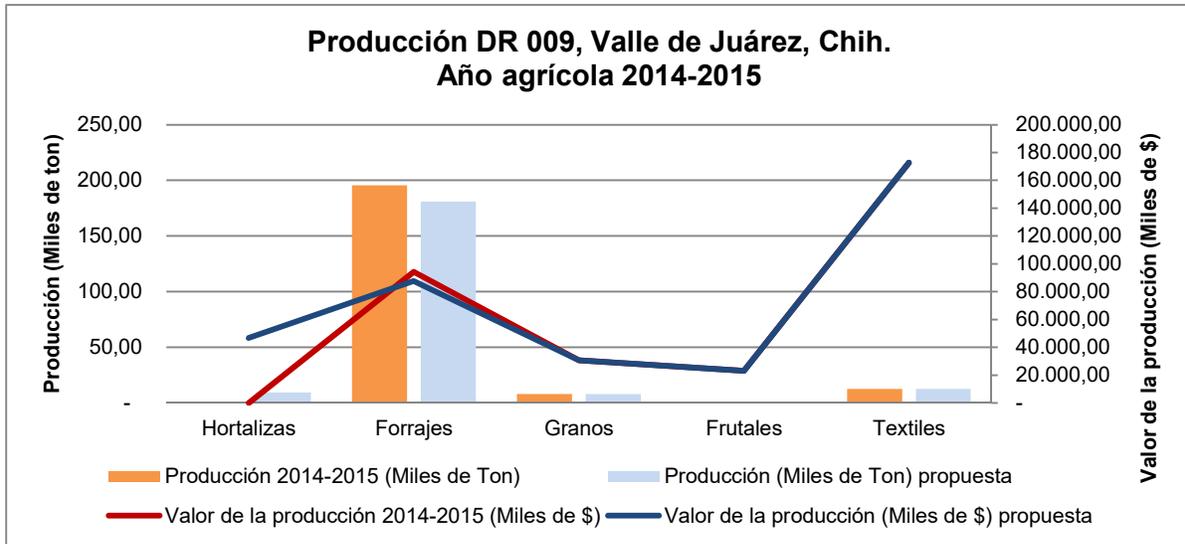
En el distrito de riego 003, uno de los distritos que utiliza aguas residuales crudas, al incrementar la producción de hortalizas y disminuir en forrajes un 10% (alfalfa), el valor de la producción se ve incrementado en un 8% y la producción agrícola de hortalizas pasaría de 2% a 3% de su producción 33anual, *Figura 42*.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Propuesta de producción de cultivos en DR 003, Tula, Hgo.

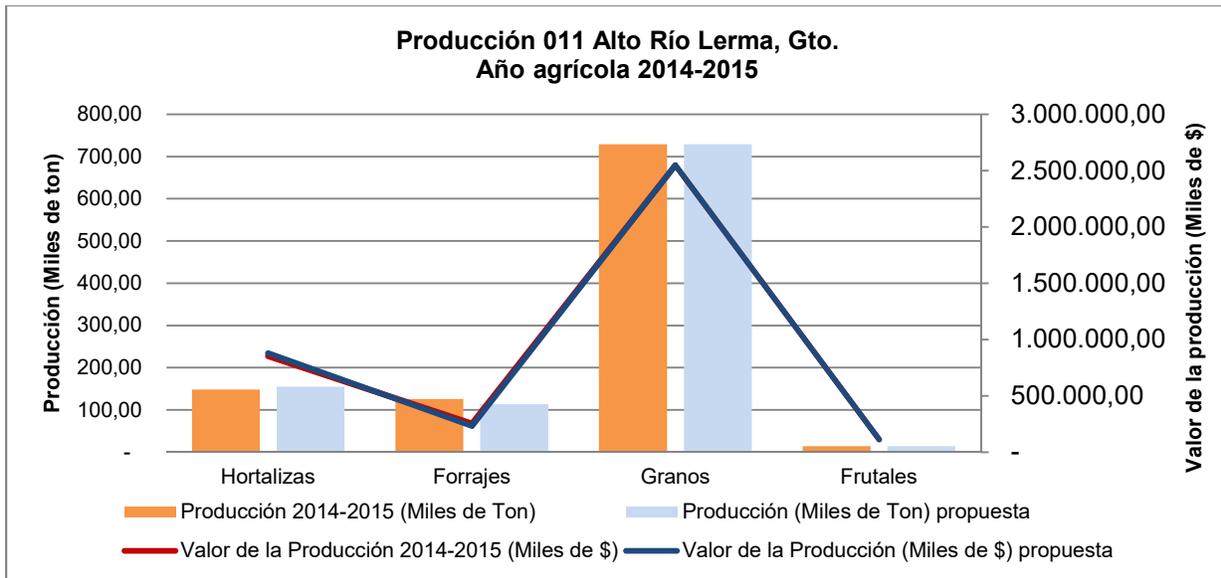
En el distrito de riego 009, Valle de Juárez, Chih. no se tiene registrada producción de hortalizas. Si se iniciara la producción de hortalizas, al disminuir el 10% de forrajes se obtendría un 12% de incremento en el valor de la producción.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Propuesta de producción de cultivos en DR 009, Valle de Juárez, Chih.

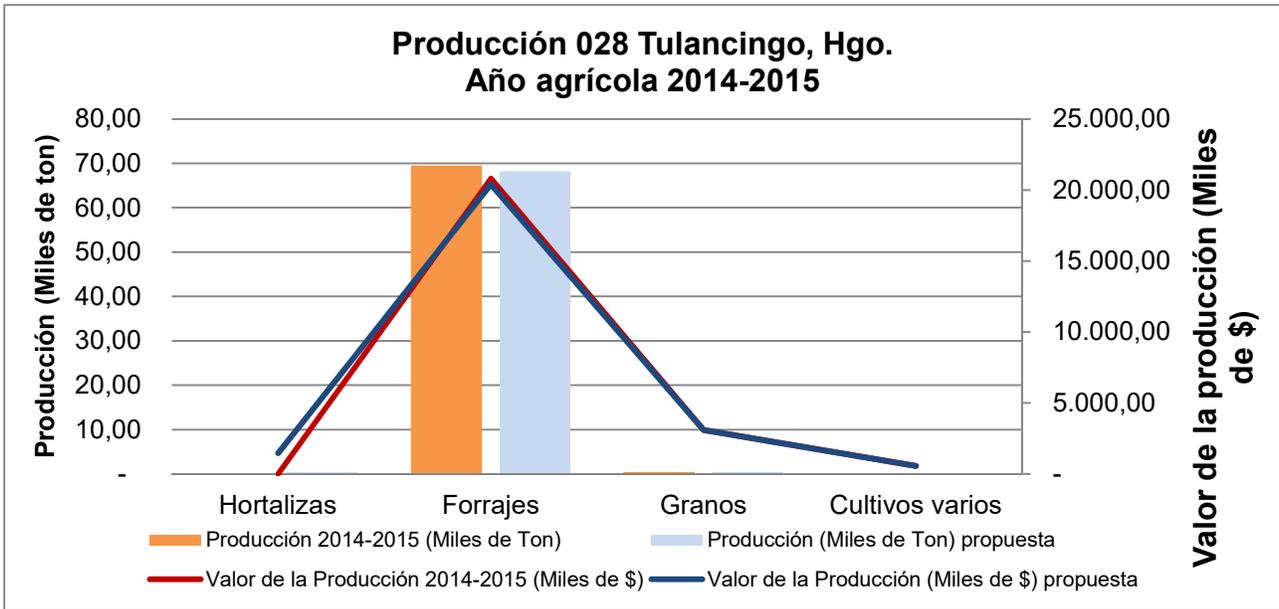
En el caso del DR 011 Alto Río Lerma, el beneficio en el valor de la producción sería un incremento del 0.06%.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 44. Propuesta de producción de cultivos en DR 011, Alto Río Lerma, Gto.

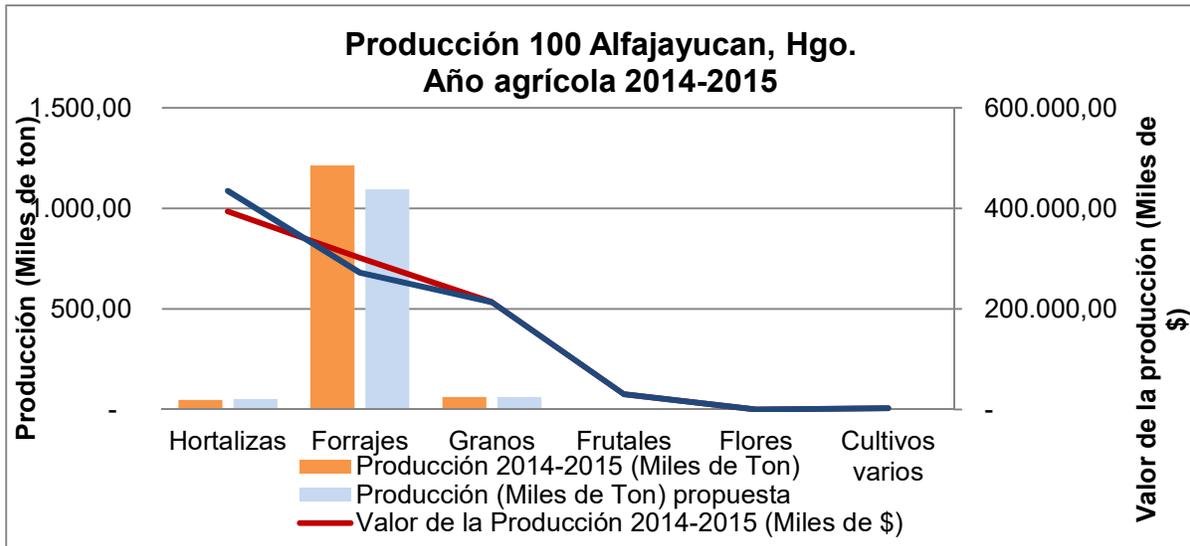
En el distrito de riego 028 no se tiene reportada la producción de hortalizas, por lo que al introducir este tipo de cultivos se tendría un beneficio del 4% en el valor de la producción.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Propuesta de producción de cultivos en DR 028, Tulancingo, Hgo.

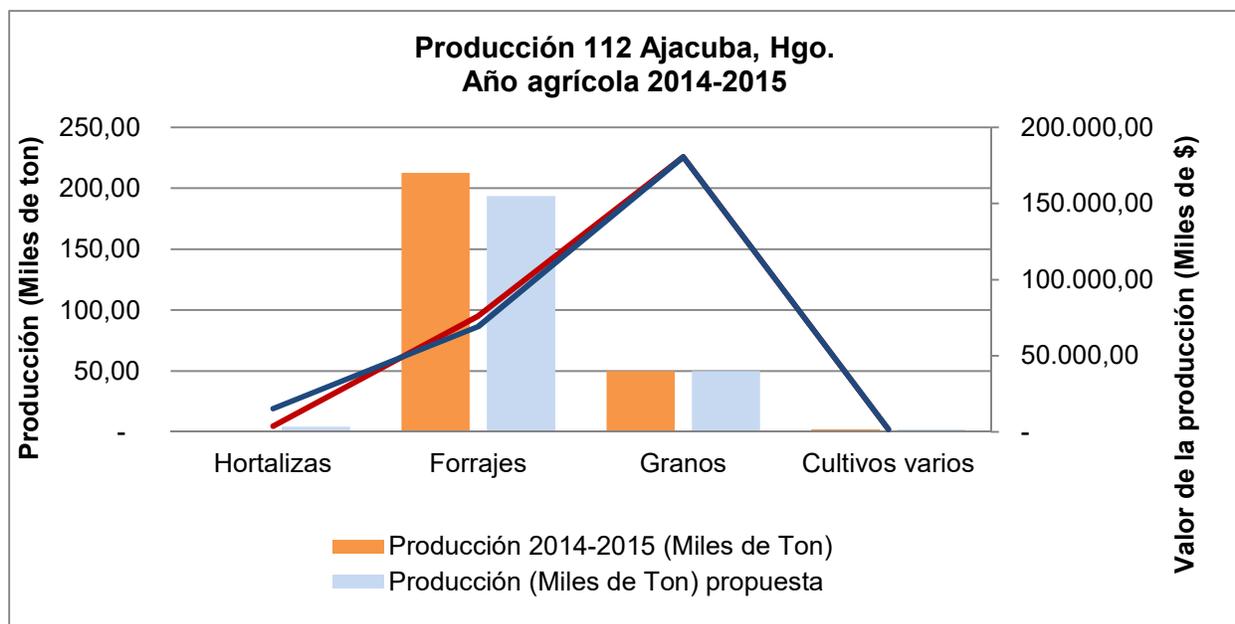
En el distrito de riego 100 se tendría beneficio del 1% al incrementar la producción de hortalizas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 46. Propuesta de producción de cultivos en DR 100, Alfajayucan, Hgo.

En el distrito de riego 112 el beneficio por incrementar la producción de hortalizas sería del 2%.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47. Propuesta de producción de cultivos en DR 112, Ajacuba, Hgo.

El beneficio que se alcanzaría adicional en el valor de la producción al año 2015 sería de 217,217 miles de pesos (Tabla 76), sin embargo, la agricultura podría ser más competitiva si se consideraran parámetros como los que aplica la Ley de Modernización de la Inocuidad de los Alimentos regulada por la FDA y conocido por sus siglas en inglés FSMA (conjunto de normas y reglas que regula la entrada de productos alimenticios en EE.UU.) que permite la presencia de E.coli en agua agrícola que se aplica directamente a los cultivos durante su crecimiento y lo divide en dos factores: como medida geométrica no debe ser mayor de 126 unidades de colonias por mL y si se considera como umbral estadístico no debe ser mayor a 410 unidades de colonias por mL. También se indica que no debe ser detectable para actividades donde el agua tenga contacto directo con el producto en cosecha, por ejemplo, el lavado, limpieza superficial⁵.

⁵ <http://www.hortalizas.com/nutricion-vegetal/nuevos-reglamentos-exigen-documentacion-del-perfil-microbiologico-del-agua/>

Tabla 76. Resumen de beneficios por cambio de cultivo

Distrito de Riego	Año agrícola 2014-2015			Estimación de beneficios al cambiar el cultivo			
	Superficie Sembrada	Producción	Valor de la Producción	Superficie con cambio de cultivo	Producción	Valor de la Producción	Beneficio Valor de la producción
	(Ha)	(Miles de T)	(Miles de \$)	(Ha)	(Miles de T)	(Miles de \$)	(Miles de \$)
003 Tula, Hgo.	52,117	2,950	2,069,857	387	2,749	2,226,960	157,103
009 Valle De Juárez, Chih.	9,563	216	320,682	44	211	360,696	40,014
011 Alto Río Lerma, Gto.	125,346	1,017	3,764,695	208	1,011	3,766,799	2,103
028 Tulancingo, Hgo.	824	70	24,468	13	69	25,538	1,070
100 Alfajayucan, Hgo.	28,714	1,324	941,719	1,219	1,211	954,116	12,396
112 Ajacuba, Hgo.	6,272	266	262,198	147	250	266,729	4,531
Total	222,836	5,843	7,383,619	2,018	5,501	7,600,838	217,217

Fuente: Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego (Año agrícola 2014-2015), Conagua, 2015

G. Valoración contingente

Técnicas aplicadas con base en entrevistas, se basa en la disposición de la gente a pagar la suma indicada en la entrevista. Es el método de valoración más controversial de los no correspondientes al mercado, pero es una de las pocas maneras de asignar un valor monetario al no uso de valores del ecosistema que no involucra compras en el mercado. Para el análisis de los impactos ocasionados por las descargas de agua residual hacia los cuerpos receptores y su entorno, como los suelos; contaminación con sedimentos tóxicos y otros, a suelos agrícolas y de cuerpos receptores; daño a los acuíferos, contaminación y agotamiento; impacto en océanos, contaminación de mares, estuarios y playas.

Para encontrar un valor promedio de la disposición a pagar se revisaron diferentes artículos mexicanos e iberoamericanos, relacionados con la disposición a pagar (DAP) por proteger los cuerpos de agua y su entorno. Se encontró un valor promedio \$60.51 por parte del sector de la población que tiene un ingreso medio superior a cinco salarios mínimos y que corresponde al 50% de los hogares mexicanos, en total 16,609,015 hogares (INEGI 2016). La disponibilidad a pagar arrojó un monto de 12,059.3

millones anuales que para el horizonte de 25 años corresponde a un monto de 109,462.9 millones de pesos

En resumen:

Disponibilidad a pagar: \$60.51 mensuales (pesos corrientes 2016)

Hogares con capacidad de pago: 16,609,015

Monto total: \$12,059.3 millones anuales

Para el horizonte de 25 años: \$109,462.9 millones de pesos.

5.6.3 BENEFICIOS INTANGIBLES, INCUANTIFICABLES.

Los resultados del análisis Beneficio - Costo se reafirman al considerar que se deben tomar en cuenta los beneficios que por su naturaleza subjetiva resultan incuantificables, como el aumento de la calidad de vida. El valor intangible del beneficio de tratar el agua residual llevándola a niveles que verdaderamente protejan los cuerpos a la que se la descarga, queda expresa por la ONU, en su comunicado del 22 de marzo de 2017, en el marco del Día Mundial del Agua (<http://www.un.org/es/events/waterday/>) cuando se refiere al concepto de sostenibilidad ambiental, seguridad y bienestar, o lo expresado por la Sra. Bokova, ese mismo día, refiriéndose a buscar un equilibrio entre la explotación y protección de los recursos naturales.

“La humanidad necesita agua. Una gota de agua es flexible. Una gota de agua es poderosa. Una gota de agua es más necesaria que nunca”.

El agua es un elemento esencial del desarrollo sostenible. Los recursos hídricos, y la gama de servicios que prestan, juegan un papel clave en la reducción de la pobreza, el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental. El agua propicia el bienestar de la población y el crecimiento inclusivo, y tiene un impacto positivo en la vida de miles de millones de personas, al incidir en cuestiones que afectan a la seguridad alimentaria y energética, la salud humana y al medio ambiente.”

La Directora General de la UNESCO, Irina Bokova, concluye:

“Debemos situar la mejora de la gestión de las aguas residuales en el centro de una economía circular, logrando un equilibrio entre el desarrollo y la protección y el uso sostenible de los recursos naturales. Ello aportará amplios beneficios, con repercusiones en la seguridad alimentaria y energética y en la atenuación de los efectos del cambio climático”.

La implantación de una Norma más rigurosa traerá como consecuencia un impacto positivo, que se puede generalizar como la reducción de riesgos sanitarios y evitará efectos perniciosos para la biodiversidad.

De acuerdo con estudios de riesgo sanitario ambiental en cuerpos receptores, las descargas de aguas residuales - sin tratar o mal tratadas - constituyen un peligro para la salud pública, debido a que las características de los contaminantes favorecen su distribución en los diferentes sectores ambientales (atmósfera, suelo, productos agrícolas y agropecuarios), lo que lo que conlleva daños en la preservación del ecosistema, afectación de los usos del agua y a otros recursos susceptibles de ser aprovechados (pesca, recreación, entre otros), así como al deterioro en la calidad de vida de los residentes.⁶

Las vías de exposición a los contaminantes dependen de la fuente emisora industrial y las características del cuerpo receptor, los cuales pueden tener como consecuencia la inhalación e ingesta por la población, y/o el contacto dérmico, como es el caso de los agricultores y trabajadores del campo.

Otros beneficios no cuantificables, que se pueden relacionar con las descargas de aguas residuales tratadas:

La conservación y mejoramiento de los cuerpos receptores. La conservación de acuíferos y cuerpos superficiales para uso, disfrute y usufructo las futuras generaciones.

Reúso de las aguas residuales tratadas. En la medida de que la tecnología avance y se reduzcan los costos de tratamiento, la reutilización de agua tratada es un recurso que ayudará a la sustentabilidad a las grandes ciudades. Una nueva cultura del agua con cambios de paradigmas sociales y de construcción de casas habitación para propiciar el reúso intradomiciliario, permitirá emplear el agua residual tratada en el manejo de las excretas, con ahorros no despreciables de agua de primer uso. Se estima que un 20% del agua servida en la ciudad se utiliza en los inodoros y los mingitorios de los hogares y lugares públicos⁷.

⁶ Estudio de clasificación del río Atoyac, Puebla-Tlaxcala, Resumen ejecutivo pág. 5

⁷ [www.mapama.gob.es/es/.../2012 El agua en los hogares final tcm7-211455.ppt](http://www.mapama.gob.es/es/.../2012%20El%20agua%20en%20los%20hogares%20final%20tcm7-211455.ppt)

Preservación del valor de bienes y servicios ambientales: paisaje, moderación del clima, protección del ciclo hidrológico y disminución de la eutroficación. Los cuerpos de agua generan un microclima en su proximidad que, junto con la conservación del paisaje como un atractivo visual, permite disfrutar la belleza del entorno, generando una plataforma para una mejor calidad de vida. Buena parte del análisis cuantitativo de este estudio se relaciona con estos aspectos, que garantizan las expectativas de las estimaciones.

Respecto al clima y el ciclo hidrológico se puede decir que en la medida de que se reduce la carga orgánica de las descargas se controlan las reacciones bioquímicas que generan los gases de efecto invernadero, incluso estos gases (metano - CH₄) se pueden capturar durante el proceso de tratamiento de los lodos residuales para utilizarlos como generadores de energía y de esta manera beneficiar el medio ambiente por doble partida:

- reduciendo las emisiones de CH₄, cuya capacidad como gas de efecto invernadero es 21 veces mayor al del CO₂, y
- reduciendo el consumo energético de fuentes generadoras con combustible fósil.

Conservación de especies vegetales y acuáticas (distintas a los peces) en cuerpos de agua. La modificación de la Norma se plantea más permisiva para las descargas a ríos con respecto a la actual, específicamente en lo referente a la preservación la vida acuática.

En embalses naturales y artificiales, la condición se vuelva más estricta: con esto se espera que la calidad del agua garantice la preservación de la flora y fauna, y con ello reducir los riesgos de pérdidas de capital ecológico, permitiendo la conservación de la biodiversidad y garantizando así la cadena trófica.

Beneficios por la preservación del valor de opción y existencia de cuerpos de agua como los lagos.

Producción de alimentos libres de toxinas. Es preocupante cuando se detecta la presencia de mercurio, benceno y cloruro de vinilo, relacionado con su capacidad para migrar a diferentes compartimientos ambientales. El primero es, junto con el plomo, uno de los neurotóxicos del desarrollo más potentes; el benceno y el cloruro de vinilo son carcinógenos de humanos.

Otros beneficios potenciales son una mayor tasa de reproducción de especies acuáticas, un incremento de la talla de los peces debido a un hábitat sano, el enriquecimiento de la dieta familiar local debido a la mayor disponibilidad local para el consumo y la conservación de la actividad económica.

“El pescado blanco” (Rojas Carrillo & Sasso Yada, 2005)

*Las especies del género *Chirostoma*, conocidas como pescado blanco, son especies nativas y endémicas de ambientes lacustres de la Mesa Central de México y no existen en ningún otro lugar del mundo. Asimismo, se encuentran dentro de la lista de especies en Riesgo (Anexo Normativo III de la NOM-059-SEMARNAT-2010). Son diversas las causas que han llevado a estas especies a esta condición, pero entre ellas, en el caso particular de Pátzcuaro, Mich., se encuentra el alto volumen de aguas negras que de las áreas urbanas de las cabeceras municipales de Pátzcuaro, Quiroga, Tzintzuntzan y Erongarícuaro provocan la contaminación del agua en un vaso que no tiene más aporte de agua limpia que la precipitación pluvial y algunos escurrimientos superficiales y subterráneos por tratarse de una cuenca endorreica. En Chapala, por su parte, los indicadores de la pesquería marcan que la captura de los recursos ha disminuido notablemente como consecuencia del deterioro ambiental (Rojas Carrillo, et al., 2005).*

Por otra parte, en el Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro, Zambrano et al., (2014) resaltan la baja densidad de biomasa de pescado blanco y la alta densidad de especies exóticas.

Aumento de actividades recreativas, junto con la derrama económica a comunidades aledañas.
Implantar una Norma rigurosa, con efectos en el mejoramiento de la calidad del agua, favorece los cuerpos de agua en buen estado, sin contaminación y con la posibilidad de ser utilizados de manera segura (contacto directo). Esto sustenta la posibilidad de impulsar los deportes acuáticos, el excursionismo, el turismo de aventura y el recreativo, hoy restringidos por el deterioro de los cuerpos de agua y su entorno.

5.7 ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO

5.7.1 RESUMEN DE LOS BENEFICIOS

En la un promedio de todo el horizonte de planeación, *tomando en cuenta el tiempo y la tasa social de descuento.*

Para estimarlo se aplica la ecuación:

$$AUE = VPB \frac{i(i + 1)^n}{(i + 1)^n - 1}$$

En donde:

P = Valor Presente de los Beneficios (VPB)

i = tasa social de descuento (10%)

n = 25 años

Resolviendo la fórmula

$$AUE = VPB (0.10(0.10+1)^{25}/(((.10+1)^{25})-1)$$

$$AUE = VPB (0.110168072);$$

Donde la cifra numérica 0.110168072 es el factor que permite convertir el VPB en AUE.

Nota:

Valor anual equivalente o Anualidad uniforme equivalente son sinónimos.

Tabla 77 se incorporan cada uno de los indicadores estimados para contabilizar el beneficio que se obtendría de modificar los parámetros de descarga de la NOM-SEMARNAT-001-1996. Para estimar el valor presente de cada rubro se utilizó la siguiente ecuación:

$$VPB = \sum_1^n \frac{B_n}{(1 + i)^n}$$

Con un horizonte de planeación de 25 años, tiempo mínimo que se considera para que la aplicación de la Norma de resultados al 100%; la tasa de descuento es de 10%

Estos mismos datos se utilizaron para estimar un promedio de todo el horizonte de planeación, tomando en cuenta el tiempo y la tasa social de descuento.

Para estimarlo se aplica la ecuación:

$$AUE = VPB \frac{i(i + 1)^n}{(i + 1)^n - 1}$$

En donde:

P = Valor Presente de los Beneficios (VPB)

i = tasa social de descuento (10%)

n = 25 años

Resolviendo la fórmula

$$AUE = VPB (0.10(0.10+1)^{25}/(((.10+1)^{25})-1)$$

$$AUE = VPB (0.110168072);$$

Donde la cifra numérica 0.110168072 es el factor que permite convertir el VPB en AUE.

Nota:

Valor anual equivalente o Anualidad uniforme equivalente son sinónimos.

Tabla 77. Resumen de los beneficios, expresados en moneda nacional (millones de pesos 2016)

SECTOR	Beneficio del periodo 2019-2043	VPB del periodo	Anualidad uniforme equivalente
A. Salud	40,922	9,296	1,024.1
B. Turismo	-	-	-
C. Pesca	12,240	2,310	254.4
D. Reúso	-	-	-
E. Degradación y agotamiento	214,505	90,700	9,992.3
F. Riego agrícola	4	1	0.1
G. Valoración contingente	301,483	109,463	12,059
TOTALES	569,154	211,770	23,330.3

Fuente: Elaboración propia.

Los beneficios se estimaron de manera conservadora, bajo las siguientes condiciones:

- A. En el caso de salud se seleccionaron tres enfermedades relacionadas con el agua y por su impacto en el sector salud por el número de casos que se presentan año con año. De esta forma,

a las descargas generadas por el agua residual solamente se le atribuyeron el 7.5% de estos casos.

- B. Si bien para el sector turismo se consideró un impacto en el 1% del PIB del sector, cuya tendencia se estimó a partir de la información reportada en la cuenta satélite para el turismo del Sistema de Información de Cuentas Nacionales, sólo se estimó como un indicador de la variación de la magnitud que representa para el país. Se excluyó en la estimación del beneficio debido al carácter multifactorial del turismo, y a la dificultad de atribuir el efecto directo derivado de una modificación de la Norma.
- C. Para la pesca se consideró una recuperación en 25 años, semejante a la producción obtenida en 2005.
- D. En el caso de la reutilización, se omitió su estimación por la dificultad de establecer la magnitud del beneficio con los diferentes sectores debido a un cambio de Norma. Los cambios en la Norma no aportan ninguna ventaja significativa. En el caso específico de la agricultura, incluso se considera que una Norma más estricta presenta una desventaja debido a la reducción de nutrientes. La industria, por su parte, generalmente aplica un proceso de acondicionamiento independientemente de la calidad de agua que reciben para garantizar el cumplimiento de los estándares que sus procesos requieren. Para el caso de recarga de acuíferos, la exigencia de la Norma para recargas requerirá de un tratamiento terciario, por lo que el costo es semejante tanto para la Norma vigente como para su modificación, en aras de obtener el mismo beneficio.
- E. En el caso de las estimaciones relacionadas con la degradación y agotamiento, se utilizaron las Cuentas económicas y ecológicas de México, estableciendo para el caso del impacto por la modificación de la Norma 001-2016, un impacto favorable de un 1% del valor total por degradación y agotamiento. Este resultado considera las pérdidas por la evapotranspiración otro elemento importante relacionado con la maleza acuática y que no se estimó debido a la falta de información relacionada con la infestación de maleza en los cuerpos de agua del país.
- F. Para el caso del riego agrícola, de un universo de 75 unidades o distritos de riego, se analizaron seis zonas de riego, en los que se tiene pleno conocimiento que se utilizan aguas residuales para regar.
- G. Finalmente, para el caso de la estimación mediante la valoración contingentes, se estimó a partir del deseo de pagar

5.7.2 RESUMEN DE COSTOS

En la primera parte del informe se exponen los elementos para determinar los costos que implica la modificación de la Norma para su aplicación. El resumen de estos costos se expone en la *Tabla 78*, en la cual se observan los resultados para diferentes estados de aplicación:

1. $\Delta 1$. Para el cumplimiento de la Norma actual NOM-001-SEMARNAT-1996
2. $\Delta 2$. Para lograr la calidad exigida por la Norma modificada
3. $\Delta 3$. El tercer resultado se refiere a la diferencia entre las anteriores, que es el costo efectivo que se requiere para aplicar la modificación de la Norma (*Figura 48*).

Tabla 78. Costos implicados en la modificación de la NOM 001

Concepto	$\Delta 1$	$\Delta 3$	$\Delta 2$	Unidades
Caudal a tratar	20.60	16.22	36.82	m ³ /s
No. de plantas	459	262	721	Número
Inversiones	42.68	27.49	70.17	mM\$
Operación y mantenimiento	3.45	3.14	6.60	mM\$ por año
Costo anual total	8.15	6.17	14.33	mM\$ por año

Fuente: Elaboración propia.

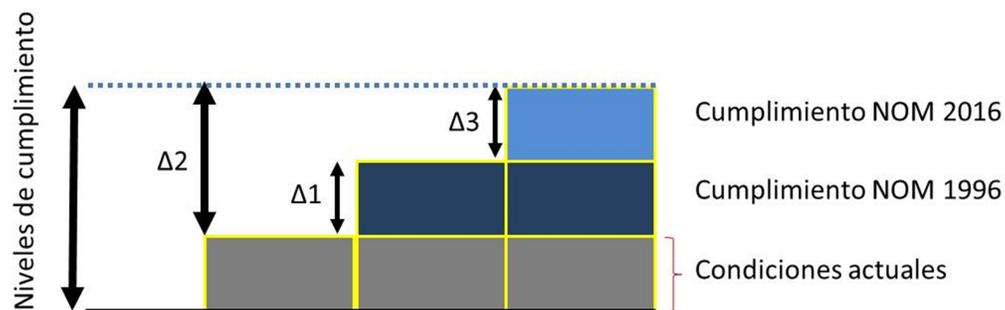


Figura 48. Niveles de cumplimiento de la NOM

5.7.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO

Para hacer la comparación entre beneficios y costos se utilizó como indicador el costo y beneficio anual uniforme equivalente, debido a que tanto los costos como los beneficios se presentan de manera

diferente a través del tiempo, pues se considera que las inversiones importantes se darán al principio del horizonte de planificación, mientras que los beneficios se irán incrementando en la medida de que el impacto, debido a la mejora de las descargas, se presente. En algunos casos quizá se abrevie el periodo en el que se alcancen los máximos beneficios, pero en otros posiblemente se requiera más tiempo que el propuesto dentro del horizonte de planificación.

La *Tabla 79* se elaboró estimando las anualidades para los tres escenarios: costos y beneficios para que las descargas, en su situación actual, cumplan con la Norma, para cumplir con la nueva propuesta y la diferencia entre ambas. El costo total anual uniforme equivalente, con los beneficios de la *un promedio* de todo el horizonte de planeación, *tomando en cuenta el tiempo y la tasa social de descuento*.

Para estimarlo se aplica la ecuación:

$$AUE = VPB \frac{i(i + 1)^n}{(i + 1)^n - 1}$$

En donde:

P = Valor Presente de los Beneficios (VPB)

i = tasa social de descuento (10%)

n = 25 años

Resolviendo la fórmula

$$AUE = VPB (0.10(0.10+1)^{25}/(((.10+1)^{25})-1)$$

$$AUE = VPB (0.110168072);$$

Donde la cifra numérica 0.110168072 es el factor que permite convertir el VPB en AUE.

Nota:

Valor anual equivalente o Anualidad uniforme equivalente son sinónimos.

Tabla 77, permitió establecer el indicador del valor anualizado de los beneficios netos (BNAUE), que se expresa como la diferencia entre los costos y los beneficios.

Tabla 79. Inversiones requeridas anualizadas y costo anual uniforme equivalente, en millones de pesos

Concepto	$\Delta 1$	$\Delta 3$	$\Delta 2$
Anualidad de las inversiones	4,704.18	7,733.80	3,029.62
Operación y mantenimiento	3,452.00	6,595.00	3,143.00
Costo anual uniforme equivalente total	8,156.18	14,328.80	6,172.62
Beneficio anual uniforme equivalente	11,665.14	23,330.27	11,665.14
BNAUE	3,508.96	9,001.47	5,492.51
B/C (anual uniforme equivalente)	1.43	1.63	1.89

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que los beneficios se estimaron de manera global, para un periodo de 25 años partiendo de la situación de las descargas existente en 2015, surge el problema para determinar la proporción de los beneficios que resultarían de aplicar integralmente la Norma actual y los beneficios que se le pueden reconocer a la aplicación de las modificaciones a la Norma. Para superar este problema, la distribución del monto de estos beneficios entre las etapas de cumplimiento, se realizó distribuyendo los beneficios de manera equitativa entre las modalidades de la Norma, esto es:

- 50% de los beneficios totales para $\Delta 1$
- 50% para $\Delta 2$

De esta manera, el indicador B/C resultó del orden de 1.43 para el caso $\Delta 1$ y 1.89 para el caso $\Delta 2$, lo que indica que la modificación de la NOM-001-SEMARNAT-1996 generará mayores beneficios a su costo de aplicación. El B/C promedio resulta 1.63.

Se debe tener en cuenta que este resultado se obtuvo a partir de aquellos conceptos que se pudieron medir de manera objetiva, dejando de lado otros beneficios económicos que debido a la imposibilidad de constatar la magnitud del impacto que se le puede atribuir a la modificación de los parámetros de la Norma. Tal es el caso del turismo en el que se estimó que cada punto porcentual debido al deterioro o mejoramiento ambiental representa del orden de los \$25,369 millones de pesos anuales, estimados a partir de los resultados reportados en la [Tabla 68](#), y que quedaron indicado en este documento sólo como un referente del orden de magnitud que puede resultar el deterioro o mejoramiento ambiental para este sector de la economía. Otro resultado que tampoco se incluyó fue el del caso de los ahorros que el reúso pueden generar, en la medida de que esta permita liberar agua de primer uso.

Además, a estos beneficios se deben sumar otros beneficios que por su naturaleza son de incuantificables como son: el mejoramiento de la calidad de vida, la sostenibilidad ambiental y con esto

la seguridad hídrica, la reducción de los riesgos sanitarios y la preservación de los bienes ambientales como, el paisaje, la calidad de los cuerpos de agua y la protección de la flora y la fauna, entre otros beneficios indicados en el numeral 5.6.3 de este documento.

En resumen, la suma de los beneficios tangibles e intangibles superan con creces los costos para obtenerlos y asegurarlos. No se olvide que uno de los objetivos de la conservación de nuestro entorno es la herencia que estamos obligados a dejar a nuestra descendencia.

6. CONCLUSIONES

Para los fines de cálculo del costo al que se debe incurrir para cumplir con las modificaciones de la NOM-001-SEMARNAT-1996 vigente se utilizaron los datos de caudal y calidad consignados en los cuatro trimestres del año 2015, último período anual disponible a la fecha de elaboración del estudio. Se identificaron 6,791 descargas las cuales sumaron un caudal de 558 m³/s. Por su origen, se clasificaron en municipales, servicios, industriales biodegradables, industriales no biodegradables y, para su análisis especial, las relacionadas con generación de energía. En estas últimas, dada la naturaleza del giro industrial, se detectaron pocas descargas con un caudal superior a los 1,000 l/s. En este tenor, el mayor uso del recurso es para torres de enfriamiento, por lo que las descargas no presentan contaminantes básicos, sino se observa un incremento de temperatura, el cual no rebasa los límites máximos permisibles. Solamente seis descargas rebasan el límite, y la suma de sus caudales es de 13 l/s.

Las 97 descargas provenientes de alcantarillados públicos con gastos medios iguales o menores a 5 l/s suman un caudal suma 0.2 m³/s, lo cual es insignificante, comparado con las 400 descargas municipales que presentan en su conjunto un volumen de 79 m³/s.

Para el caso de descargas industriales, se contabilizaron 4,057 descargas, cada una de ellas con un caudal inferior de 1 l/s, que en conjunto suman un caudal de 1.1 m³/s. Cuando el caudal es superior a 1 l/s, se presentan 2,375 descargas que suman 168 m³/s. Por lo que para analizar el costo de cumplimiento de la aplicación de la propuesta de modificación de la NOM-001, se decidió utilizar un universo de 400 descargas municipales mayores a 5 l/s, cuyo caudal suma 79.5 m³/s, y 1,975 descargas industriales mayores a un 1 l/s, con un caudal integrado de 88.9 m³/s.

Los costos, para aplicar las modificaciones a la NOM-001-SEMARNAT-1996 vigente, se estimaron como un total a partir de la situación actual de las instalaciones. Tomando en cuenta que actualmente existe una gran cantidad de descargas que incumplen con la norma vigente, fue necesario ajustar este resultado restando los costos de inversión, operación y mantenimiento requeridos para cumplir plenamente con la Norma 001 vigente (NOM-001-SEMARNAT-1996).

La diferencia entre el costo adicional requerido para cumplir con la Norma vigente y el monto el monto de inversión y de operación y mantenimiento estimado para cumplir con la Norma modificada, es el verdadero costo requerido para implantar la modificación de la Norma.

Para estimar los beneficios se analizaron diferentes rubros considerados como impactados por los resultados de la aplicación de la modificación de la Norma: salud, turismo, pesca, reúso, agotamiento y degradación, riego agrícola y el monto que las familias estarían dispuestas a pagar para conservar los cuerpos de agua.

Para hacer el análisis Beneficio Costo, se omitieron los resultados del turismo y reúso.

En el caso del turismo, éste se excluyó por la dificultad que implica establecer la magnitud del impacto del tratamiento de las aguas residuales con el sector dado el carácter multifactorial del mismo, por lo que los resultados estimados se dejaron sólo como un indicador de la magnitud que significa para el país.

Para el caso del reúso en riego agrícola, industrial y/o municipal, el cambio de Norma no aporta alguna ventaja adicional. En el caso específico de la agricultura, incluso se considera que una Norma más estricta presenta una desventaja debido a la reducción de nutrientes. La industria, por su parte, generalmente aplica un proceso de acondicionamiento independientemente de la calidad de agua que reciben para garantizar el cumplimiento de los estándares que sus procesos requieren.

Para el caso de recarga de acuíferos, la exigencia de la Norma para recargas requerirá de un tratamiento terciario, por lo que el costo es semejante tanto para la Norma vigente como para su modificación, en aras de obtener el mismo beneficio.

La comparación entre los costos y los beneficios se realizó considerando un horizonte de 25 años, contados a partir del siguiente año en que se autorice la Norma modificada, esto es, NOM-001-SEMARNAT-2016. Los resultados indican que los beneficios resultan mayores a los costos, aún sin considerar aquellos sectores o áreas que se presupone son impactados como el turismo o por reúso, por lo cual se recomienda continuar con el proceso de modificación de la Norma.

Los resultados cuantificados en este estudio, se complementan con los estudios de impacto sobre la competitividad comercial en los diferentes sectores económicos, en los que se identificó que las actividades más afectadas serán aquellas relacionadas con la industria textil, con un incremento en sus costos del 3 al 6% respecto a su PIB. En los otros sectores, la magnitud del impacto es menor a 1.4%, de su PIB correspondiente.

Los valores intangibles que implican una mejor calidad de vida para la población en general debido a la recuperación y/o conservación de los cuerpos receptores, están directamente relacionados con la calidad de las descargas que reciben, a pesar de que se necesita un enfoque holístico para ello.

La inclusión de los beneficios intangibles, que por su naturaleza subjetiva resultan no cuantificables, sirven como sustento adicional para justificar la conveniencia de modificar la Norma vigente por una con límites más estrictos. Una Norma más rigurosa favorece la sostenibilidad del entorno y con ello la herencia para las generaciones futuras.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer, J., Kato, E., & Robles, E. y. (1988). Estudio preliminar del efecto del dragado sobre el estado trófico del Lago Viejo de Chapultepec. *Contam. Ambient.*, 4, 43-56.
- Amirtharajah, A., Clark, M. M., & Trussell, R. R. (1991). *Mixing in Coagulation and Flocculation*. American Water Works Association Research Foundation.
- Antonio., R. G. (1985). *Diseño Funcional de Plantas Clarificadoras Modernas*. Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua* (Tercera edición ed.). (M. Hill, Ed.) Bogotá, Colombia.
- Babatunde, A. O., Jeyakumar, L. G., Kumar, & Zhao, Y. (2011). Constructed wetlands using aluminium-based drinking water treatment sludge as P-removing substrate: should aluminium release be a concern? *Journal of Environmental Monitoring*, 13, 1775-1783.
- Benefield, L. D., Joseph F. Judkins, J., & 1, A. D. (1986). *Treatment Plant Hydraulics for Environmental Engineers*.
- Birge, W. J. (1978). *Embryo-larval bioassays on inorganic coal elements and in situ biomonitoring of coal-waste effluents*. Surface Mining and Fish/Wild.
- Brett, M. T., Müller-Navarra, D. C., & Kyu-Park, S. (2000). Empirical analysis of the effect of phosphorus limitation on algal food quality for freshwater zooplankton. *Limnol. Oceanogr*, 1564-1575.
- Camacho González, H. D. (2012). *Valor económico y ambiental del agua subterránea. Caso acuífero de Cuernavaca, Tesis Doctoral*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Canham, R. A. (1985). *Manuals of practice for Water Pollution Control Clarifier Design*.
- CEPIS. (1993). *Manual VI de Operación de Filtración Rápida*.
- CEPIS. (2005). *Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores de la Organización Panamericana de la Salud*. Lima, Perú.
- Chow, V. T. (2004). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Bogotá, Colombia: McGraw Hill.
- Clark, K. a. (1985). A laboratory study of the effects of aluminum and pH on amphibian eggs and tadpoles. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42, 1544-1551.
- CONAGUA. (2015). *Estadísticas del Agua en México*. México, D.F.: CONAGUA.
- CONAGUA. (2015). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. México, D.F.: CONAGUA.
- Culp, R. L., & Culp., G. L. (1971). *Advanced Wastewater Treatment*.

- del Saz Salazar, S., Hernández Sancho, F., & Sala Garrido, R. (2009). *Estimación del valor económico de la calidad del agua de un río mediante una doble aproximación: una aplicación de los principios económicos de la Directiva Marco del Agua*, págs. 37-63. Obtenido de Dialnet, Economía agraria y recursos naturales, ISSN 1578-0732, ISSN 2174-7350, Vol, 9, No.1, España: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4170055.pdf, Consultado en el 2016
- Departamento Forestal y de Caza y Pesca. (1936). *Boletín 1935-1936*.
- Elser, J. M. (1990). Phosphorus and nitrogen limitation of phytoplankton growth in the freshwaters of North America: a review and critique of experimental enrichments. *Can. J. Fish. Aquat Sci*, 47, 1468–1477.
- EPA. (1996). *Amphibian Toxicity Data for Water Quality, Criteria Chemicals*. National Health Environmental Effects Research Laboratory, Oregon, USA.
- Estrada Aguiñaga, E., González Meza, J., Martínez Mendoza, G., Ruíz Martínez, M., & Sánchez Téllez, A. (1995). “*Evaluación social de plantas de tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la ciudad de Puebla*”. Obtenido de CEPEP, México: <http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/52961/Doc-4.pdf>, Consultado en 2016
- gob.mx. (2015). *Casos de enfermedad por mes de ocurrencia*. Obtenido de Anuario de Morbilidad 1984 - 2015: www.epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/html/casos_mes.html, Consultado: 2016
- Goerge, D. B., Berek, S. G., Adams, V. D., Ting, R. S., Roberts, R. O., Parks, L. H., & Lott, R. C. (1995). Toxicity of alum sludge extracts to a freshwater alga, protozoan, fish, and marine bacterium. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 29, 149-158.
- James, G., M.B.E, MSC, D, P., & F.R.I. (1965.). *Water treatment a guide to the treatment of water and effluents purification* (Third edition. ed.).
- Martín Domínguez Alejandra, A. F. (1998). *Manual de Evaluación de Plantas Potabilizadoras*. IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Martín Ortega, J., Berbelb, J., & Brouwer, R. (2009). “*Valoración económica de los beneficios ambientales de no mercado derivados de la mejora de la calidad del agua: una estimación en aplicación de la Directiva Marco del Agua al Guadalquivir*”, pp. 65-89. España: Dialnet, Economía Agraria y Recursos Naturales. ISSN: 1578-0732. Vol. 9, 1. Obtenido de Dialnet, Economía Agraria y Recursos Naturales. .
- Molina-Enríquez, M. J. (1979). *Algunos aspectos del deterioro ambiental del Bosque de Chapultepec. Tesis, Facultad de Ciencias*. México: UNAM.
- Mortula, M., Bard, S. M., Walsh, M. E., & Gagnon, G. A. (2009). Aluminum toxicity and ecological risk assessment of dried alum residual into surface water disposal. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36(1), 127-136.

- Olaiz y Pérez, A., & et al. (2003). *Evaluación económica y valoración social de los escenarios de manejo de agua superficial en la cuenca Lerma-Chapala*. México: CONAGUA-IMTA.
- Pizzi, N. G. (2002). *Water Treatment Operator Handbook*.
- Prosperi, C. (1999). El problema de las algas en el Lago San Roque. *Revista Asociación Profesionales del Agua*, 24(77), 22-26.
- Ramallo, R. (1983). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Reverté, S. A.
- Riehl, M. L. (1970). *Water Supply and Treatment*.
- Rivas W., A., & Ramoni P., J. (2007). *Valoración contingente aplicada al caso del río Albarregas Mérida-Venezuela*. Mérida - Venezuela: FERMENTUM, ISSN 0798-3069 - 478 AÑO 17 - N° 49 - MAYO - AGOSTO - 2007 - 478-502.
- Rojas Carrillo, P., & Sasso Yada, L. (10 de Agosto de 2005). “El pescado blanco”. Obtenido de Revista Digital Universitaria, Vol. 6, No. 8. ISSN: 1607-6079: www.revista.unam.mx/vol.6/num8/art80/int80.htm, Consultado en 2016
- Rojas Padilla, J., Pérez Rincón, M., & Peña Varón, M. (2001). “La valoración contingente: una alternativa para determinar la viabilidad financiera de proyectos de tratamiento de aguas residuales en zonas rurales de países tropicales”, p.1-14. Obtenido de CINARA; Universidad del Valle. Transferencia de información y conocimiento en el sector agua, Cali, Colombia: bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nxtAction=lnk&exprSearch=29336&indexSearch=ID, Consultado en 2016
- Sánchez J., M. (2008). “Valoración contingente y costo de viaje aplicados al área recreativa laguna de Mucubají”. Obtenido de Economía, XXXIII, 26 (julio-diciembre), Venezuela: iies.faces.ula.ve/revista/Articulos/Revista_26/Pdf/Rev26Sanchez.pdf, Consultado en 2016
- Sarmiento M., A. (2014). “Disposición a Pagar (DAP) por calidad de agua en el Arroyo Ramón, Oberá, Misiones, Argentina”. Obtenido de Researchgate, Reporte Técnico, Argentina: www.researchgate.net/publication/299604362, Consultado en 2016
- Soto Montes de Oca, A. (2013). “La valoración económica del medio ambiente a través del método de valoración contingente: el caso de la cuenca del Alto Atoyac en Puebla, México”, Tesis de Maestría. México: Universidad Iberoamericana.
- Stumm, W., & Morgan, J. (1970). *Aquatic chemistry: An introduction emphasizing equilibria in natural waters*. Wiley-Interscience, New York, DOI: 10.4319/lo.1971.16.3.0595.
- Stumm, W., & Stumm Zollinger, E. (1972). The role of phosphorus in eutrophication. *Waterpollution microbiology*, 11-42.
- Toledo Quiñones, J., & Toledo Quiñones, F. (2010). “Propuesta de aplicación de la metodología beneficio costo (b/c) para la evaluación económica de proyectos de plantas de tratamiento de

aguas residuales (PTAR): caso PTAR del Cusco”, Tesis de Maestría. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Económica y Ciencias Sociales.

Torres Orozco, B., Roberto, E., & Pérez Hernández, M. (1 de Enero de 2011). *Los peces de México: una riqueza amenazada*". Obtenido de Revista Digital Universitaria, Vol. 12, No.1 ISSN: 1607-6079: www.revista.unam.mx/vol.12/num1/art06/index.html, Consultada 2 de enero 2011

Twort, A., Hoather, R. C., & Law., F. (1974). *Water Supply*.

Villalobos C., F. A. (1982). *El sistema hidráulico del Distrito Federal*.

Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water (Fifth Edition. ed.). (1976).

Zambrano, L., Córdova Tapia, F., Pacheco Muñoz, R., & Levy Gálvez, K. (2014). *Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro: Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable Vol. II., pp. 79-91*. Jiutepec, Mor.: IMTA, CONAGUA, SEMARNAT.