

Análisis y evaluación de la información

CONTENIDO

4.1	ANTECEDENTES.....	4-1
4.2	EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA Y DE TOXICIDAD EN LAS DESCARGAS Y EN LOS RÍOS ZULA Y SANTIAGO	4-2
4.2.1	Contaminantes básicos en las descargas de agua residual de tipo industrial.....	4-2
4.2.2	Contaminantes básicos en las descargas de agua residual municipal cruda	4-5
4.2.3	Contaminantes básicos en las descargas de agua residual de la industria tequilera.....	4-7
4.2.4	Contaminantes básicos en las descargas de granjas porcícolas	4-9
4.2.5	Contaminantes básicos en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.....	4-10
4.2.6	Metales pesados en las descargas de agua residual municipal tratada	4-12
4.2.7	Metales pesados en las descargas de agua residual	4-14
4.2.8	Metales pesados en los ríos Zula y Santiago	4-18
4.2.9	Toxicidad aguda en las descargas de agua residual.....	4-21
4.2.10	Calidad del agua de los ríos Zula y Santiago	4-25
4.2.11	Toxicidad aguda en los ríos Zula y Santiago	4-33
4.3	EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS ZULA Y SANTIAGO A LO LARGO DE SU RECORRIDO.....	4-35

CUADROS

Cuadro 4-1	Contaminantes básicos en las descargas de agua residual de industrias diversas	4-3
Cuadro 4-2	Contaminantes básicos en las descargas de agua residual municipal cruda, mg/l salvo que se indique otra unidad	4-5
Cuadro 4-3	Concentración de contaminantes en el agua residual según su carga	4-6
Cuadro 4-4	Contaminantes básicos en las descargas de agua residual de industrias tequileras..	4-7
Cuadro 4-5	Contaminantes básicos en las descargas de agua residual de granjas porcícolas.....	4-9
Cuadro 4-6	Contaminantes básicos en las descargas de agua tratada de las PTAR municipales, mg/l excepto que se indique otra unidad.....	4-11
Cuadro 4-7	Metales pesados y cianuro en las descargas de agua tratada de las PTAR municipales, mg/L.....	4-12
Cuadro 4-8	Límites máximos permisibles fijados en la NOM-001 para metales pesados y cianuros, mg/L	4-14
Cuadro 4-9	Resultados de metales pesados y cianuro en las descargas de agua residual caracterizadas, mg/L	4-15

Capítulo 4 Análisis y evaluación de la información

Cuadro 4-10 Concentración de metales pesados y cianuro en el río Zula y Santiago, valores en mg/L (1ª campaña / 2ª campaña).....	4-18
Cuadro 4-11 Valores máximos fijados en los Lineamientos de Calidad del Agua de la LFDMA, mg/L.....	4-19
Cuadro 4-12 Resultados de las pruebas de toxicidad aguda a <i>Vibrio fischeri</i>	4-21
Cuadro 4-13 Escala de toxicidad aguda aplicable a aguas residuales (Institute for Inland Water Management & Waste Water Treatment of Nederland)	4-23
Cuadro 4-14 Clasificación del agua superficial de acuerdo a la concentración de contaminantes, adaptado de (L. Droste, 1997).....	4-25
Cuadro 4-15 Concentración promedio de contaminantes en las estaciones de monitoreo, mg/L a menos que se indique otra unidad	4-25
Cuadro 4-16 Clasificación de la calidad del agua del río Zula y Santiago de acuerdo al parámetro evaluado	4-27
Cuadro 4-17 Resultados de las pruebas de toxicidad en el río Zula y Santiago, (1ª campaña / 2ª campaña).....	4-33

FIGURAS

Figura 4-1 Concentración de Nitrógeno y Fósforo en el río Zula y Santiago.....	4-28
Figura 4-2 Concentración de SST y DBO ₅ en el río Zula y Santiago.....	4-31
Figura 4-3 Conductividad específica en el río Zula y Santiago	4-32
Figura 4-4 Esquema del río Zula y tramos de deterioro y recuperación de la calidad del agua.....	4-35
Figura 4-5 Esquema del río Santiago y tramos de deterioro y recuperación de la calidad del agua	4-39

Capítulo 4 Análisis y evaluación de la información

4.1 ANTECEDENTES

En la actualidad los ríos Zula y Santiago están clasificados como cuerpos receptores tipo “A” y “B” en diversos tramos de sus respectivos recorridos.

La Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (LFDMA) establece para el río Zula la siguiente clasificación:

- Cuerpo tipo “B”: en los municipios de Tototlán y Ocotlán.
- Cuerpo tipo “A”: en los municipios de Arandas y Atotonilco el Alto.

Para el río Santiago, la LFDMA señala lo siguiente:

- Cuerpo tipo “B”: en los municipios de Ocotlán, Poncitlán., Zapotlán del Rey y Chapala.
- Cuerpo tipo “A”: en los municipios de Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán, Tlajomulco de Zúñiga, El Salto, Tonalá y Zapotlanejo.

La lógica de esta segmentación del río Santiago, se debe a que el antiguo esquema de abastecimiento de agua en bloque hacia la Zona Metropolitana de Guadalajara, el agua del lago de Chapala se conducía a través del río Santiago, efectuando en la presa Corona la derivación del agua hacia el canal de Atequiza. Por tal razón, aguas debajo de Corona el río Santiago se clasifica como cuerpo tipo “A”.

Es de esperarse que con la implementación del proyecto de abastecimiento de la presa Arcediano, la Comisión Nacional del Agua efectúe la reclasificación de los ríos Zula y Santiago. Un esquema probable es que el río Zula se modifique su estatus a cuerpo tipo “B” en todo su recorrido; mientras que el río Santiago podría mantener su condición de cuerpo tipo “B” en su tramo inicial, y el tramo aledaño aguas arriba del futuro embalse se podría reclasificar a cuerpo tipo “C”.

En la evaluación de los resultados de calidad del agua de las descargas de agua residual caracterizadas se utilizará como marco de referencia el marco normativo en vigor. La norma NOM-001-SERMANAT-2002 establece límites máximos permisibles (LMP) diferenciados en función del tipo y clasificación del cuerpo receptor de la descarga. Los LMP indican valores Promedio Mensual y Promedio Diario, siendo más estrictos los valores mensuales.

Para evaluar el cumplimiento de la NOM-001 en las descargas de agua residual caracterizadas, se compararán los resultados de laboratorio con respecto de los LMP Promedio Diario, en virtud de que los muestreos fueron de carácter instantáneo.

La evaluación de los resultados de calidad del agua y toxicidad de las descargas de agua residual se efectuará en principio para el grupo de parámetros que la NOM-001 identifica como “contaminantes básicos”, posteriormente se evaluarán los “metales pesados y cianuro”, finalizando con la evaluación de los resultados de las pruebas de toxicidad.

4.2 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA Y DE TOXICIDAD EN LAS DESCARGAS Y EN LOS RÍOS ZULA Y SANTIAGO

Los Términos de Referencia establecen que el Consultor desarrollará los alcances que a continuación se indican:

- Con base en los resultados de análisis de laboratorio de las descargas de agua residual, se evaluará el cumplimiento de las descargas con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- Se emitirán recomendaciones de carácter general para el adecuado manejo y/o tratamiento de las descargas de agua residual identificadas y/o caracterizadas.
- Se emitirán recomendaciones relativas a la conveniencia de fijar condiciones particulares de descarga (CPD's) a algunas de las descargas de agua residual identificadas y/o caracterizadas, o en caso contrario, si el cumplimiento de la NOM-001 es suficiente para los objetivos de calidad que se persiguen para las corrientes motivo de estudio.
- En la evaluación se hará mención de los contaminantes de importancia sanitaria encontrados en los vertidos de fuentes puntuales, y sus posibles efectos a la salud y al ecosistema.
- Se preparará un plano donde se indiquen todas las fuentes puntuales de contaminación identificadas, así como las de mayor relevancia e impacto en la calidad de los cuerpos receptores.

4.2.1 Contaminantes básicos en las descargas de agua residual de tipo industrial

Se efectuó la caracterización de catorce descargas de agua residual de origen industrial, algunos de los vertidos son efluentes de sistemas de tratamiento, mientras que otros corresponden a aguas residuales crudas. En una sección posterior se evalúan los resultados de las descargas de la industria tequilera. Los parámetros evaluados del grupo de contaminantes básicos son: temperatura, pH, sólidos sedimentables, grasas y aceites, SST, DBO₅, Nitrógeno total, Fósforo total; así como la conductividad y la DQO, estos dos últimos, no regulados por la NOM-001.

Capítulo 4 Análisis y evaluación de la información

En el Cuadro 4-1 se presentan los resultados de calidad del agua reportados por el laboratorio, se recuerda que las muestras analizadas fueron de tipo instantáneo por lo que los resultados se compararán con los límites máximos permisibles (LMP) Promedio Diario.

Cuadro 4-1 Contaminantes básicos en las descargas de agua residual de industrias diversas

Descarga	Temp. (°C)	Conductividad (µmhos/cm)	pH @ 25°C	Sol. Sedimentables (mL/L)	SST	G y A	DBO ₅	DQO	N Total	P Total
Planta Potabilizadora No.3	20.1	290	7.28	<0.1	40	<5.0	14.1	50	4.4	0.16
Lixiviado Caabsa	22.4	1,675	7.88	<0.1	48	<5.0	93.5	521	80.9	1.36
Sach's Boge	28.3	3,030	8.23	<0.1	18	<5.0	111	168	19.1	20.20
Quimikao	25.5	4,800	8.65	0.7	120	33	538	1,172	369	4.53
Descarga #5, agua industrial en El Salto	23.7	9,610	7.68	<0.1	16	<5.0	2.0	242	2.0	0.65
AGyDSA	28.5	2,270	7.28	4.3	245	20.4	431	1,083	67.4	14.40
Santorini	31.8	1,160	11.21	0.3	34	6.3	140	315	1.8	1.00
CIBA	30.8	26,100	7.60	<0.1	170	5.9	N.D.	1,066	172	29.10
Industrias Ocotlán	24.4	596	7.75	<0.1	27	6.4	19.4	87	9.0	1.28
Parque Industrial San Jorge	28.3	1,377	7.97	<0.1	11	11.1	9.1	51	2.2	3.82
Descarga Celanese	23.0	5,430	7.42	<0.1	132	<5.0	43.2	221	8.4	21.2
Plásticos Rex	24.3	203	7.54	<0.1	5	<5.0	2.00	< 45	0.23	0.2
Lixiviado Caabsa, junto a Venagen	21.4	17,650	8.45	4.1	160	<5.0	1,558	5,473	1128	10.00
Nestlé	39.9	6,540	11.49	10.7	210	39.5	738	1,152	53	27.8

A continuación se presentan las observaciones derivadas de la revisión de la calidad de las aguas residuales descargadas:

- De las descargas de agua residual evaluadas, en seis de ellas no se detectaron parámetros que excedieran los LMP establecidos. En esta situación está la Planta Potabilizadora No. 3 del SIAPA, la descarga de Sach's Boge, la de Industrias Ocotlán, el Parque Industrial San Jorge y Plásticos Rex Cydsa.

- De la planta industrializadora de basura de Caabsa Eagle, situada entre Tololotlán y El Salto, se identificaron dos corrientes de lixiviados con descarga al río Santiago. En una de ellas, la identificada como No.1 por ser mayor el caudal vertido, se exceden los LMP de Nitrógeno total; la descarga No. 2 excede los LMP de sólidos sedimentables, DBO₅ y Nitrógeno total. Ambas descargas son de color café muy oscuro y, denotando su origen, con valores de conductividad altos, 1,675 y 17,650 µmhos/cm en la descarga No. 1 y No. 2, respectivamente.
- En la descarga de AGyDSA al arroyo Santiaguito, afluente del río Santiago se detectaron cuatro parámetros que exceden los LMP: DBO₅, Nitrógeno Total, SST y Sólidos sedimentables; la conductividad es moderadamente alta, con 2,270 µmhos/cm.
- En la descarga de la planta de tratamiento de Nestlé, con descarga directa al río Santiago, clasificado como cuerpo tipo “B” en dicho sitio, se detectaron cuatro parámetros con excedencia sobre los LMP correspondientes. Los parámetros son potencial hidrógeno, grasas y aceites, sólidos sedimentables, SST y DBO₅. El valor de conductividad era elevado (6,540 µmhos/cm). La planta de tratamiento es de tipo biológico, sin embargo el vertido tenía características que denotaban que se estaba derivando el agua residual sin tratamiento, ya que incluso la descarga estaba caliente (39.9 °C).
- En la descarga de Quimikao al arroyo del Ahogado se detectaron tres parámetros por arriba de los LMP: la DBO₅, el Nitrógeno total y las grasas y aceites; por su parte la conductividad era elevada (4,800 µmhos/cm).
- En la descarga de la planta de tratamiento biológico y terciario de Ciba al río Santiago se detectaron dos parámetros por arriba de los LMP aplicables, los SST y el Nitrógeno total, así como una conductividad excesivamente elevada, de 26,100 µmhos/cm.
- Por su parte, la descarga de Celanese al río Santiago, mediante un previo paso por un arroyo con recorrido menor a 200 metros, tenía una concentración de SST de 1342 mg/l, excediendo así los LMP que aplican para el río Santiago en dicho sitio, en que está clasificado como cuerpo tipo “B”.
- En la descarga de Santorini que efectúa mediante un emisor hacia un arroyo de temporal afluente del río Santiago, se detectó que el pH, con valor de 11.21 unidades está fuera del rango permisible establecido en la NOM-001.

4.2.2 Contaminantes básicos en las descargas de agua residual municipal cruda

Se efectuó la caracterización de veintiún descargas de agua residual de origen municipal. Dos de las descargas son efluentes de plantas de tratamiento: la del Fraccionamiento Rancho Alegre y la del CEFERESO, la primera está abandonada y no opera, la segunda no se inspeccionó pero los resultados indican que está operando inadecuadamente. En el Cuadro 4-4 se muestran los resultados reportados por el laboratorio.

Cuadro 4-2 Contaminantes básicos en las descargas de agua residual municipal cruda, mg/l salvo que se indique otra unidad

Localidad o emisor	Temp. (°C)	Conductividad (µmhos/cm)	pH @ 25°C	Sólidos Sedimentables (mL/L)	SST	G y A	DBO ₅	DQO	N Total	P Total
Coyula	23.5	1,018	7.32	1.70	155	31.1	119.0	265	19.3	7.02
El Vado	23.9	1,608	7.56	4.70	340	124	370.0	994	86.4	16.70
Fracc. Las Cañadas	26.3	641	7.43	1.00	58	44.7	35.8	144	7.5	2.88
Puente Viejo	22.2	574	7.95	<0.1	26	<5.0	4.1	< 45	2.8	1.32
Descarga Municipal de Atotonilco #1	26.8	482	6.38	0.5	160	19.8	205	332	11.6	3.39
Descarga Municipal de Atotonilco #2	27.1	531	6.25	0.6	180	24.2	254	497	17.3	4.10
PTARM Fracc. Rancho Alegre	26.7	1,168	7.30	0.5	108	27.8	91	359	46.9	10.80
Ex - Hacienda Zapotlanejo	25.3	1,036	7.23	5.3	540	182.0	385	899	64.4	20.00
Casa Blanca	25.4	384	7.22	2.7	240	36.8	137	305	13.2	4.23
San Miguel Zapotitlán	24.9	634	7.35	0.9	195	90.9	125	432	17.5	6.64
San Miguel Zapotitlán	21.6	657	7.44	<0.1	18	5.3	15.3	80	16.7	5.00
Cárcamo viejo de bombeo Ocotlán	25.3	878	7.36	<0.1	84	15.8	76	212	17.3	3.46
Cárcamo de bombeo Poncitlán	25.5	952	7.32	0.6	80	21.8	113	284	16.1	4.03
Emisor Colonia 6 de Noviembre en Ocotlán	24.4	1,176	7.14	0.3	64	<5.0	92.4	210	9.7	3.4
Emisor cárcamo de bombeo a un costado	27.6	1,307	6.82	0.3	155	38.1	334	517	32.5	12.1

Capítulo 4 Análisis y evaluación de la información

Localidad o emisor	Temp. (°C)	Conductividad (µmhos/cm)	pH @ 25°C	Sólidos Sedimentables (mL/L)	SST	G y A	DBO ₅	DQO	N Total	P Total
del Campo Deportivo										
Descarga directa al río Zula, en Ocotlán	27.7	1,284	6.37	1.4	200	85.2	562	961	17.8	15.4
San Francisco de Asís	26.1	432	7.11	0.8	96	18.1	83.7	224	11.6	4.59
CEFERESO	---	700	7.28	4.4	220	41.7	210	627	32	4.85
Carrozas	22.8	1,235	7.72	2.5	95	78.1	271	575	25	15.1
El Nuevo Refugio, Refugio Viejo y San Antonio de Gómez	24.4	1,284	7.38	15.7	1,440	166	388	1,244	58.2	24.8
Descarga a un costado de Granjas Taretán	23.2	233	8.07	<0.1	30	<5.0	4.4	< 45	2.3	0.413

El marco de referencia para evaluar la carga contaminantes de las aguas residuales municipales crudas fueron los valores indicados en el siguiente cuadro, el cual clasifica al agua residual, por su concentración de contaminantes, en: débil, media y fuerte.

Cuadro 4-3 Concentración de contaminantes en el agua residual según su carga

Parámetro	Unidad	Débil	Media	Fuerte
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	110	220	400
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	250	500	1,000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	100	220	350
Nitrógeno Total Kjeldahal	mg/L	20	40	70
Fósforo Total	mg/L	4	8	15
Grasas y aceites	mg/L	50	100	150
Sólidos Sedimentables	ml/l	5	10	20

En cuatro de las descargas municipales se detectan concentraciones de parámetros por arriba de las correspondientes a agua residual con carga contaminante "fuerte":

Capítulo 4 Análisis y evaluación de la información

- En la descarga conjunta al arroyo El Zopial, afluente del río Zula, de las localidades el Nuevo Refugio, Refugio Viejo y San Antonio de Gómez, se detectan concentraciones elevadas de Fósforo, DQO, sólidos suspendidos y grasas y aceites.
- En la descarga de la ex - hacienda Zapotlanejo al río Santiago se reportan concentraciones elevadas de Fósforo, sólidos suspendidos y grasas y aceites.
- En la descarga de la colonia El Vado al río Santiago se tienen valores elevados de Nitrógeno y Fósforo.
- En la descarga directa al río Zula de aguas residuales de Ocotlán, la concentración de DBO es atípicamente elevada.

4.2.3 Contaminantes básicos en las descargas de agua residual de la industria tequilera

Se efectuó la caracterización de las descargas de vinazas y/o de las aguas residuales vertidas por siete fabricas en que se elabora tequila. En el Cuadro 4-4 se muestran los resultados reportados por el laboratorio.

Cuadro 4-4 Contaminantes básicos en las descargas de agua residual de industrias tequileras

Descarga	Temp. (°C)	Conductividad (µmhos/cm)	pH @ 25°C	Sol. Sedimentables (mL/L)	SST	Grasas y Aceites	DBO ₅	DQO	N Total	P Total
Tequilera "Destiladora Alteña"	43.1	1,608	3.57	235	6,400	11.1	13,063	30,847	181	82.4
Tequilera "La Alteña"	54.8	1,540	3.46	475	4,800	40.5	16,400	24,174	193	39.9
Tequilera "El Edén" (arroyo + lixiviado vinazas)	22.2	329	6.71	17.5	50	<5.0	73.9	164	2.61	0.757
Tequilera "José Cuervo"	21.5	542	7.29	<0.1	64	<5.0	14.8	94	3.5	1.93
Tequilera "Destiladora Juan Diego"	43.0	2,870	3.88	0.3	5,700	N.D.	12,595	31,173	334	99.6
Fábrica de tequila "7 Leguas"	52.5	1,328	3.85	18.2	720	28.7	9,489	39,961	159	19

Capítulo 4 Análisis y evaluación de la información

Tequilera C.D.C.	27.1	1,813	7.17	1.2	126	<5.0	1,744	2,670	26.8	4.7
---------------------	------	-------	------	-----	-----	------	-------	-------	------	-----

N. D.= No Determinado, debido a que se rompió el matraz después de la extracción

Para evaluar el cumplimiento de la normatividad se compararán los resultados con respecto de los límites máximos permisibles para cuerpo receptor tipo “A” Promedio Diario, en virtud de que ninguna de las instalaciones caracterizadas vierte a los tramos clasificados como cuerpo receptor tipo “B” en la zona de estudio.

A continuación se presentan los comentarios que se derivan de la revisión de la calidad de las aguas residuales descargadas:

- Sólo una de las siete descargas evaluadas no excede los LMP establecidos para los siete contaminantes básicos analizados. Esta fábrica tiene sistema de manejo y tratamiento de los vertidos de vinazas, por lo que el agua caracterizada era de servicios generales.
- En 4 de las 7 descargas se exceden los LMP fijados para sólidos sedimentables, con valores en el rango de 17.5 a 475 ml/L.
- En 5 de las 7 descargas se exceden los LMP establecidos para DBO₅, con valores en el rango de 1,744 a 16,000 mg/L.
- En 4 de las 7 descargas se exceden los LMP establecidos para SST, con valores en el rango de 720 a 6,400 mg/L.
- En 4 de las 7 descargas se exceden los LMP establecidos para Nitrógeno total, con valores en el rango de 159 a 334 mg/L.
- En 3 de las 7 descargas se exceden los LMP establecidos para Fósforo total, con valores en el rango de 39.9 a 99.6 mg/L.
- En 4 de las 7 descargas evaluadas el valor de pH está fuera del rango de 5.0 a 10.0 unidades que establece como rango permisible la NOM-001. Las descargas en cuestión tienen condición ácida, con valores entre 3.46 y 3.88 unidades de pH.
- En 2 de 6 descargas evaluadas, se registraron concentraciones de grasas y aceites por arriba del LMP, con valores de 28.7 y 40.5 mg/L.
- Si bien la NOM-001 no establece LMP de temperatura para los ríos clasificados como cuerpo tipo “A”, en cuatro de las descargas se detectó alta temperatura, en el rango de 43 a 55 °C.

De los resultados anteriores se concluye que las aguas residuales vertidas por la industria tequilera implican un impacto puntual muy adverso para los cuerpos receptores en virtud de su muy elevada carga orgánica y de sólidos; así como de nitrógeno y, en menor

medida, de fósforo. A lo anterior se suman dos condiciones que acentúan el efecto negativo de los vertidos, la elevada temperatura y la condición ácida de los vertidos, lo que combinado con la materia orgánica aportada incide más en el balance de oxígeno de las corrientes receptoras, mientras que el pH ácido incrementa la disponibilidad de la fracción de nitrógeno amoniacal no ionizado, que es la forma de mayor toxicidad.

4.2.4 Contaminantes básicos en las descargas de granjas porcícolas

Se efectuó la caracterización de las descargas de las escretas y/o del efluente de los sistemas de tratamiento lagunar existentes en seis granjas porcícolas. En el Cuadro 4-4 se muestran los resultados reportados por el laboratorio.

Para evaluar el cumplimiento de la normatividad se comparan los resultados con respecto de los límites máximos permisibles para cuerpo receptor tipo “A” Promedio Diario, ya que ninguna de las instalaciones caracterizadas vierte a los tramos clasificados como cuerpo receptor tipo “B” en la zona de estudio.

Cuadro 4-5 Contaminantes básicos en las descargas de agua residual de granjas porcícolas

Descarga	Temperatura (°C)	Conductividad (µmhos/cm)	pH @ 25°C	Sol. Sedimentables (mL/L)	SST	Grasas y Aceites	DBO ₅	DQO	N Total	P Total
GENPro	25.5	6,370	7.11	163	5000	726.0	4,519	12,782	999	245.00
Venagen	20.8	4,020	8.21	5.5	155	10.3	532	2,116	273	5.32
Caballo Bayo (Q arroyo + granja)	21.7	753	7.53	0.4	62	10.2	63.5	182	33.1	7.37
Granja entre Santorini y GENPro	29.8	1,330	9.86	<0.1	84	<5.0	1,111	1,564	4.8	3.71
Descarga en Puente Carrozas	22.1	348	7.46	<0.1	350	<5.0	13.8	135	8.0	8.83
Granjas Taretan	29.0	831	7.64	3.2	350	42	345	700	71.7	12

A continuación se presentan los comentarios que se derivan de la revisión de la calidad de las aguas residuales descargadas.

- Una de las seis descargas evaluadas no excede los LMP establecidos para los siete contaminantes básicos analizados. Sin embargo dicha descarga se muestreó combinada con un arroyo que recibe el vertido de la granja y lo conduce al río Santiago.

- En 3 de las 6 descargas se exceden los LMP fijados para sólidos suspendidos totales, con valores en el rango de 350 a 5,000 mg/L.
- En 4 de las 6 descargas se exceden los LMP establecidos para DBO₅, con valores en el rango de 345 a 4,519 mg/L.
- En 3 de las 6 descargas se exceden los LMP establecidos para Nitrógeno total, con valores en el rango de 72 a 999 mg/L.
- En 1 de las 6 descargas se excede el LMP establecido para Fósforo total, con valor de 245 mg/L.
- En 3 de las 6 descargas se excede el LMP establecido para sólidos sedimentables, con valores de 3.2, 5.5 y 165 ml/L, respectivamente.
- En 2 de 6 descargas evaluadas, se registraron concentraciones de grasas y aceites por arriba del LMP, con valores de 42 y 726 mg/L.
- La descarga de una granja es particularmente agresiva al medio ambiente y a la salud pública. El vertido de la granja GENPro en La Capilla, con descarga al canal de Atequiza a través de un arroyo, excede con amplitud los LMP de seis parámetros básicos. Los valores más altos arriba indicados corresponden invariablemente a dicha instalación.

4.2.5 Contaminantes básicos en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales

Se efectuó la caracterización de la descarga de agua tratada efluente de las nueve plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTARM) que a continuación se indican: Ocotlán, Cuitzeo, Poncitlán, San Jacinto, Atequiza-Atotonilquillo, Arandas, Zapotlanejo, Juanacatlán y El Salto

En seis de las plantas de tratamiento el proceso es de nivel secundario mediante lodos activados en diversas modalidades; en dos de las plantas (Poncitlán y Atequiza) el proceso de tratamiento es de nivel secundario mediante lagunas aeradas; mientras que en la planta de San Jacinto el tratamiento es de tipo primario y consta de fosa séptica seguida de filtro de flujo ascendente.

Si bien los cuerpos receptores a los que vierten las plantas están clasificados, de acuerdo a la LFDMA, como cuerpos tipo “A” y “B”, todas las plantas, con excepción de la PTARM San Jacinto, están diseñadas para lograr estándares de calidad 30/30 en la concentración de DBO y SST en el efluente. En el siguiente cuadro se presentan los resultados de calidad de agua reportados por el laboratorio.

Cuadro 4-6 Contaminantes básicos en las descargas de agua tratada de las PTAR municipales, mg/l excepto que se indique otra unidad

PTARM	Temperatura (°C)	Conductividad (µmhos/cm)	pH @ 25°C	Sol. Sedimentables (mL/L)	SST	Grasas y Aceites	DBO ₅	DQO	N Total	P Total
Ocotlán	27.0	807	7.89	0.93	108	<5.0	14.6	195	6.5	4.1
Cuitzeo	22.5	1,112	7.71	<0.1	30	<5.0	15.8	69	3.5	8.6
Poncitlán	24.7	869	7.58	0.16	54	6.7	66.5	217	13.9	5.1
San Jacinto	23.1	539	7.13	<0.1	28	<5.0	29.2	103	13.8	2.7
Atequiza-Atotonilquillo	25.1	1,073	7.91	<0.1	34	<5.0	76.0	110	12.6	5.1
Arandas	23.4	563	6.81	<0.1	5	<5.0	2.7	< 45	<0.2	5.7
Zapotlanejo	27.3	704	6.92	<0.1	25	<5.0	8.1	< 45	3.0	7.6
Juanacatlán	24.2	830	7.69	<0.1	8	<5.0	4.3	< 45	0.6	3.9
El Salto	23.9	1,023	7.87	0.6	94	<5.0	15.5	118	5.2	7.3

Al comparar los resultados con respecto de los LMP establecidos por la NOM-001 para cuerpo tipo “B” Promedio Diario, se observa que la totalidad de los efluentes satisfacen dicho marco normativo.

No obstante lo anterior, existen dos situaciones irregulares en la operación de dos de las plantas de tratamiento; una es que el cárcamo de bombeo de agua cruda de Poncitlán estaba derivando agua residual directamente al río Santiago, cuando se efectuó la inspección y el muestreo, el caudal de agua residual no enviado a tratamiento era de 25 L/s, lo que anula parcialmente los beneficios que implica el tratamiento de las aguas residuales de dicha localidad.

En la ciudad de Ocotlán se registra la situación más irregular en materia de tratamiento de las aguas residuales municipales, aunado a los diversos emisores y al cárcamo de bombeo “viejo” que vierten agua residual cruda directamente al río Zula y Santiago, en la propia planta de tratamiento existe un by-pass que deriva el influente cribado hacia un pozo de visita donde se combina con el efluente tratado y desinfectado de la planta de tratamiento.

4.2.6 Metales pesados en las descargas de agua residual municipal tratada

Los resultados de laboratorio del grupo de parámetros que la NOM-001 identifica como “metales pesados y cianuro” indican que los efluentes de las nueve plantas de tratamiento acreditan con holgura los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001 para cuerpo receptor tipo “B”, incluso comparando con los valores Promedio Mensual. En el siguiente cuadro se presentan los resultados reportados por el laboratorio.

Cuadro 4-7 Metales pesados y cianuro en las descargas de agua tratada de las PTAR municipales, mg/L

Descarga	Cn	As	Cd	Cu	Cr Total	Hg	Ni	Pb	Zn
PTARM Ocotlán	<0.01	0.0165	<0.050	<0.10	<0.250	0.001	<0.100	<0.100	0.063
PTARM Cuitzeo	<0.01	<0.005	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.054
PTARM Poncitlán	<0.01	0.0218	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
PTARM San Jacinto	0.018	<0.005	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
PTARM Atequiza-Atotonilquillo	<0.01	0.0083	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
PTARM Arandas	<0.01	<0.005	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
PTARM Zapotlanejo	<0.01	<0.005	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
PTARM Juanacatlán	<0.01	0.0055	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.124
PTARM El Salto	<0.01	0.0129	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.089

Los valores de Cadmio, Cobre, Cromo total, Níquel y Plomo fueron, en las nueve plantas de tratamiento caracterizadas, inferiores al límite de detección del método. En cuatro parámetros se reportan algunos valores por arriba del límite de detección, aunque representando una fracción del LMP.

Arsénico

En cinco efluentes se detectaron valores en el rango de 5.5 a 21.8 µg/L; el valor más elevado representa el 22% del LMP para cuerpo tipo “B” Promedio mensual. En las

restantes cuatro plantas los valores reportados fueron inferiores al límite de detección de 5.0 µg/L.

Cianuro

El único valor superior al límite de detección de 10 µg/l, fue el de la PTARM San Jacinto, con 18 µg/L. Esta concentración representa el 1.8% del LMP para cuerpo tipo “B” Promedio Mensual. Este valor se puede deber a que la planta es de tratamiento primario por lo que la eficiencia global de remoción de contaminantes es inferior a la de las otras plantas de tratamiento evaluadas.

Mercurio

El valor más elevado fue el de la PTAR Ocotlán con 1.0 µg/L, que representa el 20% del LMP para cuerpo “B” Promedio Mensual. En los efluentes de las restantes ocho plantas se reporta una concentración menor a 1.0 µg/L, que es el límite de detección del método.

Zinc

El valor más elevado fue de 124 µg/L y se detectó en el efluente de la PTARM Juanacatlán, esta concentración es 1.2% del LMP para cuerpo tipo “B” Promedio Mensual. En tres plantas los valores reportados están en el rango de 54 a 89 µg/L. El resto de los valores fueron de menores a 50 µg/L.

4.2.7 Metales pesados en las descargas de agua residual

Se evaluó el grupo de parámetros regulados por la NOM-001-ECOL-2002. La tabla número dos de la Norma señala límites máximos permisibles (LMP) para: Cianuros, Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc. En el caso de los ríos, la NOM-001 se establece LMP promedio mensual y promedio diario, para los tres niveles en que se pueden clasificar los ríos, cuerpo tipo “A”, “B” o “C”.

Los LMP establecidos para los ríos clasificados como cuerpo tipo “B” o “C” tienen el mismo valor, ver Cuadro 4-8, a diferencia del esquema aplicado en los contaminantes básicos. Los ríos Zula y Santiago están clasificados como cuerpo tipo “A” o “B”.

Cuadro 4-8 Límites máximos permisibles fijados en la NOM-001 para metales pesados y cianuros, mg/L

Parámetros	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20

P. M. = Promedio Mensual, P.D. = Promedio Diario

Para evaluar las descargas caracterizadas, se compararon los resultados de laboratorio, ver Cuadro 4-9, con respecto de los límites máximos permisibles Promedio Diario para cuerpo tipo “B”. Con dicho marco de referencia, más estricto que el que en términos administrativos aplica, ninguna de las descargas excede el LMP establecido para estos parámetros.

Incluso al comparar los resultados con respecto del valor Promedio Mensual fijado para cuerpo tipo “B”, que es igual al de cuerpo tipo “C”, sólo una descarga excede el LMP en cuestión en uno de los nueve parámetros normados. Dicha descarga es de la “Tequilera CDC” y el parámetro en cuestión es el Arsénico.

Capítulo 4 Análisis y evaluación de la información

Cuadro 4-9 Resultados de metales pesados y cianuro en las descargas de agua residual caracterizadas, mg/L

Nombre	Origen	Cn	As	Cd	Cu	Cr Total	Hg	Ni	Pb	Zn
Planta Potabilizadora No.3	Industrial	<0.01	<0.005	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
Lixiviado Caabsa-Eagle	Industrial	<0.01	<0.005	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.109
Descarga Sach's Boge	Industrial	0.049	0.0232	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	0.534	<0.100	0.162
Descarga Quimikao	Industrial	<0.01	0.0132	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	1.15	<0.100	0.059
Descarga #5, agua industrial tratada en El Salto	Industrial	<0.01	0.0235	<0.050	<0.10	<0.250	0.0014	<0.100	<0.100	<0.050
Descarga AGyDSA	Industrial	<0.01	0.037	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.062
PTAR de CIBA	Industrial	<0.01	<0.005	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	0.131	<0.100	0.125
Industrias Ocotlán	Industrial	<0.01	0.0119	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.096
Parque Industrial San Jorge	Industrial	<0.01	0.0102	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.055
Descarga Celanese	Industrial	<0.01	0.02	<0.050	0.11	<0.250	<0.0010	0.13	<0.100	0.907
Plásticos Rex Cydsa	Industrial	<0.01	<0.005	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
PTAR de Nestlé	Industrial	<0.01	0.0068	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
Descarga Municipal Coyula	Municipal	0.1	0.0065	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.142
Descarga Municipal de Atotonilco en canal #1	Municipal	<0.01	<0.005	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.064
Descarga Municipal de Atotonilco en canal #2	Municipal	<0.01	<0.005	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.132
PTARM Fracc. Rancho Alegre	Municipal	0.032	0.0225	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.147
Cárcamo viejo de bombeo Ocotlán	Municipal	<0.01	0.0169	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.066
Cárcamo de bombeo Poncitlán	Municipal	<0.01	0.022	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.066
Tequilera "Destiladora Alteña"	Tequilera	0.028	<0.005	<0.050	1.10	<0.250	<0.0010	0.148	<0.100	0.653
Tequilera "La Alteña"	Tequilera	0.011	<0.005	<0.050	1.95	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.416
Tequilera "El Edén" (arroyo + lixiviado vinazas)	Tequilera	<0.01	<0.005	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
Tequilera "José Cuervo"	Tequilera	<0.01	<0.005	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.062

Capítulo 4 Análisis y evaluación de la información

Nombre	Origen	Cn	As	Cd	Cu	Cr Total	Hg	Ni	Pb	Zn
Tequilera "Destiladora Juan Diego"	Tequilera	<0.01	<0.005	<0.050	<0.10	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	2.400
Fábrica de tequila "7 Leguas"	Tequilera	<0.01	<0.005	<0.050	1.46	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.297
Tequilera C.D.C.	Tequilera	<0.01	0.1311	<0.050	0.173	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.528

Las descargas de agua residual en las que se detectaron los valores de metales pesados y cianuro más elevados, se indican a continuación, haciendo hincapié en que ninguna está en la situación de exceder los LMP fijados en la NOM-001 para ríos clasificados como cuerpo receptor tipo "B".

Cianuro

El valor más elevado fue de 0.100 mg/L (el 50 % del LMP P.D. para cuerpo tipo "B") se detectó en la descarga de agua residual municipal de Coyula. El resto de los valores estuvo en el rango de < 0.01 a 0.049 mg/L.

Arsénico

El valor más elevado fue de 0.1311 mg/L (el 65 % del LMP P.D. para cuerpo tipo "B") se detectó en la descarga de agua residual industrial de la Tequilera CDC. El resto de los valores estuvo en el rango de < 0.005 a 0.037 mg/L.

Cadmio

En todas las descargas la concentración reportada fue menor al límite de detección del método, que es de < 0.05 mg/L.

Cobre

El valor más elevado fue de 1.95 mg/L (el 32 % del LMP P.D. para cuerpo tipo "B") se detectó en la descarga de agua residual industrial de la fabrica de tequila "La Alteña", otros valores elevados fueron de 1.46 mg/l y 1.10 mg/l en la fabrica de tequila "7 Leguas" y en "Destiladora Alteña", respectivamente. Los valores restantes estuvieron en el rango de < 0.10 a 0.173 mg/L.

Cromo total

En todas las descargas la concentración de cromo reportada fue menor al límite de detección del método, que es de < 0.250 mg/L.

Mercurio

El valor más elevado fue de 0.0014 mg/L (el 14 % del LMP P.D. para cuerpo tipo “B”) se detectó en la descarga de agua residual industrial No. 5 en El Salto. El resto de los valores estuvo en el rango de < 0.001 a 0.001 mg/L.

Níquel

El valor más elevado fue de 1.15 mg/L (el 29 % del LMP P.D. para cuerpo tipo “B”), se detectó en la descarga de agua residual industrial de “Quimikao”, otro valor elevado fue en la descarga de “Sach’s Boge”, de 0.534 mg/L. Los valores restantes estuvieron en el rango de < 0.100 a 0.148 mg/L.

Plomo

En todas las descargas la concentración de plomo reportada fue menor al límite de detección del método, que es de < 0.100 mg/L.

Zinc

El valor más elevado fue de 2.40 mg/L (el 12 % del LMP P.D. para cuerpo tipo “B”), se detectó en la descarga de agua residual industrial de “Destiladora Juan Diego”, otro valor elevado fue en la descarga de “Celanese”, de 0.907 mg/L. Los valores restantes estuvieron en el rango de < 0.050 a 0.653 mg/L.

4.2.8 Metales pesados en los ríos Zula y Santiago

Se efectuó el análisis de metales pesados y cianuro en las 15 estaciones de monitoreo situadas sobre los ríos Zula, Santiago y en los arroyos del Ahogado y Chico. Se efectuaron dos rondas de muestreo, ambas en el mes de noviembre de 2006. De la estación Río Santiago aguas arriba de El Ahogado se tiene sólo un dato, debido a que en la primera ronda no fue posible acceder al sitio. En el siguiente Cuadro se presentan los resultados reportados por el laboratorio.

Cuadro 4-10 Concentración de metales pesados y cianuro en el río Zula y Santiago, valores en mg/L (1ª campaña / 2ª campaña)

Estación	Cn	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
RZ, Santiaguito de Velázquez	<0.01/ <0.01	<0.005/ <0.005	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	<0.050/ <0.050
RZ, Rinconada de Cristo Rey	<0.01/ 0.0117	<0.005/ <0.005	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	<0.050/ <0.050
RZ, El Dique/Palo Dulce	<0.01/ <0.01	<0.005/ <0.005	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	<0.050/ <0.050
Ríos de Ruiz (aguas abajo de Tototlán)	<0.01/ <0.01	<0.005/ <0.005	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	<0.050/ <0.050
RZ, Paso de la Comunidad	<0.01/ <0.01	<0.005/ <0.005	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	<0.050/ <0.050
RS, Cuitzeo	<0.01/ <0.01	<0.005/ <0.005	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	<0.050/ <0.050
RS, San Luis del Agua Caliente	<0.01/ 0.0182	0.0153/ 0.0076	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	<0.050/ 0.058
RS, Poncitlán (aguas debajo de compuertas)	<0.01/ <0.01	0.020/ 0.009	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	0.135/ 0.077
RS, Presa Corona (aguas debajo de compuertas)	<0.01/ <0.01	<0.005/ <0.005	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	<0.050/ <0.050
RS, Ex-hacienda de Zapotlanejo	<0.01/ <0.01	<0.005/ <0.005	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	<0.050/ <0.050
RS, Aguas arriba de El Ahogado	0.042	0.0067	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
Arroyo El Ahogado en el Muelle	<0.01/ 0.0145	0.0064/ 0.0061	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	<0.050/ <0.050
RS, Aguas abajo del Arroyo El Ahogado	<0.01/ 0.026	0.0072/ 0.0062	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	<0.050/ <0.050
RS, Tololotlán	<0.01/ <0.01	0.0072/ 0.0053	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	<0.050/ <0.050
RS, Puente de Matatlán	<0.01/ <0.01	0.0064/ <0.005	<0.050/ <0.050	<0.100/ <0.100	<0.250/ <0.250	<0.0010/ <0.0010	<0.100/ <0.100	<0.100/ <0.100	<0.050/ <0.050

La concentración de metales pesados y cianuros en los ríos y arroyos caracterizados se comparará con los Lineamientos de Calidad del Agua establecidos en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (LFDMA). Los Lineamientos establecen valores máximos para ríos con uso en abastecimiento público urbano y para ríos con uso en riego agrícola, en el siguiente cuadro se indican los valores en cuestión.

Cuadro 4-11 Valores máximos fijados en los Lineamientos de Calidad del Agua de la LFDMA, mg/L

Parámetros	Abastecimiento para uso público urbano	Riego agrícola
Arsénico	0.05	0.10
Cadmio	0.01	0.01
Cianuros	0.02	0.02
Cobre	1.00	0.20
Cromo	0.05	0.10
Mercurio	0.001	---
Níquel	0.01	0.20
Plomo	0.05	0.50
Zinc	5.0	2.0

En seis de los nueve parámetros evaluados, los resultados de laboratorio indican la misma concentración a lo largo de los ríos Zula y Santiago, así como en los arroyos Chico y Ahogado: cadmio, cobre, cromo total, mercurio, níquel y plomo; en todos los casos se reportan valores por abajo del límite de detección del método.

En el río Zula y Santiago se detectan sitios en los que se presentan incrementos moderados en la concentración de Arsénico, Cianuro y Zinc. A continuación se comentan los resultados de estos tres parámetros.

Arsénico

En 8 de las 15 estaciones de monitoreo se reportan en los dos eventos de muestreo concentraciones de arsénico de < 0.005 mg/L ($5\mu\text{g}$ microgramos por litro).

Se detectan dos subtramos del río Santiago en los que se manifiesta un incremento en la concentración de arsénico; el primero es de San Luis del Agua Caliente a Aguas abajo de Poncitlán, el segundo tramo va de Aguas arriba del Ahogado hasta el Puente de Matatlán. En las 7 estaciones situadas en dichos subtramos la concentración de As sube por arriba del límite de detección – que es de $5.0 \mu\text{g/L}$ - en todos los eventos, con excepción del segundo evento en la estación Puente de Matatlán.

En el primer subtramo los valores puntuales suben al rango de 7.6 a 20 $\mu\text{g/L}$; en el segundo subtramo el incremento en la concentración de arsénico es menos acentuado, ya que el de los valores reportados es de 5.3 a 7.2 $\mu\text{g/L}$.

Ninguna de las concentraciones reportadas excede el valor máximo de los Lineamientos de Calidad fijados para ríos con uso en abastecimiento público o en riego agrícola.

Cianuro

En 10 de las 15 estaciones de monitoreo se reportan en los dos eventos de muestreo concentraciones de $< 0.01 \text{ mg/L}$ (10 μg microgramos por litro).

En la estación Rinconada de Cristo Rey, sobre el río Zula, se reporta en la 2ª campaña una concentración de 12 $\mu\text{g/L}$; de igual forma, en la estación San Luis del Agua Caliente, sobre el río Santiago, en la 2ª campaña el valor detectado es de 18 $\mu\text{g/L}$.

Aguas abajo del sitio anterior se vuelve a incrementar la concentración de cianuro en el río Santiago; en las estaciones Aguas Arriba y Aguas abajo del arroyo del Ahogado, así como en el propio arroyo del Ahogado, en la 2ª campaña los valores reportados son de 42, 26 y 14 $\mu\text{g/L}$, respectivamente.

En dos de las concentraciones reportadas se excede el valor máximo de los Lineamientos de Calidad fijados para ríos con uso en abastecimiento público o en riego agrícola, que es de 20 $\mu\text{g/L}$.

Zinc

En 13 de las 15 estaciones de monitoreo se reportan en los dos eventos de muestreo concentraciones de zinc de $< 0.05 \text{ mg/L}$ (50 μg microgramos por litro).

Se detectan un subtramos del río Santiago en que se manifiesta un incremento en la concentración de zinc; delimitado por las estaciones San Luis del Agua Caliente y Aguas debajo de Poncitlán. En la primer estación se reporta, en la 2ª campaña se reporta una concentración de 58 $\mu\text{g/L}$, mientras que en la segunda estación se reportan 135 y 77 $\mu\text{g/l}$ en la 1ª y 2ª campaña.

En todas las estaciones situadas abajo, el río Santiago y el arroyo del Ahogado, tienen valores menores a 50 $\mu\text{g/L}$.

Ninguna de las concentraciones reportadas excede el valor máximo de los Lineamientos de Calidad fijados para ríos con uso en abastecimiento público o en riego agrícola.

4.2.9 Toxicidad aguda en las descargas de agua residual

La evaluación de la toxicidad aguda de las descargas de agua residual se efectuó en el laboratorio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Las pruebas implementadas fueron de toxicidad aguda con el organismo *Vibrio fischeri* (Microtox), aplicando la metodología IMTA CAHB6-19. Las muestras de agua colectadas se refrigeraban y se almacenaban uno o dos días máximo, antes de ser enviadas a las instalaciones del IMTA. En todos los casos las muestras se recibieron en el IMTA, para efectuar la inoculación e iniciar las pruebas, antes del tiempo máximo que puede transcurrir entre la toma de muestras y el inicio de las pruebas, que es de 120 horas.

La prueba calcula el porcentaje de dilución de la muestra original, en el cual se muere la mitad de la población de organismos (CE_{50}); entre más bajo es este valor más tóxica es la muestra. Una muestra que diluida al 25% ocasiona la muerte de la mitad de la población ($CE_{50} = 25\%$) es más tóxica que una muestra con un $CE_{50} = 50\%$, debido a que con menos porción de la muestra original muere el mismo porcentaje de organismos.

Con base al número de organismos muertos en la población expuesta, se determina el porcentaje de mortalidad respecto a un lote control de organismos mantenidos en forma paralela durante las 48 horas que dura el bioensayo, que regularmente presenta 100% de sobrevivencia al término de dicho período.

Los porcentajes de mortalidad obtenidos para una serie de diluciones, preparadas a partir de la muestra original, se relacionan gráficamente con la concentración correspondiente de la muestra y se construye un gráfico logarítmico que define la curva que explica el fenómeno. En esta curva puede ser interpolada la dosis que genera un porcentaje de efecto elegido y que en términos estándar es manejado al efecto medio o letalidad media (CE_{50} o Lc_{50}). En el siguiente Cuadro se presentan los resultados de toxicidad reportados por el IMTA.

Cuadro 4-12 Resultados de las pruebas de toxicidad aguda a *Vibrio fischeri*

Descarga	CE_{50} (%)	Unidades de Toxicidad Aguda (UT)
Parque Industrial San Jorge	TND	---
Descarga Celanese	TND	---
Plásticos Rex Cydsa	TND	---
PTARM Arandas	TND	---
Tequilera "José Cuervo"	TND	---
Tequilera C.D.C., S.A. de C.V.	TND	---

Capítulo 4 Análisis y evaluación de la información

Descarga	CE ₅₀ (%)	Unidades de Toxicidad Aguda (UT)
PTAR de Nestlé	88.3	1.1
Tequilera "El Edén" (arroyo + lixiviado vinazas)	57.1	1.8
Lixiviado Caabsa-Eagle	47.2	2.1
PTARM Juanacatlán	31.2	3.2
Descarga Municipal de Atotonilco en canal #1	19.3	5.2
Descarga de Granjas Taretan	19.1	5.2
Lixiviado Caabsa-Eagle, cerca de Venagen	14.6	6.8
Descarga Santorini	14.4	6.9
Descarga Municipal de Atotonilco en canal #2	14.0	7.1
Descarga Sach's Boge	12.4	8.1
Descarga AGyDSA	10.7	9.4
Descarga porcícola entre Santorini y GENPro	10.1	9.9
PTARM Fracc. Rancho Alegre	7.0	14.3
Tequilera "Destiladora Alteña"	5.7	17.4
Descarga Quimikao	4.7	21.1
Tequilera "Destiladora Juan Diego"	3.1	32.1
PTAR de CIBA	3.0	33.0
Descarga granja porcícola (Q arroyo + granja)	2.0	49.4
Descarga Venagen	1.5	66.7
Tequilera "La Alteña"	1.3	79.6
Descarga Porcícola GENPro	0.8	133.0

En el bioensayo con *Vibrio fischeri* las bacterias expuestas a la muestra de agua, de existir agentes tóxicos en ella, mostrarán cambios en la emisión normal de su luminosidad, reduciéndola en la medida en que la concentración y el efecto negativo de los tóxicos se incrementa. Con estos cambios de luminosidad, medidos con ayuda de un sensor (Equipo Microtox) y relacionándolos gráficamente a la concentración de la muestra se construye un gráfico logarítmico y la curva que explica el fenómeno, en ella

se interpola la dosis que genera un porcentaje de efecto elegido y que en términos estándar es el efecto medio (CE₅₀).

Una vez que se cuenta con el CE₅₀ se calculan las unidades de toxicidad, UT, con la siguiente ecuación:

$$UTA = \frac{100}{CE_{50}}$$

En el caso de que la muestra con la concentración al 100% afecte a un número menor que al 50% de los organismos, no se puede calcular el CE₅₀ y por lo tanto tampoco se pueden calcular las unidades de toxicidad. En este caso se reporta “presencia” de toxicidad.

El marco de referencia utilizado para evaluar los resultados de las pruebas de toxicidad se presenta en el Cuadro 4-13.

Cuadro 4-13 Escala de toxicidad aguda aplicable a aguas residuales (Institute for Inland Water Management & Waste Water Treatment of Nederland)

Clasificación	CE ₅₀ %	UT	No. De muestras
Toxicidad aguda elevada	≤ 0.99	> 100	1
Toxicidad aguda significativa	10 – 1.0	10 – 100	8
Toxicidad aguda moderada	51 – 10.1	2 – 10	10
Toxicidad aguda despreciable	99 - 52	1 - 2	2
Sin Toxicidad aguda	> 99.99	< 1	6

A continuación se comentan los resultados de las pruebas de toxicidad con base en la clasificación resultante de las Unidades de Toxicidad Aguda (UT) reportadas.

Toxicidad elevada

En una de las 27 pruebas efectuadas se reporta que la muestra tiene 133 Unidades de Toxicidad Aguda (UT), lo que la clasifica como de toxicidad aguda elevada. La muestra corresponde a la descarga de la granja porcícola, en la localidad de La Capilla, municipio de Ixtlahuacán de los Membrillos.

Toxicidad significativa

En ocho de las pruebas se reporta que las unidades de toxicidad de las muestras evaluadas están en el rango de 10 a 100 UT's, lo que les confiere la condición de Toxicidad significativa.

Las descargas que están en esta situación son dos industrias químicas: Quimikao y Ciba, la primera descarga al arroyo del Ahogado y la segunda al río Santiago; dos descargas de granjas porcícolas: Venagen y el Caballo Bayo, las dos situadas en Tololotlán y con descarga al río Santiago; tres descargas de industrias tequileras: "Destiladora Alteña", "Tequilera La Alteña" y "Destiladora Juan Diego", las dos primeras en Arandas, cuenca del río Zula, la última con descarga al arroyo la Laja, afluente del río Santiago.

En este grupo está la descarga de la planta de tratamiento del fraccionamiento Rancho Alegre, misma que de acuerdo a lo observado en las actividades de identificación y de muestreo tiene tiempo sin operar de manera adecuada.

Toxicidad moderada

En diez de las descargas de agua residual en que se evaluó la toxicidad, se reportan valores en el rango de 2 a 10 UT, por lo que se clasifican de Toxicidad moderada.

En esta situación están las dos descargas de lixiviados de la Planta Industrializadora de Caabsa Eagle que vierten al río Santiago aguas arriba de Tololotlán; también están las descargas de agua residual de las industrias Sach's Boge, Agydsa y Santorini, con vertido al arroyo del Ahogado, al río Santiago y al canal de Atequiza, respectivamente; nuevamente aparecen dos descargas de granjas porcícolas, una situada en La Alameda, y las Granjas Taretan, está con vertido a un arroyo afluente del río Zula; en las dos descargas de la cabecera municipal de Atotonilco el Alto, con vertido al río Zula, se registra toxicidad moderada, esta situación puede ser provocada por descargas de la industria tequilera conectadas al sistema de alcantarillado municipal; en el efluente tratado de la PTARM de Juanacatlán también se detectó toxicidad, ésta pudo haber sido ocasionada por el cloro que se aplica para desinfectar el agua tratada, ya que no se notificó al IMTA para que removiera el cloro residual antes de iniciar las pruebas.

El cloro residual está reconocido como un agente de fuerte toxicidad en los efluentes de las plantas de tratamiento, junto con el cloro amoniacal y las sustancias activas al azul de metileno (SAAM).

Toxicidad despreciable

Esta condición aplica en dos de las descargas evaluadas, con UT's en el rango de 1 a 2. Las descargas en cuestión son el efluente de la planta de tratamiento de Nestlé en Ocotlán y con vertido al río Santiago, así como un arroyo que capta las vinazas de la Tequilera El Edén, en la cabecera municipal de Arandas, y tributario del río Zula.

Toxicidad no detectada

Las descargas de agua residual en las que el reporte del IMTA indica Toxicidad No Detectada (TND) son las siguientes: Parque Industrial San Jorge, Descarga Celanese, Plásticos Rex Cydsa, PTARM Arandas, Tequilera "José Cuervo" y Tequilera C.D.C.

4.2.10 Calidad del agua de los ríos Zula y Santiago

Los parámetros de relevancia sanitaria usualmente utilizados como expresión general de la contaminación municipal son: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), bacterias coliformes fecales, oxígeno disuelto, así como los nutrientes en diversas formas.

Como marco de referencia para comparar y evaluar estos parámetros se consultó la normatividad de diversos países, habiéndose adaptado los criterios establecidos para dichos parámetros. En el Cuadro 4-14 se indican las concentraciones de referencia.

Cuadro 4-14 Clasificación del agua superficial de acuerdo a la concentración de contaminantes, adaptado de (L. Droste, 1997)

Parámetro	Excelente	Aceptable	Ligeramente contaminado	Contaminado	Severamente contaminado
DBO ₅ , mg/L	< 1.5	1.5 < 3.0	3.0 < 6.0	6.0 < 12.0	> 12.0
NTK, mg/L	< 0.5	< 1.0	1.1 – 5.0	5.1 – 9.9	> 10.0
Fósforo total, mg/L	< 0.05	< 0.10	< 0.50	< 1.0	> 1.0
SST, mg/L	< 20	20 < 40	40 < 100	100 < 280	> 280
Conductividad, µmhos/cm	< 500	< 1,000	1,000 – 1,500	1,500-2,000	> 2,000

Los resultados de calidad del agua de los dos eventos de muestreo efectuados en noviembre de 2006 en los ríos Zula y Santiago y en los arroyos Chico y del Ahogado se comparan y evalúan con respecto de los valores indicados en el cuadro precedente. En el Cuadro 4-14 se indican los valores promedio de muestreo para las 15 estaciones de monitoreo, posteriormente se efectúa la evaluación para cada parámetro.

Cuadro 4-15 Concentración promedio de contaminantes en las estaciones de monitoreo, mg/L a menos que se indique otra unidad

Nombre	Conductividad (µmhos/cm)	pH @ 25°C	Sol. Sedimentables (ml/L)	SST	Grasas y Aceites	DBO ₅	DQO	N Total	P Total
RZ, Santiaguito de Velázquez	229	7.35	0.10	5	5.1	2.9	45	2.27	0.48
RZ, Rinconada de Cristo	249	7.44	0.15	14	5.0	8.4	60	2.53	0.51

Capítulo 4 Análisis y evaluación de la información

Nombre	Conductividad (μ hos/cm)	pH @ 25°C	Sol. Sedimen tables (ml/L)	SST	Grasas y Aceites	DBO ₅	DQO	N Total	P Total
Rey									
RZ, El Dique/Palo Dulce	339	7.19	0.20	28	5.3	39.2	93	2.82	0.80
RZ, Paso de la Comunidad	304	7.31	0.15	13	5.8	11.9	77	2.09	0.57
RS, Cuitzeo	418	7.33	0.10	11	5.0	11.8	55	2.91	1.26
RS, San Luis del Agua Caliente	914	7.28	2.10	66	10.7	17.7	110	8.05	2.36
RS, Poncitlán, aguas abajo compuertas	935	7.39	27.60	357	5.2	72.3	219	8.66	6.03
RS, Presa Corona, aguas abajo compuertas	351	7.44	0.10	7	5.0	2.2	49	0.92	0.81
RS, Ex-hacienda de Zapotlanejo	848	7.53	0.10	10	5.0	4.2	53	2.78	1.83
RS, Aguas arriba de El Ahogado	1,592	7.59	0.10	10	59.0	52.0	144	28.10	8.15
RS, Aguas abajo de El Ahogado	1,245	7.54	0.15	29	9.8	42.9	126	23.65	7.15
RS, Tololotlán	1,019	7.83	0.10	12	5.0	10.2	85	13.65	5.37
RS, Puente de Matatlán	907	7.83	0.10	11	5.0	13.2	69	8.99	6.09

RZ = Río Zula; RS = Río Santiago.

Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)

La concentración promedio de NTK en el río Zula y arroyo Chico se observa muy homogénea, en el rango de 1.41 a 2.82 mg/L, con el valor más alto en el sitio El Dique, (Aguas debajo de Atotonilco) y la menor concentración en el Arroyo Chico. Con base en el marco de referencia establecido, en términos de su contenido de NTK, el río Zula y el arroyo Chico clasifican como ríos “Ligeramente contaminados”.

Se observa una tendencia de ligero incremento en la concentración de NTK a lo largo del río, mostrando ligera disminución Aguas abajo del aporte del arroyo Chico.

La concentración promedio de NTK en el río Santiago está en el rango de 0.92 a 23.65 mg/L, con mínimo y máximo en San Luis del Agua Caliente y Aguas abajo del arroyo del Ahogado, respectivamente.

Capítulo 4 Análisis y evaluación de la información

En las tres estaciones iniciales de su recorrido el río Santiago muestra fuerte incremento en el contenido de NTK, pasando de 2.91 a 8.66 mg/L, en gran medida ocasionado por los vertidos de agua residual cruda y tratada de la zona urbana e industrial de Ocotlán; en la Presa Corona, el río acusa un fuerte descenso al bajar a 0.92 mg/l, para iniciar un incremento en su concentración al alcanzar su máximo en la zona aledaña al arroyo del Ahogado, ya que las estaciones situada Aguas arriba y Aguas abajo tienen concentraciones de 28.1 y 23.6 mg/L, respectivamente. El Arroyo del Ahogado es sin duda la fuente de aportación principal, ya que tiene una concentración promedio de 23.2 mg/L. Al continuar su recorrido el río Santiago registra un moderado descenso en la concentración de NTK, con valores de 13.65 y 8.99 mg/l, en Tololotlán y Matatlán, respectivamente.

Cuadro 4-16 Clasificación de la calidad del agua del río Zula y Santiago de acuerdo al parámetro evaluado

Estación	Conductividad	SST	DBO	Nitrógeno total	Fósforo total
RZ, Santiaguito de Velázquez	Excelente	Excelente	Aceptable	Ligeramente contaminado	Ligeramente contaminado
RZ, Rinconada de Cristo Rey	Excelente	Excelente	Contaminado	Ligeramente contaminado	Contaminado
RZ, El Dique/Palo Dulce	Excelente	Aceptable	Severamente contaminado	Ligeramente contaminado	Contaminado
Arroyo Chico	Excelente	Excelente	Aceptable	Ligeramente contaminado	Contaminado
RZ, Paso de la Comunidad	Excelente	Excelente	Contaminado	Ligeramente contaminado	Contaminado
RS, Cuitzeo	Excelente	Excelente	Contaminado	Ligeramente contaminado	Severamente contaminado
RS, San Luis del Agua Caliente	Aceptable	Ligeramente contaminado	Severamente contaminado	Contaminado	Severamente contaminado
RS, Poncitlán, aguas abajo compuertas	Aceptable	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Contaminado	Severamente contaminado
RS, Presa Corona, aguas abajo compuertas	Excelente	Excelente	Aceptable	Aceptable	Contaminado
RS, Ex-hacienda de Zapotlanejo	Aceptable	Excelente	Ligeramente contaminado	Ligeramente contaminado	Severamente contaminado
RS, Aguas arriba de El Ahogado	Contaminado	Excelente	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado
Arroyo del Ahogado	Ligeramente contaminado	Ligeramente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado
RS, Aguas abajo de El	Ligeramente contaminado	Aceptable	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado

Capítulo 4 Análisis y evaluación de la información

Estación	Conductividad	SST	DBO	Nitrógeno total	Fósforo total
Ahogado					
RS, Tololotlán	Ligeramente contaminado	Excelente	Contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado
RS, Puente de Matatlán	Aceptable	Excelente	Severamente contaminado	Contaminado	Severamente contaminado

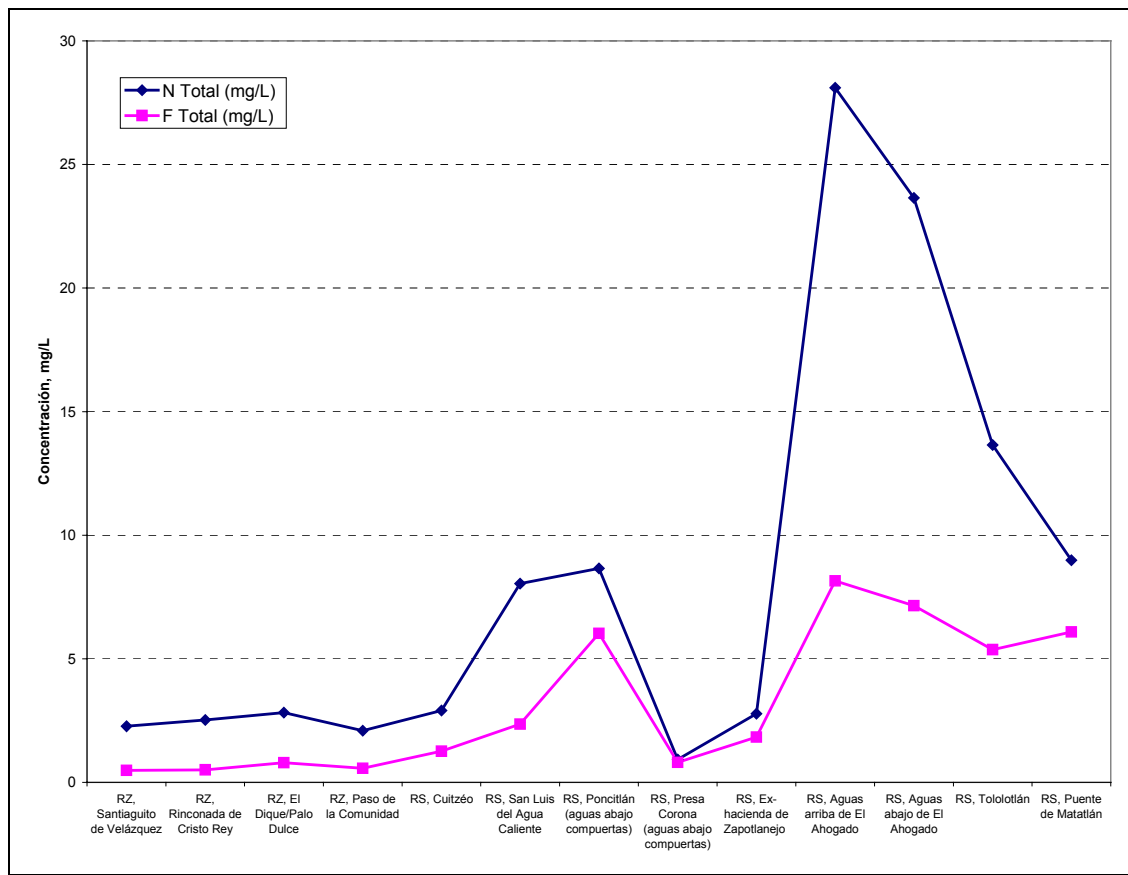
Fósforo total

En el río Zula y Arroyo Chico se tienen concentraciones promedio de 0.48 a 0.80 mg/L, con mínimo y máximo en Santiaguito de Velázquez y en El Dique, respectivamente. Acorde al marco de referencia, en la primer estación el río clasifica como “Ligeramente contaminado”, y como “Contaminado” en las restantes cuatro estaciones de monitoreo.

De manera similar al NTK, el fósforo muestra un incremento gradual a lo largo del recorrido del río Zula, con ligera disminución después de recibir el aporte del arroyo Chico, al pasar de 0.80 a 0.57 mg/L.

En el río Santiago, el fósforo inicia en Cuitzeo con 1.26 mg/L subiendo gradualmente hasta a 6.03 mg/l en Poncitlán, mostrando al igual que el Nitrógeno, una fuerte disminución en Presa Corona, para incrementar su contenido hasta un pico de 8.15 mg/l Aguas arriba del arroyo del Ahogado, mostrando una evolución no uniforme en el tramo aguas abajo del Ahogado y el puente Matatlán, con valores en el rango de 5.37 a 7.15 mg/L.

Figura 4-1 Concentración de Nitrógeno y Fósforo en el río Zula y Santiago



Con excepción de la estación Presa Corona, en los restantes ocho sitios evaluados, el río Santiago se clasifica como “Severamente contaminado”, en términos de su concentración de Fósforo.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

El contenido promedio de materia orgánica, medida como DBO, en el río Zula está en el rango de 2.9 a 39.2 mg/L. La mejor calidad es en Santiaguito de Velázquez, con 2.9 mg/L, al igual que en el arroyo Chico, mientras que el mayor deterioro se observa en El Dique, con 39 mg/L. El río Zula muestra un incremento gradual en el contenido de DBO₅, con sensible disminución aguas debajo de la confluencia del arroyo Chico.

En cuanto a la clasificación del río Zula, en dos de las estaciones su calidad es “Aceptable”, en dos estaciones está “Contaminado” y en otra está “Severamente contaminado”.

En el río Santiago, la DBO muestra mayor concentración y variación, con mínimo y máximo de 2.2 mg/l y 52 mg/L, en Presa Corona y Aguas arriba del Ahogado, respectivamente. La evolución de la DBO en el río Santiago muestra un patrón igual al de Fósforo; incremento de concentración y pico máximo en Poncitlán, disminución en

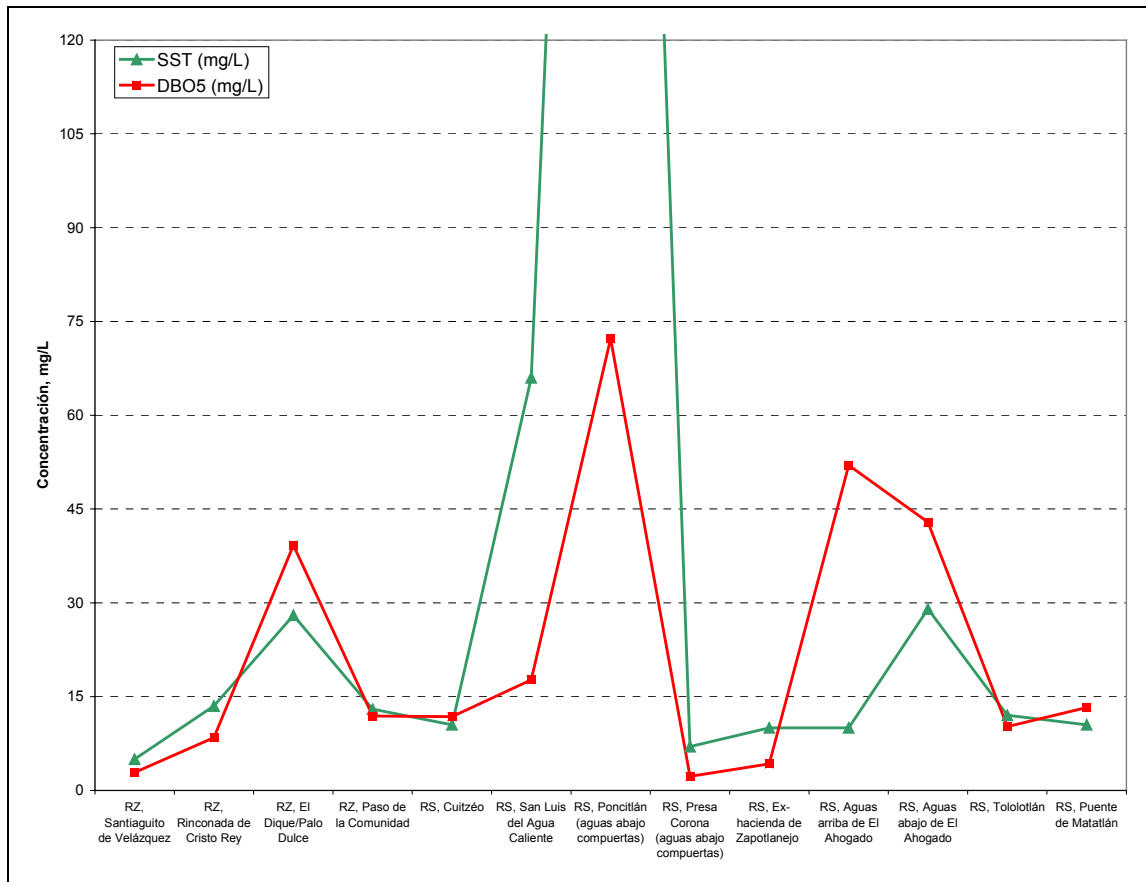
Presas Corona y nuevo pico Aguas arriba del ahogado, para descenso fuerte y no uniforme en el tramo final evaluado.

En 5 de las 9 estaciones, el Santiago está clasificado como “Severamente contaminado”, en dos estaciones como “Contaminado”, en una estación como “Ligeramente contaminado” y de calidad “Aceptable”, en otra.

Sólidos Suspendidos Totales

La contaminación del agua de los ríos Zula y Santiago no se manifiesta en forma de sólidos suspendidos, en 12 de las 15 estaciones de monitoreo incluidos los arroyos, la corriente se clasifica con calidad “Excelente” o “Aceptable”; en la estación Poncitlán se tiene una concentración sumamente elevada, de 357 mg/L, en que aplica el criterio de “Severamente contaminado”, mientras que el Santiago en San Luis del Agua Caliente y el arroyo del Ahogado califican como “Ligeramente contaminado”. El contenido promedio de SST en las restantes 14 estaciones está en el rango de 5 a 66 mg/L.

Figura 4-2 Concentración de SST y DBO₅ en el río Zula y Santiago



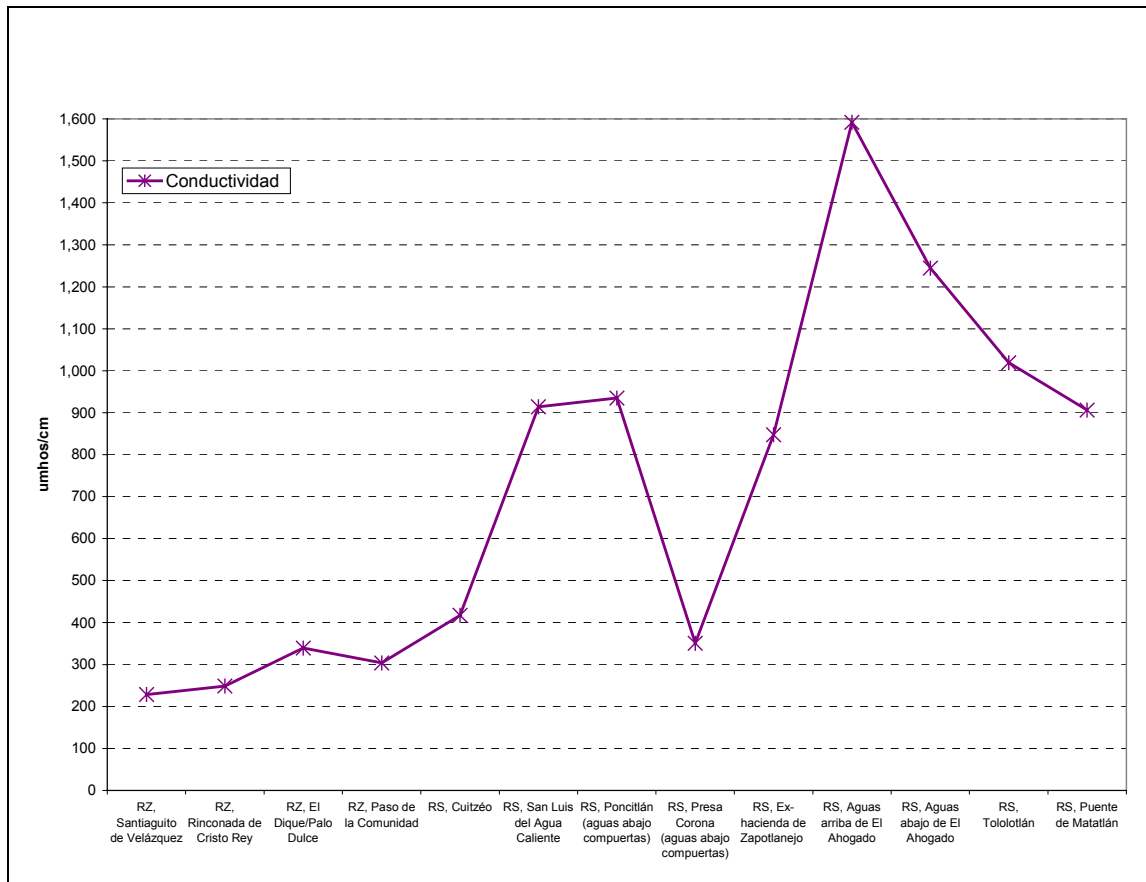
Conductividad específica

El contenido de sólidos disueltos en los ríos Zula, Santiago y arroyos afluentes es en general favorable, 11 de las 15 estaciones califican con el criterio de Excelente y Aceptable. El río Santiago aguas arriba del Ahogado tiene criterio de “Contaminado”, mientras que el arroyo del Ahogado, y en el Santiago aguas abajo del Ahogado y en Tololotlán, califican como “Ligeramente contaminado”.

El río Zula y Arroyo Chico tienen valores promedio menores a 350 $\mu\text{mhos/cm}$ en las cinco estaciones de monitoreo.

El río Santiago inicia con 418 $\mu\text{mhos/cm}$ en Cuitzeo y finaliza con 907 $\mu\text{mhos/cm}$ en Matatlán; con valores mínimo y máximo de 351 y 1,592 $\mu\text{mhos/cm}$ en Presa Corona y Aguas arriba del Ahogado, respectivamente.

Figura 4-3 Conductividad específica en el río Zula y Santiago



4.2.11 Toxicidad aguda en los ríos Zula y Santiago

Se efectuaron pruebas de toxicidad aguda con *Vibrio fischeri* en las 15 estaciones de monitoreo de los ríos Zula, Santiago y en los arroyos del Ahogado y Chico. Se efectuaron dos rondas de muestreo el mes de noviembre de 2006. De la estación Río Santiago aguas arriba de El Ahogado se tiene sólo un dato, debido a que en la 1ª ronda no fue posible acceder al sitio. En el Cuadro 4-17 se presentan los resultados reportados por el IMTA.

Cuadro 4-17 Resultados de las pruebas de toxicidad en el río Zula y Santiago, (1ª campaña / 2ª campaña)

Estación	Toxicidad <i>Vibrio fischeri</i>	
	CE ₅₀ (%)	Unidades de Toxicidad, UT
RZ, Santiaguito de Velázquez	TND/TND	---/---
RZ, Rinconada de Cristo Rey	TND/TND	---/---
RZ, El Dique/Palo Dulce	TND / 16.9	--- / 5.9
Arroyo Chico en Ríos de Ruiz (aguas abajo de Tototlán)	TND/TND	---/---
RZ, Paso de la Comunidad	TND/TND	---/---
RS, Cuitzeo	5.2 / 45.5	19.1 / 2.2
RS, San Luis del Agua Caliente	13.9 / 62.1	7.2 / 1.6
RS, Poncitlán (aguas debajo de compuertas)	TND/TND	---/---
RS, Presa Corona (aguas debajo de compuertas)	TND/TND	---/---
RS, Ex-hacienda de Zapotlanejo	TND/TND	---/---
RS, Aguas arriba de El Ahogado	7.3	13.6
Arroyo El Ahogado en el Muelle	6.3 / 5.0	15.8 / 19.8
RS, Aguas abajo del Arroyo El Ahogado	29.6 / 28.5	3.4 / 3.5
RS, Tololotlán	TND/TND	---/---
RS, Puente de Matatlán	TND/TND	---/---

TND = Toxicidad No Detectada

Los resultados de las pruebas de toxicidad aguda reportados por el IMTA señalan que en 9 de las 15 estaciones no se detectó toxicidad en ninguna de las dos rondas de muestreo; en 2 estaciones de monitoreo se reporta toxicidad en un evento, mientras que en 4 estaciones la toxicidad estuvo presente en ambas rondas de muestreo.

En el sitio Río Zula en Palo Dulce se reportan 5.9 UT en la segunda ronda de muestreo, este valor lo clasifica con Toxicidad aguda significativa. La estación está situada aguas abajo de la cabecera municipal de Atotonilco el Alto, por lo que la toxicidad detectada puede ser ocasionada por los vertidos de las industrias tequileras y las granjas porcícolas, ya que ambas actividades se desarrollan intensamente en la cuenca aguas arriba del sitio, aunado a que en las descargas municipales de Atotonilco también se detectó toxicidad.

En el río Santiago se detectó toxicidad en las dos rondas en dos estaciones de monitoreo continuas: en Cuitzeo y en San Luis del Agua Caliente. Se observa un comportamiento similar, en la estación situada aguas abajo la toxicidad es inferior a la de la estación precedente y, en la segunda ronda las unidades reportadas son menores a las de la primera ronda.

En Cuitzeo se tiene una condición de toxicidad aguda moderada en la primera y segunda ronda, respectivamente; en San Luis del Agua Caliente la condición es de toxicidad moderada y de toxicidad despreciable, respectivamente.

La situación en el tramo Cuitzeo – San Luis puede ser provocada por las condiciones de estancamiento que prevalecen en el río Santiago. Las compuertas que regulan los ríos Zula y Santiago ocasionan que el agua del río Santiago permanezca estática, acumulando los contaminantes y toxicidad aportados por el Zula, a lo que se suman los vertidos de agua residual municipal cruda y tratada que vierte la zona urbana de Ocotlán, aunado a las diversas industrias asentadas en Ocotlán y que vierten sus aguas, crudas o tratadas, al río Santiago.

En el arroyo del Ahogado se detectó toxicidad en ambas rondas de muestreo, las UT reportadas son similares y elevadas, 15.8 y 19.8 unidades en la primera y segunda ronda, respectivamente, por lo que aplica el criterio de toxicidad significativa. Los vertidos de agua residual de las múltiples industrias asentadas en la margen izquierda de la presa del Ahogado, así como las situadas aguas debajo de la presa, son los probables causantes de esta desfavorable condición de las aguas conducidas por el arroyo.

Como resultado del aporte de las aguas con toxicidad del arroyo del ahogado, el río Santiago muestra aguas debajo de la confluencia condiciones de toxicidad moderada, con valores de 3.4 y 3.5 UT, en la primera y segunda ronda, respectivamente.

Llama la atención, la toxicidad que se reporta en el río Santiago en la segunda ronda, única ocasión en que se caracterizó dicho sitio, el valor de 13.6 UT es similar el del arroyo del Ahogado. En virtud de que el río Santiago está parcialmente regulado por la presa y compuertas de El Salto, la velocidad del agua del río en el sitio en que confluye el arroyo del Ahogado es en extremo lenta, por lo que al parecer la contaminación y toxicidad portada por el Ahogado forman una pluma que se difunde hacia aguas arriba de la confluencia.

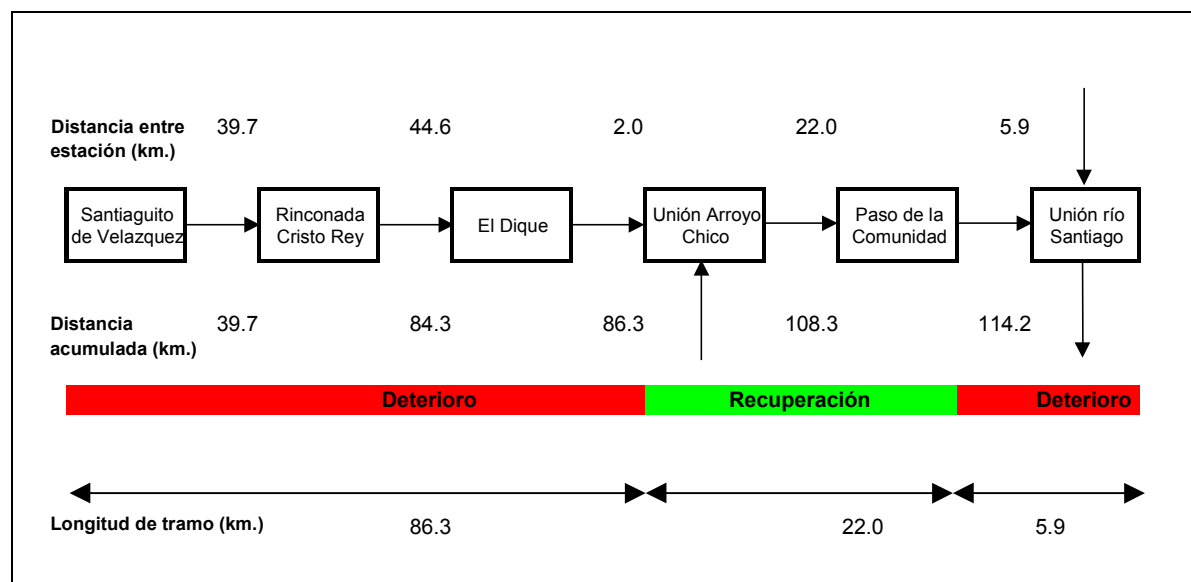
4.3 EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS ZULA Y SANTIAGO A LO LARGO DE SU RECORRIDO

4.3.1 Río Zula

En la parte alta de su recorrido, el río Zula muestra una calidad de agua aceptable, si bien su contenido de nutrientes acusa ligera contaminación. A partir de ahí el deterioro de la calidad del agua es gradual y constante, ver Figura 4-5. El deterioro es provocado principalmente por los vertidos de la industria tequilera y por las aguas residuales de la cabecera municipal de Arandas, tanto las tratadas como las crudas, estas últimas a través del arroyo Colorado, ya que durante las diversas visitas se constató que el cárcamo que debería enviar las aguas residuales a la PTAR no estaba en operación.

El deterioro del Zula se acentúa al pasar el río por la cabecera municipal de Atotonilco, ya que dicha localidad vertía, al momento de los trabajos de campo, sus aguas residuales crudas, aunado a los vertidos de industrias tequileras y de las diversas granjas porcícolas asentadas en la zona aledaña a Atotonilco, y a lo largo de la carretera a Tototlán. Consistente con esta situación de mayor deterioro, aguas debajo de Atotonilco fue el único sitio en el río Zula en que se detectó toxicidad, en uno de los dos eventos, de grado moderado. El resultado de toxicidad refuerza la sospecha de que ésta tiene su origen en los vertidos de las instalaciones tequileras y pecuarias, ya que en 10 de las 13 pruebas efectuadas en las descargas de dichas instalaciones se detectó toxicidad.

Figura 4-4 Esquema del río Zula y tramos de deterioro y recuperación de la calidad del agua



El curso inferior del río Zula muestra moderada recuperación en la calidad del agua, a la que contribuye la regular calidad de agua del arroyo Chico. Esta recuperación es insuficiente ya que al llegar el río Zula a la zona urbana de Ocotlán, su contenido de DBO y Fósforo denota contaminación.

El cambio más dramático entre la calidad del agua del curso alto y bajo del río Zula se da en la concentración de DBO, que se cuatriplica, al pasar de 2.9 a 11.9 mg/L.

4.3.2 Río Santiago

En el río Santiago se identifican dos tramos de deterioro de la calidad del agua, así como dos tramos de recuperación de la calidad del agua, ver el esquema que se muestra en la Figura 4-5.

El primer tramo de deterioro está delimitado por las estaciones Cuitzeo y Poncitlán, en este tramo de 21 km. de longitud, la calidad del agua del río Santiago muestra una fuerte degradación, alcanzando su pico en Poncitlán, donde tiene las concentraciones más elevadas de SST y DBO del tramo de estudio. En este tramo se manifiesta un fuerte incremento en la conductividad específica, ya que en Cuitzeo se tienen 418 $\mu\text{mhos/cm}$, mientras que en San Luis del Agua Caliente y Poncitlán el valor promedio se incrementa a 914 y 935 $\mu\text{mhos/cm}$, respectivamente; este deterioro es provocado por los vertidos de las industrias aledañas a la zona urbana de Ocotlán.

El deterioro del primer subtramo del río Santiago también se manifiesta en la Toxicidad del agua, aunque a diferencia de otros contaminantes que incrementan su concentración al avanzar el río hacia aguas abajo, la toxicidad muestra una disminución. En Cuitzeo se detectan los valores de toxicidad más altos de este subtramo, posteriormente en San Luis del Agua Caliente la toxicidad se detecta en menor grado que en la estación previa, en tanto que en Poncitlán ya no se detectó toxicidad en ningún evento.

En la estación Presa Corona, situada a 20 km. de Poncitlán, el río Santiago muestra una significativa recuperación en la calidad de sus aguas, de hecho es este el sitio de mejor calidad del agua de todo el tramo motivo de estudio. Los factores que ocasionan esta recuperación son: autodepuración provocada por el flujo libre del río sin estructuras de regulación, bajo volumen de descarga de aguas residuales sin tratamiento; aunado a que las malezas acuáticas, en especial lirio, que cubren el espejo de agua en buena parte de su recorrido, asimilan parte de los contaminantes, en especial Nitrógeno y Fósforo, con baja concentración al salir de presa Corona.

El segundo tramo de deterioro del río Santiago ocurre entre Presa Corona y el arroyo del Ahogado, en este tramo de 20 km. el río nuevamente muestra una degradación gradual que alcanza su máximo en las estaciones Aguas arriba y Aguas abajo del arroyo del Ahogado. En ambas estaciones, afectadas fuertemente por el aporte de contaminantes del arroyo del Ahogado, el Santiago acusa un deterioro severo, y la calidad de sus aguas es similar a la de un efluente de un sistema de tratamiento y no a la de un río.

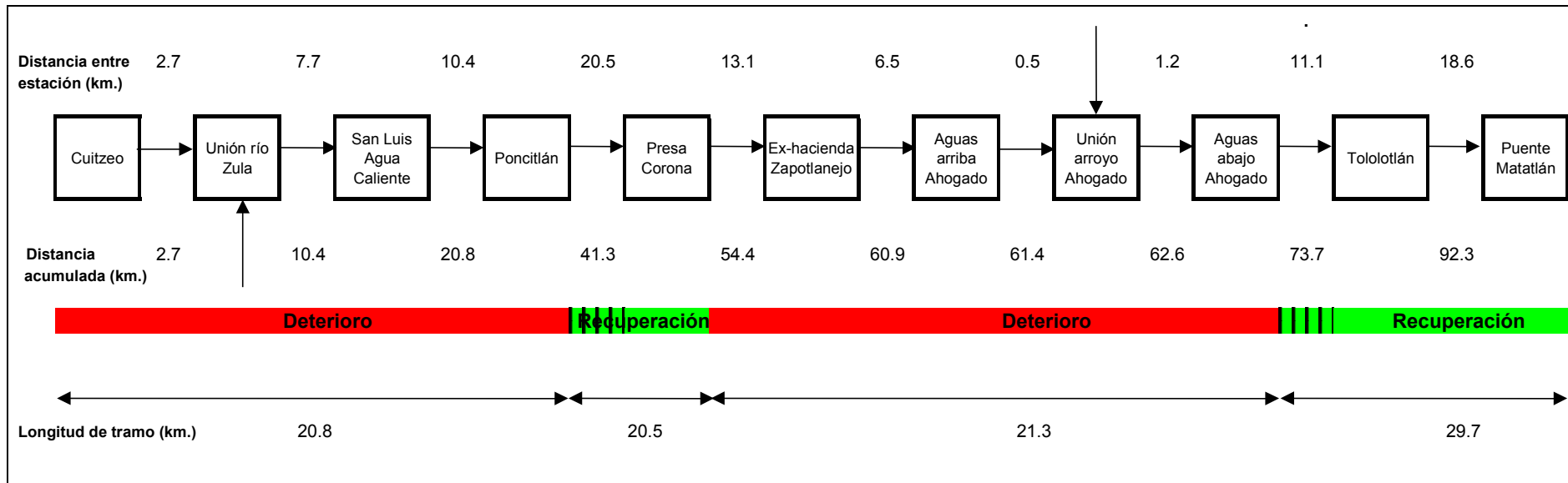
Aquí se tienen las concentraciones más altas de Nitrógeno, Fósforo, Conductividad y Grasas y aceites del tramo de estudio, mientras que la DBO es de 43 y 52 mg/L.

El segundo tramo de recuperación de la calidad del agua del río Santiago se manifiesta en las dos estaciones situadas a continuación de la denominada “Aguas abajo del Ahogado”. En el tramo de 19 km. entre las estaciones Tololotlán y Puente Matatlán, el río Santiago muestra una mejoría gradual, aunque no uniforme, ya que si bien todos los contaminantes evaluados disminuyen significativamente con respecto de los valores Aguas abajo del Ahogado, la DBO y el Fósforo son más altos en Matatlán que en Tololotlán.

Esta situación es provocada por los diversos aportes de contaminación al río Santiago, los que revierten parcialmente la buena autodepuración que el Santiago tiene en dicho tramo. Los aportes de contaminación son, de mayor a menor, las descargas de agua residual cruda de Tonalá en la margen izquierda del Santiago; el arroyo La Laja, con instalaciones pecuarias y tequileras en la subcuenca, así como el río Zapotlanejo, los dos últimos por la margen derecha del Santiago.

La condición de recuperación del último tramo se refuerza por los resultados de las pruebas de Toxicidad; mientras que en la estación Aguas abajo del Ahogado en la primera y segunda ronda se tuvieron valores de 3.4 y 3.5 UT, en las estaciones Tololotlán y Puente Matatlán ya no se detectó toxicidad en ningún evento de muestreo.

Figura 4-5 Esquema del río Santiago y tramos de deterioro y recuperación de la calidad del agua



4.3.3 Arroyo del Ahogado

El arroyo del Ahogado es, en la situación actual, la principal fuente de contaminación del río Santiago, el caudal aforado en la localidad de El Muelle fue de 5.7 y 2.7 m³/seg en el primero y segundo muestreo, respectivamente.

La concentración promedio de DBO₅ en el arroyo era de 45 mg/L, similar a la de un efluente secundario, sin embargo el alto volumen descargado al Santiago resulta en la aportación equivalente a las aguas residuales crudas de una población de 230,000 habitantes. Más dramática es la situación del Nitrógeno y Fósforo, ya que la “población equivalente” que aporta el Ahogado al río Santiago es de 575,000 y 700,000 habitantes, respectivamente.

La conductividad específica del agua del arroyo del Ahogado (935 y 1,472 µmhos/cm en la primera y segunda ronda, respectivamente) es indicativa del aporte de aguas residuales crudas y tratadas de origen industrial que se vierten al arroyo o a la presa del mismo nombre.

Respecto de la Toxicidad, el arroyo del Ahogado registra los valores más elevados y constantes de las muestras que se detectó toxicidad aguda con la prueba de *Vibrio fischeri*. Las unidades de toxicidad de 15.8 y 19.9 en la primera y segunda ronda, respectivamente, indican que la toxicidad del agua del arroyo es “Significativa”.