

Sección 6

Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

CONTENIDO E ÍNDICES

6.1	ALCANCES	6-1
6.2	CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN	6-1
6.3	PROGRAMA DE ACCIONES.....	6-11
6.3.1	Monitoreo de la Calidad del Agua Superficial.....	6-11
6.3.2	Monitoreo de las Descargas Puntuales de Agua Residual.....	6-12
6.3.3	Notificación a la Autoridad Federal.....	6-13
6.3.4	Aguas Residuales Municipales.....	6-13
6.3.5	Condiciones Particulares de Descarga.....	6-18
6.3.6	Intercambio de Efluente	6-19
6.3.7	Descargas de Actividades Pecuarias	6-21
6.3.8	Descargas de las Granjas Porcícolas	6-23
6.3.9	Estimación de la Generación y Descarga de Contaminantes de Granjas Porcícolas no Caracterizadas.....	6-27
6.3.10	Manejo y Tratamiento Adecuado de las Excretas y Residuos Líquidos de las Granjas Porcícolas	6-31
6.4	CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS ACCIONES DE SANEAMIENTO Y MANEJO	6-41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6-1	Volumen y Masa de Contaminantes Vertido por las Descargas Caracterizadas.....	6-2
Tabla 6-2	Descargas de DBO con Población Equivalente Mayor a 2,500 Habitantes	6-5
Tabla 6-3	Descargas de SST con Población Equivalente Mayor a 2,500 Habitantes	6-6
Tabla 6-4	Descargas de NTK con Población Equivalente Mayor a 2,500 Habitantes.....	6-7
Tabla 6-5	Descargas de Fósforo con Población Equivalente Mayor a 2,500 Habitantes.....	6-8
Tabla 6-6	Clasificación de las Descargas por el número de parámetros que exceden la P. E. de 2,500 habitantes	6-9
Tabla 6-7	Localidades Mayores a 2,000 Habitantes sin Infraestructura de Tratamiento	6-16
Tabla 6-8	Generación y Descarga de Nitrógeno y Fósforo por Fuentes Municipales, ton/año.....	6-17
Tabla 6-9	Estimación de la Masa Removida Adicional de Nitrógeno y Fósforo	6-21
Tabla 6-10	Población Pecuaria en las Regiones Altos Norte y Altos Sur, cabezas y	6-22
Tabla 6-11	Características de las Descargas de Agua Residual de las Granjas Porcícolas Caracterizadas, mg/l a Menos que se Indique otra Unidad	6-27
Tabla 6-12	Estimación de Contaminantes Generados en Granjas Porcícolas, Inventario SEMADES.....	6-28
Tabla 6-13	Concentración de Contaminantes para Distintos Niveles de Tratamiento en Efluentes de Granjas Porcícolas, mg/L.....	6-29
Tabla 6-14	Estimación Preliminar de los Contaminantes Descargados por las Granjas Porcícolas del Inventario de SEMADES	6-29
Tabla 6-15	Estimación Preliminar de los Contaminantes Aportados a los Cuerpos Receptores por las Granjas Porcícolas del Inventario de SEMADES.....	6-30
Tabla 6-16	Concentración de Contaminantes en Efluente Sobrenadante de Laguna Anaerobia.....	6-33
Tabla 6-17	Predimensionamiento de Lagunas Aerobias	6-35

Tabla 6-18 Dimensionamiento Preliminar de Wetland, Tamaño de Granja de 3,850 UPA's 6-37
Tabla 6-19 Tamaño de Granjas Porcícolas y Plazo de Cumplimiento 6-39
Tabla 6-20 Calendarización de las Acciones de Saneamiento y Manejo Propuestas 6-42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 6-1 Laguna de tratamiento de aguas residuales de Mexxicacán 6-14
Figura 6-2 Aguas residuales municipales de Capilla de Guadalupe sin ingresar a la planta de tratamiento 6-14
Figura 6-3 Derivación de Agua Residual Cruda de la PTAR de Tepatitlán al río Tepatitlán 6-15
Figura 6-4 Impacto en el Cuerpo Receptor de Descarga de Granja Porcina 6-24
Figura 6-5 Aplicación en Riego Agrícola de Efluente de Laguna de Estabilización 6-25
Figura 6-6 Excedente de Riego Agrícola Descargado al Río Tepatitlán 6-25
Figura 6-7 Aplicación al Terreno de Efluente de Granja Porcina 6-26
Figura 6-8 Canal Efluente de Granja Porcícola hacia el Cuerpo Receptor 6-26
Figura 6-9 Variación de la P. E. generada, descargada y aportada por las granjas porcícolas 6-30
Figura 6-10 Masa Diaria Aportada y Población Equivalente de las Localidades Mayores a 1,000 Habitantes y Granjas Porcícolas Inventario SEMADES 6-31

Sección 6

Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

6.1 ALCANCES

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

- Evaluar conjuntamente la información de calidad de agua junto con información complementaria con el fin de clasificar y jerarquizar las descargas de agua residual en función del impacto que ocasionan en la calidad del agua del río Verde.
- Para cada una de las descargas jerarquizadas proponer las acciones de infraestructura o de manejo para revertir el deterioro que ahora se manifiesta en los río Verde.
- Elaborar una propuesta de cronograma de implementación de las acciones propuestas para revertir el deterioro, identificando las acciones urgentes de ejecutar, así como las de mediano y largo plazo.

6.2 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Para definir cuales son las fuentes puntuales de contaminación que mayor impacto ocasionan en los cuerpos receptores de la cuenca del río Verde, se efectuó el cálculo de la masa de contaminantes vertidos. Para cada descarga se estimó la masa de SST, DQO, Nitrógeno total Kjeldahl y Fósforo total, con base en los resultados de análisis de laboratorio. Con el fin de hacer más completa la evaluación, se incluyeron las descargas de agua residual de todas las descargas de aguas residuales con población mayor a 1,000 habitantes en el año 2005.

La masa de contaminantes vertida por las descargas municipales se estimó con base en los factores de aportación per cápita, que a continuación se indican¹:

- SST, 65 g/hab-día
- DBO, 60 g/hab-día
- DQO, 110 g/hab-d
- Nitrógeno total, 13 g/hab-día
- Fósforo total, 3 g/hab-día

En la **Tabla 6-1** se presentan los resultados de la estimación de la masa diaria de contaminantes vertida por las descargas caracterizadas, así como la estimada para las descargas municipales.

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

Tabla 6-1 Volumen y Masa de Contaminantes Vertido por las Descargas Caracterizadas

Nombre	Tipo	Caudal (L/s)	Masa Descargada (kg/d) DBO	Masa Descargada (kg/d) SST	Masa Descargada (kg/d) DQO	Masa Descargada (kg/d) NTK	Masa Descargada (kg/d) P _{Total}
Lagos de Moreno	Municipal	214.6	5,099	6,027	10,199	1,205	102
Tepatitlán de Morelos	Municipal	192.1	4,564	5,393	9,127	1,079	91
San Juan de los Lagos	Municipal	89.6	2,365	2,795	4,730	559	47
Granja porcícola No. 2 en La Cofradía	Pecuaria	3.9	1,918	2,109	3,865	246	59.9
Granja porcícola Sanfandila	Pecuaria	5.9	1,611	1,569	5,314	451	134.7
Encarnación de Díaz	Municipal	47.7	1,260	1,489	2,519	298	25
Teocaltiche	Municipal	45.1	1,191	1,408	2,383	282	24
Jalostotitlán	Municipal	45.1	1,191	1,408	2,382	282	24
San Miguel el Alto	Municipal	43.9	1,159	1,370	2,319	274	23
Granja porcícola El Mayoral	Pecuaria	2.2	1,096	2,578	2,408	207	75.6
Industria Bachoco	Industrial	4.0	1,039	280	1,341	67	9.1
Granja porcícola No.1 en La Cofradía	Pecuaria	7.2	1,005	9.3	1,764	274	51.0
Industria L. de M.	Industrial	6.9	878	212	1,648	33	29.7
AVIBEL, Pque. Ind. Los Altos	Industrial	7.2	864	53	1,749	80	6.3
Yahualica de González Gallo	Municipal	26.4	785	927	1,569	185	16
Villa Hidalgo	Municipal	25.5	758	896	1,516	179	15
Granja porcícola No. 2 en San José del Potrero	Pecuaria	7.9	738	55	1,702	229	63.7
Granja porcícola Sanfandila en Dieciocho de Marzo	Pecuaria	1.4	718	409	1,640	125	37.8
Capilla de Guadalupe	Municipal	23.1	687	812	1,375	162	14
Granja porcícola en San José	Pecuaria	1.5	659	283	1,894	153	53.7
San Julián	Municipal	20.5	610	721	1,221	144	12
Acatic	Municipal	19.3	573	677	1,145	135	11
Unión de San Antonio	Municipal	10.8	367	433	733	87	7.3
Bajío de San José	Municipal	6.0	205	242	409	48	4.1
Mexticacán	Municipal	5.7	193	229	387	46	3.8
Paso de Cuarenta	Municipal	5.7	192	227	385	45	3.8
Pegueros	Municipal	5.2	175	207	351	41	3.5
Nestlé, Parque Industrial Lagos de Moreno	Industrial	1.6	173	24	342	5.4	3.2

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

Nombre	Tipo	Caudal (L/s)	Masa Descargada (kg/d) DBO	Masa Descargada (kg/d) SST	Masa Descargada (kg/d) DQO	Masa Descargada (kg/d) NTK	Masa Descargada (kg/d) P _{Total}
Cañadas de Obregón	Municipal	3.4	137	161	273	32	2.7
Mesón de los Sauces	Municipal	3.4	136	161	272	32	2.7
Mechoacanejo	Municipal	3.3	131	155	263	31	2.6
Belén del Refugio	Municipal	3.3	129	153	259	31	2.6
Industria Sigma Alimentos	Industrial	12.8	129	46	266	5.4	71.4
Col. Sta Cecilia (La Saucedá)	Municipal	3.1	121	143	242	29	2.4
Granja porcícola, costado A. Los Ranchos	Pecuaria	5.6	120	15	1,038	401	24.6
Granja porcícola Sanfandila, San Luis Gonzaga	Pecuaria	0.1	115	126	206	10	10.3
Los Azulitos	Municipal	2.9	115	136	230	27	2.3
El Tecuán	Municipal	2.9	113	134	226	27	2.3
Granja porcícola No.1, San José del Potrero	Pecuaria	7.7	105	152	381	146	42.9
Chinampas	Municipal	2.6	102	121	205	24	2.0
Coca Cola	Industrial	1.4	102	4.0	192	0.7	2.5
Mezcala	Municipal	2.6	101	120	202	24	2.0
PTAR Rastro y Cereso Tepatitlán	Municipal	1.8	92	73	206	32	2.8
San Sebastián del Alamo	Municipal	2.3	92	109	185	22	1.8
El Puesto	Municipal	2.3	90	106	180	21	1.8
San Antonio de los Vázquez	Municipal	2.2	89	105	178	21	1.8
Betulia	Municipal	2.2	87	103	175	21	1.7
Trejos	Municipal	2.0	81	96	162	19	1.6
Tepusco	Municipal	1.9	75	89	150	18	1.5
Granja porcícola Los Planes	Pecuaria	1.5	74	320	453	143	14.1
Granja porcícola GENA La Estancia #4 ampliación	Pecuaria	15.2	74	231	173	43	3.4
Santa María Transpontina	Municipal	1.8	73	86	146	17	1.5
Manalisco	Municipal	1.8	72	85	145	17	1.4
Fco Primo de Verdad (Ciénega de Mata)	Municipal	1.8	72	85	144	17	1.4
Granja porcícola No.2 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	Pecuaria	2.4	70	161	328	271	24.1
La Paz	Municipal	1.8	70	82	139	16	1.4

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

Nombre	Tipo	Caudal (L/s)	Masa Descargada (kg/d) DBO	Masa Descargada (kg/d) SST	Masa Descargada (kg/d) DQO	Masa Descargada (kg/d) NTK	Masa Descargada (kg/d) P _{Total}
Tlacuitapan	Municipal	1.8	70	82	139	16	1.4
Colonia Veintitrés de Mayo	Municipal	1.7	67	79	133	16	1.3
La Presa	Municipal	1.7	66	78	133	16	1.3
1° de Mayo (Chupaderos)	Municipal	1.7	65	77	131	15	1.3
Matanzas	Municipal	1.6	63	74	125	15	1.2
Dieciocho de Marzo	Municipal	1.6	62	73	123	15	1.2
Buenavista (San Miguel)	Municipal	1.5	61	72	122	14	1.2
Vaquerías (Languillo)	Municipal	1.5	58	69	116	14	1.2
Mezquitic de la Magdalena	Municipal	1.5	58	68	116	14	1.2
Popotes de Arriba	Municipal	1.4	57	68	115	14	1.1
Guadalupe Victoria	Municipal	1.4	56	67	113	13	1.1
Lázaro Cárdenas	Municipal	1.4	56	66	112	13	1.1
Envases y Plásticos TITÁN	Industrial	4.4	53	13	122	4.8	1.1
Granja porcícola Texas	Pecuaria	3.8	46	28	335	180	29.3
PTAR Parque Industrial Lagos de Moreno	Industrial	1.4	34	12	86	20	3.9
Mirandillas	Municipal	0.8	31	37	62	7.4	0.6
Mezcala	Municipal	12.3	30	8.5	89	17	4.8
Granja porcícola No.3 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	Pecuaria	1.5	21	28	126	39	8.1
Granja porcícola No.1 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	Pecuaria	1.3	18	29	88	39	3.5
Total			35.8 ton/d	37.2 ton/d	75.8 ton/d	8.9 ton/d	y 2.1 ton/

La masa diaria generada por las descargas caracterizadas y por las 48 localidades mayores a 1000 habitantes se indica en la última fila de la tabla previa. Una vez estimada la masa de contaminantes vertida, se calculó la “Población Equivalente” de dichos vertidos, tomando como referencia los factores de aportación per cápita previamente referidos.

El conjunto de 24 descargas pecuarias e industriales que fueron caracterizadas aporta los valores de Población Equivalente que a continuación se indican:

- SST, P. E. 124,648 y 9,915 P. E.
- DBO, P. E. 152,511 y 59,512 P. E.
- NTK, P. E. 227,480 y 16,583 P. E.
- Fósforo total, P. E. 212,212 y 42,353 P. E.

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

Posteriormente, en la sección 6.3.8, se efectúa la estimación de la masa de contaminantes generada y descargada por el universo de granjas porcícolas del inventario proporcionado por la Secretaría del Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable.

En las tablas siguientes se presentan por orden las descargas de aguas residual cruda o tratada cuya “población equivalente” excede a 5,000 habitantes en alguno de los cuatro parámetros evaluados.

Tabla 6-2 Descargas de DBO con Población Equivalente Mayor a 2,500 Habitantes

Nombre	Origen	P. E.
1. Lagos de Moreno	Municipal	92,716
2. Tepatitlán de Morelos	Municipal	82,975
3. San Juan de los Lagos	Municipal	43,003
4. Granja porcícola No. 2 en La Cofradia	Pecuaria	34,882
5. Granja porcícola Sanfandila	Pecuaria	29,287
6. Encarnación de Díaz	Municipal	22,902
7. Teocaltiche	Municipal	21,661
8. Jalostotitlán	Municipal	21,656
9. San Miguel el Alto	Municipal	21,080
10. Granja porcícola El Mayoral	Pecuaria	19,936
11. Industria Bachoco	Industrial	18,886
12. Granja porcícola No.1 en La Cofradia	Pecuaria	18,267
13. Industria L. de M.	Industrial	15,971
14. Parque Industrial Los Altos (AVIBEL)	Industrial	15,716
15. Yahualica de González Gallo	Municipal	14,265
16. Villa Hidalgo	Municipal	13,782
17. Granja porcícola No.2 en San José del Potrero	Pecuaria	13,417
18. Granja porcícola Sanfandila en Dieciocho de Marzo	Pecuaria	13,051
19. Capilla de Guadalupe	Municipal	12,496
20. Granja porcícola en San José	Pecuaria	11,989
21. San Julián	Municipal	11,096
22. Acatic	Municipal	10,411
23. Unión de San Antonio	Municipal	6,668
24. Bajío de San José	Municipal	3,719
25. Mexxicacán	Municipal	3,516
26. Paso de Cuarenta	Municipal	3,499
27. Pegueros	Municipal	3,187
28. Nestlé en Parque Industrial de Lagos de Moreno	Industrial	3,153

Tabla 6-3 Descargas de SST con Población Equivalente Mayor a 2,500 Habitantes

Nombre	Tipo	P. E.
1. Lagos de Moreno	Municipal	92,716
2. Tepatitlán de Morelos	Municipal	82,975
3. San Juan de los Lagos	Municipal	43,003
4. Granja porcícola El Mayoral	Pecuaria	39,656
5. Granja porcícola No. 2 en La Cofradia	Pecuaria	32,446
6. Granja porcícola Sanfandila	Pecuaria	24,143
7. Encarnación de Díaz	Municipal	22,902
8. Teocaltiche	Municipal	21,661
9. Jalostotitlán	Municipal	21,656
10. San Miguel el Alto	Municipal	21,080
11. Yahualica de González Gallo	Municipal	14,265
12. Villa Hidalgo	Municipal	13,782
13. Capilla de Guadalupe	Municipal	12,496
14. San Julián	Municipal	11,096
15. Acatic	Municipal	10,411
16. Unión de San Antonio	Municipal	6,668
17. Granja porcícola Sanfandila en Dieciocho de Marzo	Pecuaria	6,296
18. Granja porcícola Los Planes	Pecuaria	4,919
19. Granja porcícola en San José	Pecuaria	4,357
20. Industria Bachoco	Industrial	4,305
21. Bajío de San José	Municipal	3,719
22. Granja porcícola GENA La Estancia #4 ampliación	Pecuaria	3,546
23. Mexxicacán	Municipal	3,516
24. Paso de Cuarenta	Municipal	3,499
25. Industria L. de M.	Industrial	3,254
26. Pegueros	Municipal	3,187

Tabla 6-4 Descargas de NTK con Población Equivalente Mayor a 2,500 Habitantes

Nombre	Tipo	P. E.
1. Lagos de Moreno	Municipal	92,716
2. Tepatitlán de Morelos	Municipal	82,975
3. San Juan de los Lagos	Municipal	43,003
4. Granja porcícola Sanfandila	Pecuaria	34,656
5. Granja porcícola a un costado del arroyo Los Ranchos	Pecuaria	30,851
6. Encarnación de Díaz	Municipal	22,902
7. Teocaltiche	Municipal	21,661
8. Jalostotitlán	Municipal	21,656
9. San Miguel el Alto	Municipal	21,080
10. Granja porcícola No.1 en La Cofradia	Pecuaria	21,055
11. Granja porcícola No.2 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	Pecuaria	20,839
12. Granja porcícola No. 2 en La Cofradia	Pecuaria	18,944
13. Granja porcícola No.2 en San José del Potrero	Pecuaria	17,607
14. Granja porcícola El Mayoral	Pecuaria	15,936
15. Yahualica de González Gallo	Municipal	14,265
16. Granja porcícola Texas	Pecuaria	13,818
17. Villa Hidalgo	Municipal	13,782
18. Capilla de Guadalupe	Municipal	12,496
19. Granja porcícola en San José	Pecuaria	11,804
20. Granja porcícola No.1 en San José del Potrero	Pecuaria	11,194
21. San Julián	Municipal	11,096
22. Granja porcícola Los Planes	Pecuaria	11,026
23. Acatic	Municipal	10,411
24. Granja porcícola Sanfandila en Dieciocho de Marzo	Pecuaria	9,601
25. Unión de San Antonio	Municipal	6,668
26. Parque Industrial Los Altos (AVIBEL)	Industrial	6,154
27. Industria Bachoco	Industrial	5,139
28. Bajío de San José	Municipal	3,719
29. Mexxicacán	Municipal	3,516
30. Paso de Cuarenta	Municipal	3,499
31. Granja porcícola GENA La Estancia #4 ampliación	Pecuaria	3,344
32. Pegueros	Municipal	3,187
33. Granja porcícola No.3 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	Pecuaria	3,015
34. Granja porcícola No.1 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	Pecuaria	3,013
35. Industria L. de M.	Industrial	2,500

Tabla 6-5 Descargas de Fósforo con Población Equivalente Mayor a 2,500 Habitantes

Nombre	Tipo	P. E.
1. Lagos de Moreno	Municipal	92,703
2. Tepatitlán de Morelos	Municipal	82,964
3. Granja porcícola Sanfandila	Pecuaria	44,885
4. San Juan de los Lagos	Municipal	42,997
5. Granja porcícola El Mayoral	Pecuaria	25,199
6. Industria Sigma Alimentos	Industrial	23,794
7. Encarnación de Díaz	Municipal	22,899
8. Teocaltiche	Municipal	21,658
9. Jalostotitlán	Municipal	21,653
10. Granja porcícola No.2 en San José del Potrero	Pecuaria	21,226
11. San Miguel el Alto	Municipal	21,077
12. Granja porcícola No. 2 en La Cofradia	Pecuaria	19,956
13. Granja porcícola en San José	Pecuaria	17,894
14. Granja porcícola No.1 en La Cofradia	Pecuaria	17,004
15. Granja porcícola No.1 en San José del Potrero	Pecuaria	14,310
16. Yahualica de González Gallo	Municipal	14,263
17. Villa Hidalgo	Municipal	13,780
18. Granja porcícola Sanfandila en Dieciocho de Marzo	Pecuaria	12,597
19. Capilla de Guadalupe	Municipal	12,494
20. San Julián	Municipal	11,094
21. Acatic	Municipal	10,410
22. Industria L. de M.	Industrial	9,899
23. Granja porcícola Texas	Pecuaria	9,779
24. Granja porcícola a un costado del arroyo Los Ranchos	Pecuaria	8,205
25. Granja porcícola No.2 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	Pecuaria	8,030
26. Unión de San Antonio	Municipal	6,667
27. Granja porcícola Los Planes	Pecuaria	4,709
28. Bajío de San José	Municipal	3,718
29. Mexxicacán	Municipal	3,516
30. Paso de Cuarenta	Municipal	3,499
31. Granja porcícola Sanfandila en San Luis Gonzaga	Pecuaria	3,437
32. Pegueros	Municipal	3,187
33. Industria Bachoco	Industrial	3,031
34. Granja porcícola No.3 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	Pecuaria	2,686

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

De la evaluación de los datos presentados en la tabla previa, se derivan los siguientes comentarios y aspectos relevantes.

- DBO, son 28 las descargas con P.E. > 2,500, para un total acumulado de 583,000. De éstas, 17 son de tipo municipal, 7 son de tipo pecuario y 4 son de tipo industrial. Siete de las nueve descargas de mayor magnitud son de tipo municipal, de las cuales sólo Encarnación de Díaz no tiene PTAR, mientras que la PTAR de Tepatitlán opera de manera ineficiente, en tanto que las PTAR de San Juan de los Lagos y Lagos de Moreno deben iniciar su operación en el primer semestre de 2007.
- SST, las descargas con P.E. > 2,500 son 26, con una población equivalente acumulada de 511,554. Las descargas de origen municipal son 17, de origen pecuario son 7, mientras que las de origen industrial son 2.
- NTK, las descargas con P.E. > 2,500 son 35; la población equivalente acumulada es de 629,128. Las descargas de origen municipal son 17, las descargas de origen pecuario son 15, siendo 3 las descargas industriales.
- Fósforo total, las descargas con P.E. > 2,500 son 34, con una población equivalente acumulada de 635,220. Las descargas de origen municipal son 17, de origen pecuario son 14, mientras que las de origen industrial son 3.

Una vez definidas las descargas que excedían el valor de referencia de P. E., se contaron dichas excedencias, entre 1 y 4, y se ordenaron las descargas de mayor a menor número de excedencias. Cuando dos o más descargas tenían el mismo número de eventos de excedencia, se sumó la masa vertida de SST, DBO, NTK y Fósforo, para así reacomodar las descargas de mayor a menor impacto en el cuerpo receptor. En la siguiente tabla se presenta la clasificación de las descargas de acuerdo a la metodología de evaluación aplicada.

Tabla 6-6 Clasificación de las Descargas por el número de parámetros que exceden la P. E. de 2,500 habitantes

Nombre	Tipo	Parámetros con P. E. > 2,500
1. Lagos de Moreno	Municipal	4
2. Tepatitlán de Morelos	Municipal	4
3. San Juan de los Lagos	Municipal	4
4. Granja porcícola Sanfandila	Pecuaría	4
5. Granja porcícola No. 2 en La Cofradía	Pecuaría	4
6. Granja porcícola El Mayoral	Pecuaría	4
7. Encarnación de Díaz	Municipal	4
8. Teocaltiche	Municipal	4
9. Jalostotitlán	Municipal	4

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

Nombre	Tipo	Parámetros con P. E. > 2,500
10. San Miguel el Alto	Municipal	4
11. Yahualica de González Gallo	Municipal	4
12. Villa Hidalgo	Municipal	4
13. Capilla de Guadalupe	Municipal	4
14. Granja porcícola Sanfandila en Dieciocho de Marzo	Pecuaria	4
15. San Julián	Municipal	4
16. Acatic	Municipal	4
17. Unión de San Antonio	Municipal	4
18. Granja porcícola en San José	Pecuaria	3
19. Granja porcícola No.1 en La Cofradia	Pecuaria	3
20. Granja porcícola No.2 en San José del Potrero	Pecuaria	3
21. Granja porcícola a un costado del arroyo Los Ranchos	Pecuaria	3
22. Industria L. de M.	Industrial	2
23. Parque Industrial Los Altos (AVIBEL)	Industrial	2
24. Industria Bachoco	Industrial	2
25. Granja porcícola No.2 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	Pecuaria	2
26. Granja porcícola No.1 en San José del Potrero	Pecuaria	2
27. Granja porcícola Texas	Pecuaria	2
28. Granja porcícola Los Planes	Pecuaria	1
29. Industria Sigma Alimentos	Industrial	1

En la Tabla previa se observa que 27 descargas exceden la P.E. de referencia en las más de uno de los cuatro parámetros evaluados, lo que es indicativo de su fuerza contaminante y del efecto en el cuerpo receptor; 16 descargas exceden la P. E. en los cuatro parámetros, 4 descargas la exceden en tres de los parámetros y 6 descargas en dos parámetros.

Otro aspecto relevante, es que once de las veintisiete descargas que exceden la P. E. en más de dos parámetros son de origen pecuario, lo que es demostrativo del impacto contaminante de este tipo de instalaciones.

6.3 PROGRAMA DE ACCIONES

El Programa para revertir el deterioro del río Verde engloba tanto acciones de carácter estructural, de tratamiento, de manejo y gestión, así como acciones de tipo normativo, de vigilancia y de control. En las siguientes secciones se describen las acciones de carácter normativo, de vigilancia y de gestión que se proponen para su implementación en general.

Posteriormente, en la Tabla 6-20 se indican de manera específica las acciones requeridas para controlar o reducir la carga contaminante y el efecto negativo que ocasionan en el cuerpo receptor las fuentes de contaminación. Se incluye un cronograma en el que se calendarizan las acciones propuestas para su implantación en un periodo de diez años.

6.3.1 Monitoreo de la Calidad del Agua Superficial

La información de calidad de agua disponible indica una tendencia de deterioro en el estado de la calidad del agua del río Verde y de algunos de sus afluentes: río Lagos y río Tepatitlán.

La frecuencia de los muestreos se recomienda con una periodicidad bimestral en estiaje y mensual en periodo de lluvias para identificar la variabilidad estacional y espacial en la calidad del agua del río Verde. A continuación se indican las estaciones de monitoreo propuestas:

1. Río Verde, en el Chilarillo
2. Río Verde, en Paso de Analco
3. Río Lagos, en San Gaspar de las Flores
4. Río Lagos, aguas debajo de la presa Alcalá
5. Río Lagos, en Salto Zurita
6. Río Lagos, aguas arriba de Lagos de Moreno (Libramiento)
7. Río Lagos, en Paso de Cuarenta
8. Río Verde, en Temacapulín
9. Río Verde, en El Zapotillo, cruce de la terracería de Yahualica a Cañadas de Obregón
10. Río Verde, en La Cuña
11. Río Verde, aguas arriba del río Tepatitlán
12. Río Verde, en El Purgatorio
13. Río Tepatitlán, aguas arriba de la presa Lagunillas
14. Río Tepatitlán aguas debajo de la presa Lagunillas
15. Río Tepatitlán, en El Salto

Con respecto de los parámetros de calidad del agua a evaluar se recomiendan los siguientes:

1. Temperatura
2. Conductividad

3. Potencial hidrógeno
4. Oxígeno disuelto
5. Turbiedad
6. DBO
7. DQO
8. SST
9. Nitrógeno amoniacal
10. Nitrógeno orgánico
11. Nitratos
12. Fósforo total
13. Coliformes fecales
14. Estreptococos fecales

6.3.2 Monitoreo de las Descargas Puntuales de Agua Residual

Es de interés prioritario para el gobierno del Jalisco el saneamiento y mejoramiento de las condiciones ambientales de las cuencas de aportación de las futuras presas El Zapotillo y Arcediano por lo que es recomendable establecer un programa de monitoreo para vigilar las principales descargas de agua residual de origen municipal, pecuario e industrial en la cuenca del río Verde.

En las descargas puntuales de agua residual de origen municipal, industrial y pecuario con P. E. mayor a 2,500 habitantes se deberá prever, como mínimo, una frecuencia de tres inspecciones y monitoreos por año. El universo de descargas puntuales a caracterizar que se encuentra en este supuesto se estima en el rango de 50 a 75 instalaciones, de las que ya están identificadas 35.

Las muestras a coleccionar en instalaciones industriales y municipales deberán ser de tipo compuesto en periodos de 24 horas, con el fin de tomar en cuenta las fluctuaciones de caudal y de carga contaminante propias de las descargas de aguas residuales. En las descargas de granjas porcícolas o establos de ganado bovino podrán coleccionarse muestras de tipo instantáneo.

Las inspecciones y colecta de las muestras deberán ser de carácter aleatorio, sin notificar al responsable de la descarga, para tal efecto las muestras se deberán coleccionar inmediatamente después de que la descarga sale del límite de propiedad de la instalación generadora. Dado el probable uso administrativo y legal que se podrá dar a los resultados de laboratorio, tanto la colecta como el análisis de las muestras de agua, se deberá efectuar por un laboratorio registrado ante la Entidad Mexicana de Acreditamiento (EMA, A. C.).

Esta actividad se deberá de compaginar e integrar con las funciones que se tienen previstas para el futuro Órgano de Control y Vigilancia de la cuenca de Arcediano, que el gobierno de Jalisco planea implementar a partir del año 2007.

6.3.3 Notificación a la Autoridad Federal

La vigilancia, el control y la aplicación de sanciones por incumplimiento a las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores nacionales son en la actualidad competencia única y exclusiva del gobierno federal, a través de la CONAGUA. Por lo que el gobierno de Jalisco, a través de la CEAS, deberá de hacer del conocimiento de la autoridad federal las anomalías e incumplimientos detectados en las inspecciones de campo y en resultados de laboratorio de los muestreos efectuados en las descargas de agua residual.

De esta forma la autoridad estatal podrá, como parte interesada, coadyuvar para que la autoridad federal ejercite sus atribuciones en materia de control de la contaminación de los cuerpos de agua y pueda incluso aplicar las sanciones económicas y administrativas que procedan.

De igual forma el Gobierno de Jalisco, a través de la CEAS o del Órgano de Control y Vigilancia, deberá notificar a la federación y/o a los otros estados sobre los que se asienta la cuenca, en especial Aguascalientes o Zacatecas, cuando la calidad del agua del río Verde o de alguno de sus tributarios esté siendo afectada por descargas de aguas residuales o por el incumplimiento de la normatividad en la materia.

6.3.4 Aguas Residuales Municipales

Descargas de Aguas Residuales Municipales con Tratamiento

En la actualidad existen en la cuenca del río Verde doce sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales, sin embargo no todos ellos están en condiciones adecuadas de operación y mantenimiento, por lo que no cumplen los objetivos del tratamiento, a continuación se indican dichos sistemas.

Mexiticacán, es una laguna de estabilización proyectada sin adecuados criterios de diseño y geometría, para lograr un efluente de buena calidad, por otra parte se observa que el proceso constructivo y la geometría de la laguna no se realizó a las buenas prácticas de construcción de sistemas lagunares, aunado a que se observa moderado deterioro en taludes y coronas.

Ante esta situación, es conveniente considerar la sustitución de la laguna por un sistema de tratamiento formal que satisfaga los objetivos de calidad de agua tratada que se establezcan para el arroyo Mexiticacán, actualmente clasificado como cuerpo tipo “A”.

Capilla de Guadalupe, la PTAR cuya construcción concluyó en el año 2002 está fuera de operación. El agua residual conducida por el emisor aflora a la superficie antes de llegar a la PTAR y fluye hacia el arroyo La Presa, afluente del río Valle.

Figura 6-1 Laguna de tratamiento de aguas residuales de Mexiticacán



Figura 6-2 Aguas residuales municipales de Capilla de Guadalupe sin ingresar a la planta de tratamiento



Tepatitlán, la PTAR fue construida hace más de 15 años, la capacidad nominal de tratamiento es de 200 L/s en dos módulos. La planta adolece de una adecuada operación y mantenimiento, aunado a que el equipamiento electromecánico requiere ser rehabilitado y/o sustituido. Un problema serio que se presenta de manera recurrente es la derivación de agua residual cruda sin tratamiento hacia el río Tepatitlán.

Figura 6-3 Derivación de Agua Residual Cruda de la PTAR de Tepatitlán al río Tepatitlán



Las futuras obras de rehabilitación, modernización y/o ampliación de esta PTAR, acorde a las proyecciones de caudal de agua residual a tratar y a la calidad objetivo que se establezca para el agua tratada. En la actualidad el cuerpo receptor está clasificado como cuerpo tipo “A”, pero es de esperar que se reclasifique a cuerpo tipo “B” o “C”.

La PTAR de Tepatitlán descarga su efluente al río Tepatitlán, mismo que se retiene 16 km aguas abajo en la cortina de la presa Lagunillas, con capacidad para almacenar un volumen total de 12 millones de metros cúbicos. De esta presa se extrae agua para abastecer la Unidad de Riego Lagunillas, en el municipio de Acatic. La Unidad cuenta con 119 usuarios en la modalidad de pequeña propiedad y una superficie de riego de 1,264 hectáreas.

Lagos de Morenos y San Juan de los Lagos

Ambas plantas de tratamiento son, junto con la PTAR de Tepatitlán, las fuentes de contaminación puntual de mayor magnitud en la zona de estudio. Las PTAR’s de Lagos de Moreno y San Juan están concluyendo la fase constructiva e iniciando la fase de pruebas y puesta en marcha.

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

La adecuada y eficiente operación de estas plantas es fundamental para incidir en mejorar la calidad del agua del río Verde, en especial la PTAR de San Juan, ya que se localiza en el tramo final del río Lagos, a 45 km. de su desembocadura al río Verde. En este tramo no existe infraestructura de almacenamiento y/o aprovechamiento para riego agrícola, por lo que la depuración de la masa de contaminantes vertida por la localidad es menor y finalmente se aporta al río Verde.

La PTAR de Lagos de Moreno tiene la atenuante de que se localiza 122 km río arriba de la confluencia del Lagos con el Verde, aunado a que en su recorrido el agua del río Lagos se almacena o deriva para riego agrícola. El tramo de Lagos de Moreno a San Juan de Los Lagos tiene una longitud de 74 km con un desnivel de 170 metros, sobre el cauce del río Lagos se localizan tres presas pequeñas: El Cajón, La Garza y Alcalá.

Descargas de Aguas Residuales Municipales sin Tratamiento

En la actualidad en la cuenca del río Verde, se identifican dieciséis localidades con población mayor a 2,000 habitantes que aún no cuentan con infraestructura de tratamiento de aguas residuales. A continuación se indican dichas localidades.

Tabla 6-7 Localidades Mayores a 2,000 Habitantes sin Infraestructura de Tratamiento

Municipio	Localidad	Habitantes 2005	Cuerpo Receptor
Encarnación	Encarnación de Díaz	22,902	Río Encarnación
Yahualica	Yahualica	14,265	Arroyo Colorado
Villa Hidalgo	Villa Hidalgo	13,782	A. Seco / Custique / El Rincón y Río Verde
Tepatitlán	Capilla de Guadalupe	12,496	Río Valle
San Julián	San Julián	11,096	A. Las Moras/El Carrizo/San Julián/Jalpilla y Lagos
Acatic	Acatic	10,411	Río Tepatitlán
Unión de San Antonio	Unión de San Antonio	6,668	La Gazapa / El Ocote, Jalpilla y Lagos
Encarnación	Bajío de San José	3,719	A. Innominado y Río Encarnación
Mexicacán	Mexicacán	3,516	A. La Cruz de Piedra / Mexicacán
Lagos de Moreno	Paso de Cuarenta	3,499	Río Lagos
Tepatitlán	Pegueros	3,187	A. Pegueros / Los Gatos, Río Valle
Cañadas	Cañadas de Obregón	2,483	A. Cañadas / El Salitre
Encarnación	Mesón de los Sauces	2,475	Río Encarnación
San Juan de los Lagos	Col. Santa Cecilia (La Saucedá)	2,201	Río Lagos
Lagos de Moreno	Los Azulitos	2,087	A. Tepetates Colorados y canal de riego
Encarnación	El Tecuán	2,057	A. Innominado y Río Encarnación
Total		118,849	

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

La calidad objetivo que deberán de satisfacer los efluentes de las plantas de tratamiento estará determinado por la clasificación que finalmente adopte la CONAGUA para la cuenca del río Verde. De manera preliminar se propone el siguiente esquema de tratamiento, los valores numéricos corresponden a la concentración de DBO / SST / Nitrógeno Total y Fósforo Total en el efluente:

1. Localidades mayores a 10,000 habitantes, con descarga directa al río Verde o a afluente de éste: 30 / 30 / 15 / 5
2. Localidades menores a 10,000 habitantes con descarga directa al río Verde o a afluente de éste: 30 / 30 / 40 / 15
3. Localidades menores a 10,000 habitantes con descarga a corriente tributaria a afluente del río Verde, o con descarga a presa con aprovechamiento en riego agrícola, en una primera etapa: 75 / 75 / 40 / 15.

La segunda etapa, en la que se mejoraría la calidad del efluente, se determinará en el futuro con base en la evaluación de la calidad del agua de los cuerpos receptores, que definiría la pertinencia de su implementación.

El objetivo de este planteamiento es matizar la aplicación del criterio más estricto, clasificar todas las corrientes como cuerpo tipo “C”, y que no obstante el esfuerzo económico adicional que representaría construir y operar sistemas con remoción de nutrientes, se obtuviera un beneficio marginal en la masa de nutrientes vertida a los cuerpos receptores.

A continuación se presenta el cálculo de la masa anual de nutrientes generada y vertida por todas las localidades mayores a 2000 habitantes en la cuenca del río Verde, cuenten o no con planta de tratamiento, la masa de Nitrógeno y Fósforo está calculada con factores de aportación per - cápita.

Tabla 6-8 Generación y Descarga de Nitrógeno y Fósforo por Fuentes Municipales, ton/año

Nombre	Población	Generación		Descarga		Descarga	
		NTT	P Total	NTT	NTT	PT	PT
1. Lagos de Moreno	92,716	413	122	95	95	33.9	33.9
2. Tepatitlán de Morelos	82,975	369	109	85	85	30.3	30.3
3. San Juan de los Lagos	43,003	191	57	44	44	15.7	15.7
4. Encarnación de Díaz	22,902	102	30	24	24	8.4	8.4
5. Teocaltiche	21,661	96	28	22	22	7.9	7.9
6. Jalostotitlán	21,656	96	28	22	22	7.9	7.9
7. San Miguel el Alto	21,080	94	28	22	22	7.7	7.7
8. Yahualica	14,265	64	19	15	15	5.2	5.2
9. Villa Hidalgo	13,782	61	18	14	14	5.0	5.0
10. Capilla de Guadalupe	12,496	56	16	13	13	4.6	4.6
11. San Julián	11,096	49	15	11	11	4.1	4.1
12. Acatic	10,411	46	14	11	11	3.8	3.8

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

Nombre	Población	Generación		Descarga		Descarga	
		NTT	P Total	NTT	NTT	PT	PT
13. Unión de San Antonio	6,668	30	9	6.9	18.3	2.4	5.8
14. Bajío de San José	3,719	17	5	3.8	10.2	1.4	3.3
15. Mexxicacán	3,516	16	5	3.6	9.6	1.3	3.1
16. Paso de Cuarenta	3,499	16	5	3.6	9.6	1.3	3.1
17. Pegueros	3,187	14	4	3.3	8.7	1.2	2.8
18. Cañadas de Obregón	2,483	11	3	2.6	6.8	0.9	2.2
19. Mesón de los Sauces	2,475	11	3	2.5	6.8	0.9	2.2
20. Mechoacanejo	2,388	11	3	2.5	6.5	0.9	2.1
21. Belén del Refugio	2,354	10	3	2.4	6.5	0.9	2.1
22. Col. Sta Cecilia, La Sauceda	2,201	10	3	2.3	6.0	0.8	1.9
23. Los Azulitos	2,087	9	3	2.1	5.7	0.8	1.8
24. El Tecuán	2,057	9	3	2.1	5.6	0.8	1.8
Total	404,677	1,802	532	416	479	148	166

En la tabla previa se observa que aplicando el criterio de todas las descargas con calidad para cuerpo “C”, la masa de Nitrógeno vertida a los cuerpos receptores baja de 1,802 toneladas generadas por año, a 416 ton/año, para una remoción porcentual de 76.9%; aplicando el esquema diferenciado aquí propuesto, en que 13 localidades podrían descargar 40 mg/L de nitrógeno total, entonces la masa total descargada a los cuerpos receptores sería de 479 ton/año, lo que representa sólo un 3.5% más que en el primer criterio.

La misma situación se observa en el Fósforo, donde aplicando el esquema diferenciado la masa descarga sería de 166 ton/año, contra 148 ton/año que sería la masa vertida en el esquema de todas las descargas con calidad para cuerpo tipo “C”, para un incremento del 3.5 %.

El incremento de la masa de nutrientes que efectivamente llegaría al río Verde o los afluentes de éste, en realidad es menor al 3.5%, dado que las aguas residuales, crudas o tratadas, de un gran número de localidades es almacenada o aprovechada directamente en riego agrícola.

6.3.5 Condiciones Particulares de Descarga

La legislación y normatividad en vigor para clasificar los cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales son insuficientes para proteger la cuenca del río Verde acorde al aprovechamiento que se tiene previsto efectuar a mediano plazo. Para incidir en la mejoría de la calidad del agua que se embalsará en El Zapotillo y en Arcediano, proteger las futuras fuentes de abastecimiento y la salud pública es necesario reclasificar las corrientes superficiales en la cuenca del río Verde.

La Ley Federal de Derechos en Materia de Agua indica que todos los ríos y arroyos no clasificados específicamente como cuerpos tipo “C” o “B”, son cuerpos tipo “A”, en los que aplican los objetivos de calidad más bajos. La clasificación vigente de los cuerpos receptores en la cuenca del río Verde es la siguiente:

- Cuerpos receptores tipo “B”: Río Verde en toda su longitud dentro del estado de Jalisco; Río Valle, en el municipio de Valle de Guadalupe; Río Jihuite, en el municipio de Tepatitlán y Río Lagos, en el municipio de San Juan de los Lagos.
- Cuerpos receptores tipo “C”: Presa El Salto en el municipio de Valle de Guadalupe; Presa El Jihuite en el municipio de Tepatitlán de Morelos y Presa Alcalá en el municipio de San Juan de los Lagos.
- Cuerpos receptores tipo “A”: Todas las corrientes permanentes, temporales o intermitentes no indicadas en los dos párrafos previos.

Con el marco regulatorio actual, las instalaciones pecuarias, las industrias y demás generadores de descargas, que viertan sus aguas residuales a un río o arroyo afluente del río Verde, aunque éste es cuerpo tipo “B”, la corriente afluente está clasificada como tipo “A”. Lo anterior no obstante la corriente afluente recorra pocos cientos de metros antes de descargar las aguas residuales que conduce al cuerpo receptor final.

Este esquema es incompatible con los objetivos del Gobierno de Jalisco en la cuenca del río Verde, por lo que es recomendable que la autoridad federal efectúe la reclasificación del río Verde, así como de sus afluentes de carácter permanente o intermitente. Como complemento o alternativa de regulación, la CONAGUA podría fijar Condiciones Particulares de Descarga con límites máximos permisibles equiparables, al menos, a los que aplican para cuerpo receptor tipo “B” o “C”.

6.3.6 Intercambio de Efluente

El intercambio de efluente es un esquema innovador de uso reciente en los Estados Unidos de América que permite lograr los objetivos de calidad establecidos para una cuenca de manera más eficiente. El intercambio de efluente se basa en el hecho de que las diversas fuentes puntuales y difusas de contaminación en una cuenca enfrentan costos diferentes para el control y reducción de un mismo contaminante.

Los programas de intercambio permiten a ciudades e industrias satisfacer las obligaciones normativas, mediante la compra de reducciones de contaminación equivalentes o mayores, de otra fuente de contaminación, logrando así la mejoría de la calidad del agua del cuerpo receptor de una manera más efectiva en términos económicos.

El intercambio de efluente es una forma de tipo comercial que ayuda a resolver los problemas de contaminación enfocados en soluciones locales y económicas para los problemas ocasionados por la descarga de contaminantes a las aguas superficiales. El atractivo del intercambio de efluente se manifiesta cuando las fuentes de contaminación enfrentan costos diferentes para reducir los contaminantes. El esquema general es que un involucrado con altos costos para reducir un contaminante, compensa de manera económica a otro que puede lograr la misma reducción equivalente a un costo menor.

En la cuenca del río Verde se identifican instalaciones industriales y pecuarias con descargas de agua residual cruda o tratada con elevadas concentraciones de DBO, nitrógeno o fósforo. En virtud de la complejidad tecnológica, el costo de inversión y de operación e, incluso, la falta de espacio disponible para mejorar los tratamientos existentes, a varios generadores de vertidos con elevadas concentraciones les puede ser más atractivo efectuar la remoción adicional requerida para cumplir con la normatividad, en las aguas residuales de localidades medias o pequeñas o en instalaciones pecuarias de tipo intensivo o extensivo.

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

El intercambio de efluentes es un acuerdo voluntario entre las partes involucradas y se concreta sólo cuando las dos partes obtienen un beneficio en el intercambio. Debido a que los esquemas de intercambio de efluentes están diseñados dentro del marco regulatorio en vigor, usualmente no crean nuevas obligaciones normativas o regulatorias.

A continuación se desarrollará un ejemplo hipotético de un esquema de intercambio de efluente, que podría ser de aplicación en la cuenca del río Verde. Una industria del ramo alimentario vierte al río Lagos, en la zona de la ciudad de Lagos de Moreno, su descarga de aguas residuales tiene las siguientes características:

- Caudal medio diario, 6 L/s
- DBO, 1,000
- SST, 250
- Nitrógeno total, 200
- Fósforo Total, 50

El cuerpo receptor de la descarga actualmente está clasificado como tipo “A”, se considera probable que en el futuro el río Lagos se reclasifique a cuerpo tipo “C”. Por lo que la industria evalúa alternativas de tratamiento para reducir los contaminantes en sus aguas residuales a los límites máximos permisibles (LMP) que la NOM-001 establece para río tipo “C”.

Una de las alternativas más convenientes en términos de costo integrado de inversión y de operación y mantenimiento, le permite reducir la concentración de contaminantes en el efluente a los siguientes valores promedio:

- DBO, 30
- SST, 30
- Nitrógeno total, 85
- Fósforo Total, 30

La industria evidentemente tiene un excedente de Nitrógeno y Fósforo que le resulta técnica y económicamente complejo remover, ya que le implica incorporar procesos de nitrificación y denitrificación, así como la remoción biológica y química del fósforo. La masa en exceso de Nitrógeno y Fósforo en la descarga es de 39.3 y 14.0 kg por día, respectivamente.

En el esquema de intercambio de efluentes, la industria interesada debe buscar e identificar una fuente puntual de contaminación, o incluso de tipo difuso, que este descargando también a un afluente directo del río Verde, en la que sea técnicamente factible y económicamente viable efectuar la remoción adicional de nutrientes, en una masa equivalente a la que excedería la industria.

Una opción atractiva son las descargas de aguas residuales municipales ya sea crudas o tratadas, ya que las localidades que estén descargando a cuerpos receptores tipo “A” o “B”, tienen un excedente de nitrógeno o fósforo adicional que se pudiera remover a menor costo que en la industria. Por ejemplo, se identifica una localidad con planta de tratamiento que opera con un caudal medio de 17.5 L/s y concentración promedio en el efluente es de 40 mg/l de Nitrógeno total y 17 mg/l de Fósforo, con lo que cumple los LMP para cuerpo tipo “B”.

Se evalúa la posibilidad de mejorar la calidad del efluente de la PTAR implementando para tal efecto un wetland, en que se reduciría la concentración de Nitrógeno y Fósforo a 15 y 8 mg/l, respectivamente. De esta forma, la remoción de nutrientes por arriba de lo que pide la NOM-001 y la clasificación del cuerpo receptor es la siguiente.

Tabla 6-9 Estimación de la Masa Removida Adicional de Nitrógeno y Fósforo

Parámetro	NOM-001, cuerpo "B"	Efluente Wetland	Remoción excedente	Masa removida excedente,
	mg/L	mg/L	Mg/L	kg/d
Nitrógeno	40	15	25	37.8
Fósforo	20	8	12	18.1

En el esquema de intercambio de efluentes la industria podría ser responsable de la inversión inicial para la construcción del wetland y/o de sufragar los costos de operación y mantenimiento inherentes a dicho componente del sistema de tratamiento. En este ejemplo el intercambio de efluentes se efectúa para nutrientes, aunque también se pueden intercambiar otros parámetros tales como DBO y SST.

Un aspecto clave de este esquema es la negociación y el convenio que se establezca con el Ayuntamiento, aunado a la revisión y aprobación de parte de la CONAGUA y la CEAS, así como el posterior seguimiento y monitoreo de la adecuada operación y mantenimiento del wetland para obtener en realidad los beneficios ambientales que se buscan.

Otra variante del esquema de intercambio de efluentes sería que la industria se hiciera responsable del construir y/o operar el sistema de tratamiento de aguas residuales de una o varias localidades que actualmente, por su tamaño, no tienen el requerimiento normativo de tratar sus aguas residuales.

En algunos proyectos exitosos en Estados Unidos de América se realiza el intercambio de efluentes entre fuentes puntuales con fuentes de contaminación difusa de tipo agrícola o pecuario. En esta modalidad, los productores agropecuarios implementan en sus terrenos de cultivo, ranchos o pastizales las denominadas Prácticas de Conservación con las que reducen el aporte de contaminantes agroquímicos, nutrientes, plaguicidas, sedimentos y otros elementos que dañan la integridad de los cuerpos receptores y la calidad de sus aguas.

6.3.7 Descargas de Actividades Pecuarias

La actividad pecuaria en la cuenca del río Verde muestra en los últimos años un comportamiento desigual, mientras que la población de ganado bovino y porcino registra una variación marginal, la actividad avícola en el rubro de huevo registra un enorme crecimiento. En la Tabla 6-10 se presenta la población porcina, bovina y avícola en el ámbito de las regiones Altos Norte y Altos Sur.

Tabla 6-10 Población Pecuaria en las Regiones Altos Norte y Altos Sur, cabezas² y³

Región	Año	Bovino Carne	Bovino Leche	Porcino	Aves Carne	Aves Huevo
Altos Norte	2001	236,259	257,745	1,323,820	11,500,259	14,692,003
	2005	249,851	292,876	1,278,728	4,434,931	24,509,329
Altos Sur	2001	293,322	203,816	1,874,538	4,679,814	14,054,486
	2005	261,110	200,713	1,841,643	4,779,217	26,212,914
<hr/>						
Altos Norte y Altos Sur	2001	529,581	461,561	3,198,358	16,180,073	28,746,489
Altos Norte y Altos Sur	2005	510,961	493,589	3,120,371	9,214,148	50,722,243
Variación		-18,620	32,028	-77,987	-6,965,925	21,975,754

La información obtenida de las dependencias oficiales que dan registro, seguimiento y control a la generación de residuos y desechos líquidos de las instalaciones pecuarias es muy limitada y sólo cubre una fracción del universo de instalaciones existentes. La Comisión Nacional del Agua cuenta únicamente con 164 registros⁴, en tanto que el inventario de la SEMADES⁵, si bien es bastante más amplio que el de CONAGUA, registra un total de 373 instalaciones. En ambas dependencias los registros se enfocan a instalaciones de aprovechamiento intensivo.

Los registros de SEMADES indican 212 granjas porcícolas con una población total de 582 mil cabezas, contra una población total, según INEGI, de 3,120,000 cabezas, es decir una cobertura menor al 20% del total; en materia de granjas avícolas los registros de SEMADES incluyen 25 millones de aves, contra 50.7 millones que indica el INEGI, en este rubro se tiene una mejor cobertura en los registros con el 50% de la población total.

Los datos del hato bovino no son comparables, en virtud de que la SEMADES registra instalaciones en que el ganado está estabulado, mientras que los datos del INEGI indican la población total, de la que un porcentaje significativo es en la modalidad de aprovechamiento extensivo.

Las granjas avícolas son instalaciones de tipo intensivo prácticamente que no generan agua residual, el estiércol generado por las aves tiene menor contenido de humedad, del 75%, por lo que no es una corriente líquida que normalmente fluya hacia los cuerpos receptores. El estiércol (gallinaza o pollasa) es un subproducto de valor económico cuyo precio está en el rango de 300 a 900 \$/ton, por lo que la práctica imperante en la zona de estudio es el almacenamiento temporal y el retiro del estiércol al concluir la temporada de crecimiento del pollo, aproximadamente cada dos meses.

No obstante lo anterior, la actividad avícola no está exenta de generar carga contaminante a los cuerpos receptores, si el residuo sólido no se retira periódicamente o se almacena en áreas sin confinamiento expuestas a la escorrentía pluvial, se genera una descarga superficial que arrastra materia orgánica, sólidos y nutrientes a los cuerpos de agua.

Es fundamental que la SEMADES, en concurrencia con la SAGARPA, la SEDER y las Asociaciones de Productores Pecuarios en la zona de estudio, implemente un programa intensivo de actualización de la Cédula Agropecuaria, verificando con inspecciones lo asentado en dicho documento; de esta forma se podrá definir, entre otros aspectos, los siguientes:

- el tamaño de las instalaciones pecuarias,
- la existencia de instalaciones de manejo y tratamiento de las excretas,
- las operaciones y procesos de que consta el sistema de manejo y tratamiento,
- identificar el cuerpo receptor final en que se están descargando o aplicando los efluentes líquidos,
- localización de la instalación en coordenadas geográficas,
- verificar el estado en que se encuentra el cuerpo receptor de los efluentes líquidos.

Con base en la información recabada y verificada se podrán definir las acciones de tratamiento y manejo de sus aguas residuales, así como la fecha de cumplimiento.

Se recomienda que en la Cédula Agropecuaria se solicite información más detallada con la descripción, características, dimensiones y volumen del sistema de manejo y tratamiento de las excretas.

6.3.8 Descargas de las Granjas Porcícolas

En la zona de estudio existe un gran número de granjas porcícolas, los municipios que concentran la mayoría del hato porcino son: San Juan de los Lagos, Tepatitlán, Lagos de Moreno y Acatic.

Los desechos sólidos y líquidos de las instalaciones intensivas de producción pecuaria, particularmente las de cerdos, contienen un gran número de contaminantes, destacando: materia orgánica, nutrientes, patógenos, farmacéuticos veterinarios, metales pesados (zinc y cobre) así como hormonas naturalmente excretadas.

Las granjas porcícolas son las instalaciones pecuarias que más impacto negativo ocasionan en los cuerpos receptores en que se vierten sus efluentes con o sin tratamiento, incluidos los sitios en que la modalidad de disposición es la “aplicación al terreno”.

La información de las Cédulas Agropecuarias de la SEMADES indica que en 127 de las 215 granjas porcícolas de dicho inventario cuentan con instalaciones para el manejo y tratamiento de las excretas y residuos líquidos generados. Los tipos y número de instalaciones de tratamiento se indican a continuación:

- | | |
|------------------------------------|----|
| • Fosa séptica, | 24 |
| • Fosa sedimentación, | 21 |
| • Laguna de sedimentación, | 3 |
| • Laguna de oxidación, | 76 |
| • Laguna de oxidación/biodigestor, | 2 |
| • PTAR, | 1 |

En los trabajos de campo de identificación de fuentes de contaminación puntual se detectaron diversos problemas que se repiten con frecuencia en las instalaciones de manejo y tratamiento de las descargas de granjas porcícolas, destacando los siguientes:

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

- Las lagunas de sólidos están sobrecargadas y vierten sólidos hacia el cuerpo receptor o hacia las siguientes etapas
- Las lagunas o trampas de sólidos se purgan ocasionalmente hacia los cuerpos receptores
- Al existir eventos de alta precipitación pluvial se presentan derrames o arrastres de las lagunas de sólidos o de las lagunas de digestión anaerobia
- Las lagunas de oxidación están fuertemente sobrecargadas, operando en condiciones anaerobias con fuerte emisión de olor séptico y/o volatilización de amoníaco
- Lagunas sin recubrimiento impermeable en fondo y taludes, siendo el mecanismo relevante de disposición final la infiltración al subsuelo, con los problemas de contaminación que conlleva
- Aplicación a los terrenos de los efluentes de las lagunas sin apego a los requerimientos agrológicos, ocasionado la saturación del suelo, la colmatación de sólidos en la superficie y/o la acumulación excesiva de nutrientes que se arrastran el cuerpo receptor en eventos de lluvias
- En ocasiones la aplicación al terreno es sólo un paso previo al escurrimiento directo a los cuerpos receptores
- Utilización de bordos o presas de propiedad nacional como lagunas de estabilización
- Canales de conducción de efluente al cuerpo receptor saturados de sólidos, con mejoría estacional en la calidad del efluente, sin embargo en temporal de lluvias los sólidos se “lavan” hacia el cuerpo receptor.

Figura 6-4 Impacto en el Cuerpo Receptor de Descarga de Granja Porcina



Figura 6-5 Aplicación en Riego Agrícola de Efluente de Laguna de Estabilización

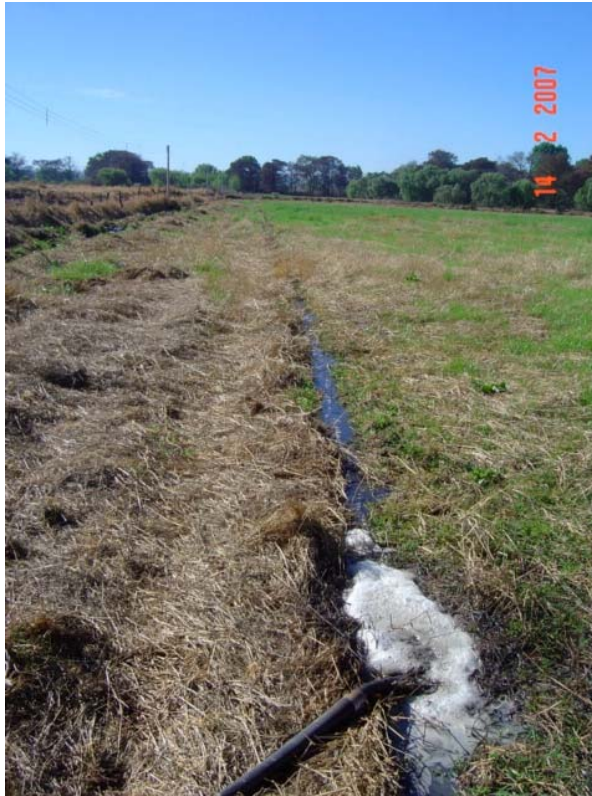


Figura 6-6 Excedente de Riego Agrícola Descargado al Río Tepatitlán



Figura 6-7 Aplicación al Terreno de Efluente de Granja Porcina



Figura 6-8 Canal Efluente de Granja Porcícola hacia el Cuerpo Receptor



Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

Dentro de los trabajos de campo y laboratorio se efectuó la caracterización de los vertidos de 16 granjas porcícolas, algunas sin tratamiento, otras con tratamiento básico (fosa de sedimentación); otras con tratamiento intermedio (laguna de oxidación tipo anaerobio), así como efluentes de lagunas de oxidación con biodigestor. En la siguiente tabla se presenta un resumen con la concentración de contaminantes en el efluente.

Tabla 6-11 Características de las Descargas de Agua Residual de las Granjas Porcícolas Caracterizadas, mg/l a Menos que se Indique otra Unidad

Valor	Conductividad, mmhos/cm	pH, unidades pH	Sólidos Sediment. ml/L	SST	G y A	DBO ₅	DQO	NTK	P Total	NO ₃	N. Amon.	N. Org.
Mínimo	705	6.67	0.6	15	14	56	131	33	2.6	0.10	194	
1er cuartil	3,650	7.19	3.9	152	29	165	1,009	355	64	0.10	280	197
Promedio	6,010	7.46	71.4	2,860	311	2,634	6,269	717	209	0.23	553	
Mediana	6,155	7.56	21.0	529	82	825	2,664	778	101	0.14	551	227
3er cuartil	8,218	7.67	115.9	3,175	522	5,252	11,652	1,058	278	0.37	736	362
Máximo	13,680	8.16	260.0	13,400	1,560	12,000	21,498	1,327	1,075	0.45	1,153	

Las formas usuales de manejo y tratamiento de los residuos sólidos y líquidos de las granjas porcinas son las siguientes:

- Separación de sólidos y descarga al cuerpo receptor
- Separación de sólidos y aplicación a pastizal o terrenos de cultivo
- Lagunas de digestión anaerobia abiertas seguidas de laguna(s) de almacenamiento, usualmente facultativas, aplicación a terrenos de cultivo
- Lagunas de digestión anaerobia cubiertas, con quemado de metano, seguidas de lagunas de almacenamiento, con y sin aplicación a terrenos de cultivo.

6.3.9 Estimación de la Generación y Descarga de Contaminantes de Granjas Porcícolas no Caracterizadas

Con el fin de no subestimar el impacto que ocasionan las excretas y desechos líquidos generados por las granjas porcícolas, en esta sección se efectuará una estimación de la masa de contaminantes que generan y aportan dichas instalaciones a cuerpos receptores superficiales de la cuenca del río Verde.

La base de cálculo respecto al número de granjas, número de cabezas y tipo de sistema de tratamiento, es la información consignada en el inventario proporcionado por SEMADES. Dicho inventario, si bien cubre el 20% del hato porcícola que reporta el INEGI, sin duda es un universo más grande que el estimado en la sección 6.2 que abarca las 17 granjas que fueron caracterizadas.

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

Los valores utilizados para estimar la masa de contaminantes generados son los valores y factores medios de carga reportados por P. Taiganides⁶, mismos que a continuación se indican:

- Peso promedio por cerdo, 55.2 kg
- Unidad de población animal (UPA) 100 kg de peso vivo
- Generación de SST, 0.600 Kg/UPA-d
- Generación de DBO, 0.250 Kg/UPA-d
- Generación de NTK, 0.050 Kg/UPA-d
- Generación de PT, 0.013 Kg/UPA-d
- Generación de agua residual total, 36.5 L/UPA-d

A partir del número de cabezas por granja reportada en el inventario de SEMADES, aplicando los valores arriba referidos, se calculó el volumen y masa total generada por dicho grupo de granjas porcícolas, el cálculo se efectuó para cada una de las 217 instalaciones, el resultado consolidado se presenta en la siguiente Tabla.

Tabla 6-12 Estimación de Contaminantes Generados en Granjas Porcícolas, Inventario SEMADES

Concepto	Valor	Unidad
Número de granjas	215	---
Población total de cerdos	582,078	Cabezas
Cerdos por granja (mediana)	1,300	Cabezas
Peso vivo total	32,131	Toneladas
Unidades de población animal	321,307	UPA
Volumen de descarga	11,712	M3/d
Caudal medio de descarga	136	L/s
Masa generada		
SST	192.8	Ton/d
DBO	80.3	Ton/d
NTK	16.1	Ton/d
PTOTAL	4.2	Ton/d
Concentración en la descarga		
SST	16,461	Mg/L
DBO	6,859	Mg/L
NTK	1,372	Mg/L
PTOTAL	357	Mg/L

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

Los valores presentados en la Tabla 6-12 corresponden a la masa de contaminantes generada en las granjas, antes de recibir algún manejo o tratamiento, y no se debe confundir con la que efectivamente se vierte a los cuerpos receptores.

Al comparar la concentración de los contaminantes generados, se observa que dicho valor se sitúa entre el 3er cuartil y el valor máximo indicados en la Tabla 6-11, lo que demuestra la validez de los supuestos y valores utilizados en la estimación.

Para estimar la masa de contaminantes de las granjas porcícolas que efectivamente se aporta a los cuerpos receptores superficiales se aplicó el siguiente procedimiento:

a) Con base en el número de cabezas reportado por cada granja se calcularon las Unidades de Población Animal (UPA), con peso unitario promedio de 55 kg/cabeza. A partir de este indicador se calculó el volumen de descarga por granja.

b) Se definieron las concentraciones de contaminantes para distintos niveles de tratamiento, los valores propuestos se tomaron de la Tabla 6-11, para los efluentes de fosas o lagunas pequeñas en que se retienen sólidos se aplicó la concentración del 3er cuartil; a los efluentes de lagunas de oxidación únicas se aplicó el valor del 2º cuartil; a los efluentes de lagunas primarias seguidos de una o más lagunas facultativas o de almacenamiento, se aplicó el valor del 1er cuartil. En la siguiente Tabla se presentan los niveles de tratamiento y concentraciones antes indicadas.

Tabla 6-13 Concentración de Contaminantes para Distintos Niveles de Tratamiento en Efluentes de Granjas Porcícolas, mg/L

Concepto	SST	DBO	NTK	PT
Sin tratamiento	16,461	6,859	1,372	357
Fosa o laguna de sólidos	3,175	5,252	1,058	278
Laguna de oxidación	529	825	778	101
Laguna anaerobia + Laguna facultativa o de almacenamiento	152	165	355	64

c) Una vez definido el nivel de tratamiento y la calidad del agua del efluente, se aplicó la concentración correspondiente al volumen de descarga generado por cada granja, de esta forma se obtuvo un primer acercamiento de la masa de contaminantes aportada a los cuerpos receptores, ver Tabla 6-14.

Tabla 6-14 Estimación Preliminar de los Contaminantes Descargados por las Granjas Porcícolas del Inventario de SEMADES

Concepto	SST	DBO	NTK	PT
Masa descargada, ton /d	46.8	33.0	10.9	2.1
Remoción con respecto a la generación	76%	59%	32%	49%
P. E. de la masa descargada	719,406	550,362	840,294	715,136

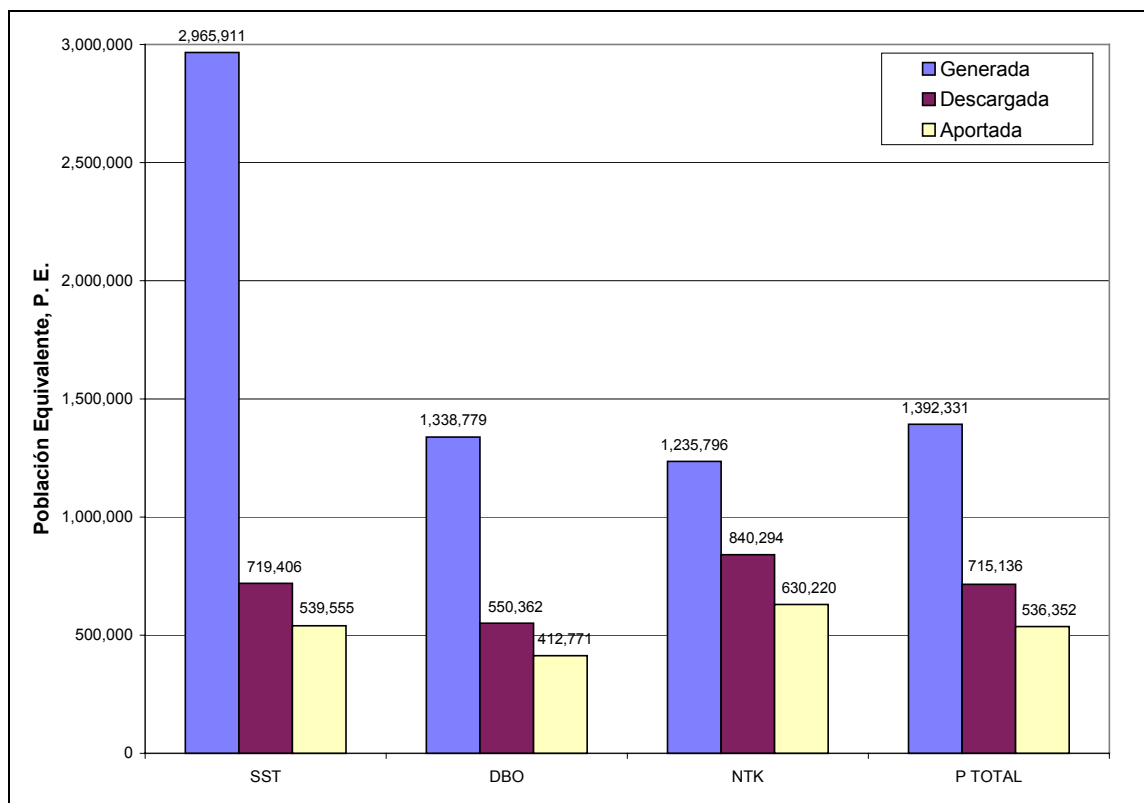
d) Los valores indicados en Tabla 6-14 se ajustaron tomando en cuenta que los efluentes, crudos o tratados, se aprovechan en algunas instalaciones para ser aplicados en riego agrícola, de pastizales o simplemente sobre el terreno. Se asume que 25% del volumen de agua residual, cruda o tratada, se aplica en riego sin generar escurrimiento hacia los cuerpos receptores. Con base en este supuesto, a la masa indicada en la Tabla previa se aplica una disminución del 25%, resultando así la masa de contaminantes que efectivamente se aporta a los cuerpos de agua superficiales por el grupo de 217 granjas porcícolas del inventario de SEMADES.

Tabla 6-15 Estimación Preliminar de los Contaminantes Aportados a los Cuerpos Receptores por las Granjas Porcícolas del Inventario de SEMADES

Concepto	SST	DBO	NTK	PT
Masa descargada, ton /d	35.1	24.8	8.2	1.6
Remoción con respecto a la generación	82%	69%	49%	61%
P. E. de la masa descargada	539,555	412,771	630,220	536,352

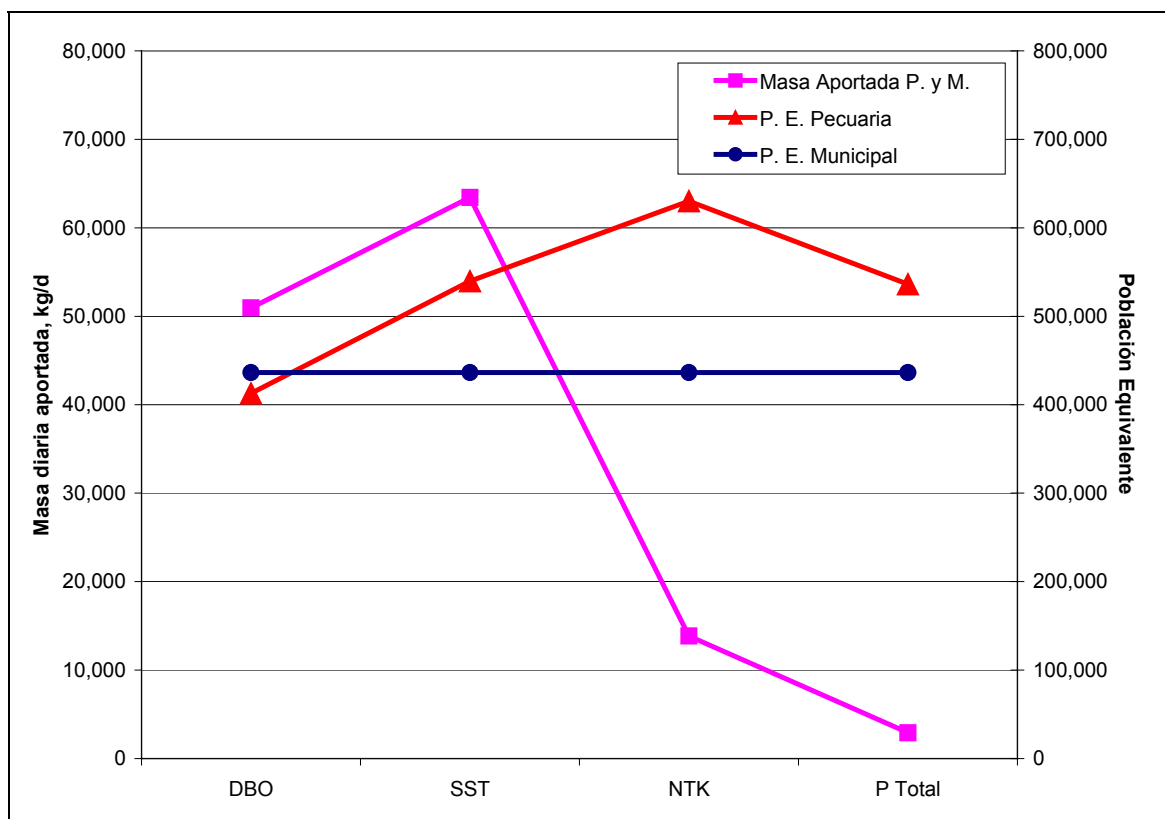
La evolución de la Población Equivalente de la masa de contaminantes generados, descargados y aportados por las granjas porcícolas se muestra en la siguiente figura, se observa que no obstante que la remoción entre aportación y generación va del 49%, en NTK, y el 82%, en SST, la masa aportada a los cuerpos receptores es aún considerable.

Figura 6-9 Variación de la P. E. generada, descargada y aportada por las granjas porcícolas



Derivado de esta estimación, es pertinente comparar las descargas de aguas residuales municipales y las de granjas porcícolas, al menos de esta muestra del 25% del total de cabezas en la cuenca del Verde. En la siguiente Figura se presenta la masa total aportada por las descargas municipales y las granjas porcícolas, así como la P. E. separada de ambas fuentes de contaminación.

Figura 6-10 Masa Diaria Aportada y Población Equivalente de las Localidades Mayores a 1,000 Habitantes y Granjas Porcícolas Inventario SEMADES



En la Figura 6-10 se observa que, con excepción de la DBO, la P. E. de los contaminantes aportados por las granjas porcícolas excede a la municipal, la excedencia es de 100,000 P. E. en Fósforo, 103,000 en SST y 194,000 en Nitrógeno.

6.3.10 Manejo y Tratamiento Adecuado de las Excretas y Residuos Líquidos de las Granjas Porcícolas

Una condición muy desfavorable para el tratamiento de las aguas residuales generadas en las granjas porcícolas es su alto contenido de materia orgánica y nutrientes, independientemente del tipo de manejo y tratamiento que hayan recibido, ver **Tabla 6-11**. Los valores del primer cuartil ahí referidos corresponden a efluentes de sistemas de tratamiento, destacando el hecho de que no obstante el tratamiento, el contenido de Nitrógeno amoniacal y Fósforo es en exceso elevado, además de la dificultad que implica reducir el contenido de nutrientes a los límites máximos fijados en la NOM-001, incluso para cuerpo receptor tipo “A”.

Ante esta situación, la práctica común en Estados Unidos de América para minimizar el efecto negativo es aprovechar el efluente tratado en riego agrícola y de pastizales, verificando que las tasas de aplicación del efluente sean acordes a los requerimientos agrológicos, gobernados por la demanda de Nitrógeno del cultivo. Dada que no se permite la descarga a otro cuerpo receptor del efluente del sistema lagunar, éste debe incluir la capacidad de almacenamiento durante el periodo de lluvias o mientras no se esté aplicando el efluente en riego agrícola.

Cuando la superficie de terreno para disponer en riego agrícola el efluente del sistema lagunar es inferior a la masa de nitrógeno presente en el efluente lagunar, la calidad del agua tratada se mejora incorporando un sistema de pantano construido o “wetland”.

Existen alternativas compactas aunque de alto consumo energético como son las lagunas mecánicamente aeradas y las zanjas de oxidación. Estos sistemas se pueden diseñar para remover la DBO, nitrificar el Nitrógeno amoniacal o incluso removerlo mediante denitrificación, seguidas de sistemas eficientes de separación de sólidos y biomasa. En virtud de su alto costo de inversión inicial y de operación y mantenimiento, aunado a su complejidad operativa, en principio no se consideran una opción viable para la mayoría de las granjas porcícolas.

En la siguientes secciones se presenta la descripción de las operaciones y procesos de tratamiento más utilizados, sus criterios de diseño y un breve ejemplo de predimensionamiento.

Separación de Sólidos

Las excretas y desechos líquidos de las granjas porcinas tienen un alto contenido de sólidos suspendidos, ricos en materia orgánica y nutrientes. Estos elementos se pueden separar y aprovechar para incorporarlos en la dieta de bovinos y otros rumiantes, o bien convertirlos en abono o composta que se aplica a terrenos de cultivo y pastizales.

La separación de los sólidos, además de generar un subproducto con potencial de aprovechamiento, produce una corriente líquida con menor carga de contaminantes lo que facilita su posterior tratamiento y/o aprovechamiento. En caso contrario, la laguna anaerobia deberá incluir la capacidad de almacenamiento de lodos para un periodo de varios años.

El retiro de los sólidos permite construir una laguna anaerobia más pequeña, ya que la acumulación de lodos se reduce, además la masa de Sólidos Volátiles disminuye lo que permite una laguna con menor volumen para tratamiento, otra ventaja adicional es que el potencial de emisión de olores disminuye.

La remoción mecánica de los sólidos en las excretas y desechos líquidos de las granjas porcícolas tiene las siguientes bondades⁶:

- Reduce el tamaño de la laguna primaria
- Reduce la superficie requerida para disponer el efluente mediante riego
- Minimiza la formación y emisión de olores
- Reduce el costo de acarreo de residuos
- Promueve el uso de composta
- Potencial de reuso de sólidos en alimentación de rumiantes
- Reduce el potencial contaminantes del agua

- Mejora la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento
- Hace factible el transporte de excretas a sitios distantes
- Reduce el costo de acarreo de residuos

Las remociones promedio de contaminantes en los sistemas de separación mecánica de sólidos tipo tornillo se indican a continuación ⁶:

- SST, 57 %
- DBO, 37 %
- DQO, 53 %
- NTK, 37 %
- Fosfatos totales, 40 %

Los valores reportados indican que la remoción mecánica de sólidos es una opción compacta y de operación simple que reduce de manera moderada el contenido de sólidos, materia orgánica y nutrientes, de esta forma la corriente líquida resultante se puede enviar a una laguna anaerobia menos cargada o bien a lagunas aerobias.

Lagunas Anaerobias

Las lagunas anaerobias son el proceso más ampliamente utilizado en México y en el mundo para el tratamiento de las excretas y desechos líquidos de origen pecuario. Las lagunas anaerobias son muy efectivas para reducir la concentración de materia orgánica presente en el influente, así como para reducir el contenido de nitrógeno mediante la volatilización del N. Amoniacal, también reducen de manera efectiva el olor de los desechos pecuarios cuando las lagunas se diseñan y operan de manera adecuada

Sin embargo el efluente de una laguna anaerobia no puede ser descargado a un cuerpo de agua receptor en virtud de que aún tiene altas concentraciones de contaminantes, en la siguiente Tabla se presentan los valores reportados por dos referencias consultadas.

Tabla 6-16 Concentración de Contaminantes en Efluente Sobrenadante de Laguna Anaerobia

Parámetro	Valor ⁷	Valor ⁸
STT	2,493	2,406
SFT	1,197	No disponible
SVT	1,296	No disponible
DQO	1,200	900
DBO	400	No disponible
NTT	350	924
NH4	220	783
Fósforo	75	103

Las lagunas anaerobias se diseñan con base en la carga volumétrica de sólidos volátiles totales, usualmente expresada como kgSVT/m³. Una fracción importante de los sólidos suspendidos aplicados a la laguna se sedimenta, de esta masa parte de la fracción volátil se remueve, transformándose en gases, agua y energía, mientras que los sólidos fijos se acumularán en el fondo. La velocidad de descomposición de los sólidos volátiles está en función de la temperatura, por lo que la carga volumétrica aceptable varía de acuerdo al sitio en que se construya la laguna.

Las cargas volumétricas de sólidos volátiles adecuadas a las condiciones climatológicas en la cuenca del río Verde están en el rango de 95 a 112 kgSVT/1000m³-d. El volumen requerido para la acumulación del lodo digerido es otro factor a considerar en el diseño, las lagunas anaerobias se diseñan para un periodo de acumulación de 15 a 20 años. En una laguna anaerobia bien operada es de 3.0 L/kgSTT aplicados, que equivalen a 0.340 m³ por cada cerdo en crecimiento/engorda.

Otras consideraciones para el adecuado diseño de las lagunas anaerobias son:

- La relación largo: ancho de la laguna no excederá de 4 a 1
- La profundidad mínima de diseño para tratamiento y almacenamiento de lodos será de 1.80 metros.
- La capacidad normal de almacenamiento del agua residual será suficiente para 90 a 180 días.
- Adicional a la capacidad de almacenamiento, se incluirá almacenamiento superficial requerido para una lluvia de 24 horas con periodo de retorno de 25 años. Para la región central de México es un tirante de 11.7 cm⁶
- Incluir bordo libre de 0.30 metros para evitar derrames sobre la corona del talud
- La pendiente de los taludes podrá ser de 1:1 en suelos arcillosos y de 3:1 en suelos arenosos.
- La permeabilidad máxima del terreno natural en la excavación de la laguna será, $k < 1 \times 10^{-7}$ cm/s.

Lagunas Aerobias

Las lagunas aerobias son una opción de tratamiento viable cuando se requiere minimizar la generación de olores y se cumplen una o dos de las siguientes condiciones: el volumen de excretas y desechos líquidos a tratar no es muy elevado y/o existe amplia disponibilidad de espacio para la construcción de las lagunas.

El diseño y dimensionamiento de las lagunas aerobias esta basado en la masa de DBO que se aplica diariamente a las lagunas, las cargas típicas aplicables están en el rango de 65 y 100 kgDBO/ha -d; otras consideraciones de diseño son:

- Tirante hidráulico mínimo, 0.60 metros
- Tirante hidráulico máximo, 1.50 metros
- Bordo libre mínimo, 0.30 metros
- Incluir un volumen para acumulación de lodo

En la **Tabla 6-17** se presenta un ejemplo abreviado de dimensionamiento de lagunas aerobias, con y sin separación mecánica de sólidos como pretratamiento.

Tabla 6-17 Predimensionamiento de Lagunas Aerobias

Concepto	Valor	Unidad
Concentración influente (3er cuartil de la Tabla 6-11)	5,252	mg/L
Caudal influente	1.00	L/s
Volumen influente	86.4	m ³ /d
Sin separación mecánica de sólidos		
Masa influente DBO	454	kg/d
Carga de diseño	100.0	kg/ha-d
Superficie requerida	4.5	ha
Tirante hidráulico de operación	0.9	metros
Volumen útil	40,842	m ³
Tiempo hidráulico de retención	15.5	meses
Con separación mecánica		
Remoción de DBO	35%	
Masa influente DBO	295	kg/d
Carga de diseño	100.0	kg/ha-d
Superficie requerida	2.9	ha
Tirante hidráulico de operación	0.9	metros
Volumen útil	26,547	m ³
Tiempo hidráulico de retención	10.1	meses

Del ejemplo anterior destacan tres aspectos:

- los requerimientos de área son significativos en ambos casos, por lo que en general las lagunas aerobias son factibles sólo en granjas pequeñas o medianas;
- la separación mecánica de sólidos permite un ahorro significativo en el área requerida, al bajar la superficie de 4.5 ha a 2.9 hectáreas, y
- el sistema es de descarga “cero” ya que las salidas por evaporación exceden las entradas de excretas y desechos líquidos y la precipitación directa sobre la laguna.

Uno de los problemas más frecuentes detectados en los trabajos de campo, es que la disposición final de los efluentes de lagunas anaerobias o de almacenamiento se efectúa aplicándolos en terrenos agrícolas, sin criterios agrológicos del requerimiento de Nitrógeno específico del cultivo que se está regando.

Los efluentes lagunares tienen aún muy alto contenido de Nitrógeno, por lo que la masa disponible usualmente excede a la que demanda la superficie a regar en la cercanía de la granja. A continuación se indican los requerimientos de nitrógeno de algunos cultivos:

- Sorgo, 135 ton/ha-año
- Soya, 245 ton/ha-año
- Maíz, 175 ton/ha-año

Como ejemplo, la demanda se estima con base en una superficie de 25 hectáreas sembradas con maíz, el requerimiento de Nitrógeno del cultivo es de 4.375 ton/año. Por el lado de la oferta, tomando como base una granja porcícola que genera un caudal promedio diario de 1.0 L/s, con una concentración de Nitrógeno de 777 mg/l (mediana de la Tabla 6-11), resulta una masa anual de Nitrógeno en el efluente de 24.5 ton/año, es decir 5.6 veces la demanda.

El nitrógeno en el efluente se afecta por varios factores que disminuyen su disponibilidad, los más importantes son la forma de aplicación del riego, la lixiviación al subsuelo y la volatilización en el periodo de almacenamiento. Algunos valores de pérdida de Nitrógeno son⁹: 25% en riego por aspersión, 5% por lixiviación al subsuelo y 10% por volatilización en la laguna que almacena el efluente, para un tiempo de 45 días.

Al recalcular la oferta de nitrógeno efectivamente disponible con la superficie disponible, ésta demanda 6.8 ton por año del Nitrógeno en el efluente de la laguna anaerobia, quedando un excedente de 17.7 tonN/año.

Este cálculo muestra el serio problema que representa la adecuada disposición del efluente en riego agrícola, en el ejemplo resulta que se tiene nitrógeno disponible en el efluente para regar 100 hectáreas, mientras que las disponibles son 25 hectáreas. La “Población Equivalente” del Nitrógeno excedente es de 3,730 personas.

Dado que difícilmente se tiene la superficie disponible y factible de regar, los productores aplican el efluente en exceso, saturando los terrenos con una costra de sólidos y nutrientes que posteriormente se lixivian y migran hacia los cuerpos de agua y/o hacia el subsuelo. En los casos más críticos el efluente satura el terreno y fluye directamente hacia los cuerpos de agua superficiales.

Pantanos Construidos o “Wetlands”

Para el tratamiento adecuado al efluente lagunar que no se puede aprovechar en riego agrícola, una alternativa de operación y mantenimiento simple y alto valor ecológico son los wetlands. A continuación se indican las remociones de contaminantes reportadas para wetlands que tratan efluentes lagunares de granjas de cerdos⁹:

- Nitrógeno amoniacal 84 - 91%
- Nitrógeno orgánico 83 – 90 %
- Fósforo total, 34 – 46 %
- DQO, 55 – 80 %
- DBO, 87 %

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

En los wetlands debidamente diseñados y operados es factible reducir la concentración de Nitrógeno total a menos de 75 mg/L. A continuación se presenta el diseño preliminar de un pantano construido.

En un primer caso, se calculará la superficie requerida de wetland para reducir el contenido de Nitrógeno en el efluente lagunar a la concentración que se puede aplicar en las 25 hectáreas disponibles, sin exceder el consumo de nitrógeno del cultivo de maíz. La granja del ejemplo hipotético es con una población porcina equivalente a 3,850 UPA's.

El diseño del wetland se efectuará con el denominado “Método presuntivo”⁹, acorde al siguiente procedimiento:

1. Se establece la carga anual y diaria de nitrógeno total a aplicar al wetland, kgN/año y kgN/d
2. Se determina la superficie de cultivo requerida para utilizar la carga de nitrógeno generada, hectáreas
3. Se estima la masa de nitrógeno requerida por la superficie de cultivo disponible, kgN/d
4. Se estima el caudal promedio diario de influente al wetland, m³/d
5. Se calcula la concentración promedio de nitrógeno en el efluente del wetland para satisfacer la demanda de la superficie de cultivo disponible, mgN/L
6. Se determina la carga superficial de nitrógeno de diseño a aplicar en el wetland, kgN/ha-d
7. Se determina el área superficial del wetland, hectáreas.

Tabla 6-18 Dimensionamiento Preliminar de Wetland, Tamaño de Granja de 3,850 UPA's

Concepto	Valor	Unidad
Caudal medio diario	1.66	L/s
	143.68	m ³ /d
Volumen anual	52,444	m ³ /año
Carga de nitrógeno		
Concentración NTT	778	Mg/L
Carga diaria	112	Kg/d
Carga anual	40,775	kg/año
	40.8	ton/año
Aplicación en riego		
Superficie disponible	25	Ha
Requerimiento de Nitrógeno del cultivo		
Sorgo	170	kg/ha-año
Método de aplicación	Aspersión	

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

Concepto	Valor	Unidad
Pérdida de nitrógeno por volatilización	25%	
Pérdida por lixiviación	5%	
Pérdida en laguna después de wetland	10%	
Requerimientos de área	173	Ha
Nota: Se excede la superficie disponible		
Nitrógeno requerido para la superficie disponible	18.0	KgNTT/d
Nitrógeno excedente	93.8	KgNTT/d
NTT efluente para satisfacer la superficie disponible	125	Mg/L
Concentración objetivo efluente	125.0	Mg/L
Carga superficial de nitrógeno	77.1	kg/ha-d
	69.1	
Superficie del wetland	1.45	Ha
Remoción de NTT	84%	%
Relación largo : ancho	4	
Ancho	60	m
Largo	241	m
Área	14,492	m

El segundo caso de diseño de wetland es cuando la concentración de Nitrógeno en el efluente se determina para descargar a un cuerpo receptor superficial, por lo que el valor se reduce de 125 mg/L del primer caso, a 75 mg/L. Este último valor si bien aún es elevado, representa una remoción del 90%, en el límite superior de la remoción de nitrógeno reportada para wetlands que tratan efluentes lagunares de granjas porcícolas.

El Programa de Acciones considera que las granjas porcícolas con descarga directa al río Verde a un afluente directo de éste, deberán contar al menos con tratamiento Nivel 1, que consta de:

- a) Fosa, laguna o dispositivo mecánico de separación de sólidos,
- b) laguna anaerobia primaria,
- c) laguna anaerobia secundaria o facultativa,
- d) aplicación del efluente en riego agrícola o sistema tipo “Wetland” y descarga a cuerpo receptor.

Los tanques o lagunas de separación de sólidos deberán tener bordos con corona al menos 0.5 metros por arriba del nivel de terreno natural, a efecto de evitar el ingreso de agua de escorrentía pluvial y el arrastre y derrame de los sólidos retenidos.

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

Las lagunas anaerobias primaria y/o secundaria deberán estar impermeabilizadas con arcilla, bentonita o “liner” plástico para evitar la infiltración y percolación de contaminantes al subsuelo y su migración hacia los acuíferos y cuerpos de agua superficiales.

De igual forma, para la aplicación en riego del efluente de las lagunas, los titulares de la descarga deberán acreditar que cuentan con la superficie suficiente para aplicar el efluente acorde a la tasa de asimilación de nitrógeno de los cultivos sembrados, además de contar con la infraestructura y equipo requerido para la conducción, distribución, aplicación del agua de riego.

Otros criterios a satisfacer para la aplicación adecuada del efluente lagunar en riego agrícola son:

- Profundidad mínima del nivel freático, 0.6 a 0.9 metros mínimo
1.5 metros, preferentemente
- Pendiente, 0 a 2 %
15%, máximo
- Permeabilidad, 5 a 50 mm/hr

Para las granjas porcícolas cuyos efluentes se vierten en un cuerpo receptor que aguas abajo se retiene en algún bordo o presa, o bien que al agua del cuerpo receptor se aprovecha en riego agrícola, se implementara el tratamiento Nivel 2, consistente en:

- a) lagunas de separación de sólidos,
- b) laguna anaerobia primaria,
- c) laguna anaerobia secundaria o facultativa,
- d) descarga al cuerpo receptor.

El fondo y taludes de las lagunas deberán construirse o recubrirse de forma adecuada para evitar la infiltración de contaminantes al subsuelo.

La calendarización que se propone para implementar o mejorar el manejo y tratamiento de las descargas de agua residual, está en función del tamaño de la granja porcícola, definido éste por el tipo y número de cabezas. A continuación se indican los tamaños en que se clasificaron las granjas, así como el período de cumplimiento.

Tabla 6-19 Tamaño de Granjas Porcícolas y Plazo de Cumplimiento

Tipo	Grande	Mediano	Pequeño
Cerdos de más de 25 kg de peso	> 2,500	750 – 2,500	< 750
Cerdos de menos de 25 kg de peso	> 10,000	3,000-10,000	< 3,000
Cumplimiento	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo
Tratamiento	Nivel 1 o 2*	Nivel 1 o 2*	Nivel 1 o 2*

* En función del cuerpo receptor

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

En las granjas de tamaño “mediano”, el cumplimiento se adelanta a “Corto plazo” cuando las descargas se efectúan directamente al río Verde, o a afluente directo del Verde a una distancia menor a 10.0 kilómetros del sitio en que confluye con el río Verde.

El mismo criterio se aplica para las granjas pequeñas, las que adelantan su cumplimiento a “Mediano plazo” cuando las descargas se efectúan directamente al río Verde, o a afluente directo del Verde a una distancia menor a 10.0 kilómetros del sitio en que confluye con el río Verde.

6.4 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS ACCIONES DE SANEAMIENTO Y MANEJO

El cronograma de acciones abarca un periodo con duración total de ocho años, las acciones de carácter urgente o de corto plazo se indican para los años 2007 y 2008; las acciones de mediano plazo se indican para los años 2009 a 2011, mientras que las de largo plazo son a partir del año 2012.

Las acciones de corto plazo de carácter no estructural son: la reclasificación de los cuerpos receptores acorde al futuro uso del río Verde como fuente de abastecimiento para uso público urbano; fijar Condiciones Particulares de Descarga a las instalaciones industriales, pecuarias y/o municipales en las que, no obstante el cumplimiento de la NOM-001 sea necesario remover otros contaminantes en el agua tratada; el monitoreo de la calidad del agua superficial y de las descargas de agua residual es otra actividad inicial, notificando a la autoridad federal del estatus de cumplimiento o incumplimiento de las fuentes puntuales de contaminación; también se deben implementar a corto plazo inspecciones periódicas a las instalaciones pecuarias intensivas situadas en la cuenca directa de los ríos Verde, Tepatitlán y Lagos, con el fin de verificar las medidas de manejo y tratamiento de las aguas residuales y excretas.

Una situación a la inversa puede ocurrir con las instalaciones pecuarias, ya que no es económicamente viable reducir el Nitrógeno a los valores que establece la NOM-001.

La SEMADES debe solicitar a los productores pecuarios la actualización de la Cédula Agropecuaria, verificando con inspecciones lo asentado en dicho documento; de esta forma se podrá definir el tamaño de las instalaciones pecuarias y, con base en ello, las acciones de tratamiento y manejo de sus aguas residuales, así como la fecha de cumplimiento.

Las acciones cuya implementación se propone a corto plazo, se definieron con base en:

- a) la masa y tipo de contaminantes que vierten al cuerpo receptor,
- b) si la descarga se efectúa directamente al río Verde, a un afluente de éste o a una corriente tributaria de un afluente del río Verde,
- c) la cercanía a alguno de los dos sitios de aprovechamiento principal del río Verde, que son las presas El Zapotillo y Arcediano y,
- d) operar de manera adecuada infraestructura de saneamiento existente.

Tabla 6-20 Calendarización de las Acciones de Saneamiento y Manejo Propuestas

Descarga / Acción	Habitantes (2005) o Población equivalente*	Descripción	Corto Plazo		Mediano Plazo			Largo Plazo		
			2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
ACCIONES NORMATIVAS Y DE CONTROL										
A. Reclasificación del río Verde y sus afluentes		Revisar la clasificación del río Verde y sus afluentes, definiendo los tramos y corrientes que cambian a cuerpo receptor tipo "C"; los que cambian a, o se mantienen como cuerpo tipo "B", y, en su caso, si algunas corrientes tributarias menores continúan como cuerpo tipo "A"	X							
B. Fijar Condiciones Particulares de Descarga			X	X						X
C. Actualización de la Cédula Agropecuaria			X	X						
D. Monitoreo de descargas puntuales industriales, pecuarias y municipales			X	X	X	X	X	X	X	X
E. Inspección periódica a la infraestructura de manejo y tratamiento de instalaciones pecuarias				X	X	X	X	X	X	X
F. Evaluación integral de la calidad del agua del río Verde, afluentes y corrientes tributarias		Con el objetivo de establecer la pertinencia de la segunda etapa del cumplimiento de la calidad del agua tratada en descargas puntuales.						X		
ACCIONES DE INFRAESTRUCTURA										
1. PTAR San Juan de los Lagos		Puesta en marcha y optimización del proceso de tratamiento	X							
2. PTAR Lagos de Moreno		Puesta en marcha y optimización del proceso de tratamiento	X							
3. PTAR Tepatitlán		Rehabilitación, ampliación y mejora del proceso de tratamiento		X						
4. Encarnación de Díaz		Construcción de PTAR		X						
5. PTAR Capilla de Guadalupe		Rehabilitación y puesta en marcha		X						

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

Descarga / Acción	Habitantes (2005) o Población equivalente*	Descripción	Corto Plazo		Mediano Plazo			Largo Plazo		
			2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
6. Acatic		Construcción de PTAR			X					
7. Yahualica		Construcción de PTAR				X				
8. Villa Hidalgo		Construcción de PTAR				X				
9. San Julián		Construcción de PTAR				X				
10. Unión de San Antonio		Construcción de PTAR				X				
11. Bajío de San José		Construcción de PTAR					X			
12. PTAR Mexxicacán		Rehabilitación o sustitución del sistema lagunar existente					X			
13. Paso de Cuarenta		Construcción de PTAR					X			
14. Pegueros		Construcción de PTAR					X			
15. Localidades con población entre 1,000 y 2,500 habitantes		Construcción de PTAR						X	X	X
16. Descargas granjas porcícolas										
Tamaño grande		Implementar o mejorar tratamiento Nivel 1 o 2 de acuerdo a cuerpo receptor	X	X						
Tamaño mediano		Implementar o mejorar tratamiento Nivel 1 o 2 de acuerdo a cuerpo receptor			X	X	X			
Tamaño pequeño		Implementar o mejorar tratamiento Nivel 1 o 2 de acuerdo a cuerpo receptor						X	X	X
Granjas de cualquier tamaño en la cuenca baja del río Tepatitlán, aguas debajo de la Presa Lagunillas		Implementar o mejorar tratamiento a Nivel 1		X	X					
Granjas de cualquier tamaño en la cuenca baja del río Lagos, aguas abajo de Presa de Alcalá		Implementar o mejorar tratamiento a Nivel 1		X	X					
Granjas de cualquier tamaño en la cuenca media del río Lagos, de aguas abajo de Lagos de Moreno a Presa de Alcalá		Implementar o mejorar tratamiento a Nivel 1				X	X			
17. Descargas Industria Tequilera		Implementar o mejorar tratamiento, acorde a la clasificación del cuerpo receptor	X	X	X					

Sección 6 – Programa de Acciones para Revertir el Deterioro del Río Verde

Descarga / Acción	Habitantes (2005) o Población equivalente*	Descripción	Corto Plazo		Mediano Plazo			Largo Plazo		
			2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
18. Buenas Prácticas de Manejo en la actividad pecuaria de ganado bovino			X	X						
Municipios de: Lagos de Moreno, Tepatitlán, San Juan de los Lagos, Encarnación de Díaz, San Miguel El Alto y Teocaltiche		Implementar programa demostrativo			X	X	X			
Resto de los municipios								X	X	X
19. Prácticas de Conservación para la actividad agrícola		Implementar programa demostrativo			X	X	X			

-
- ¹ Metcalf and Eddy. 2003. “Wastewater Engineering. Treatment and Reuse” . McGraw Hill.
- ² Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México 2002. Anuario Estadístico del Estado de Jalisco;
- ³ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México 2006. Anuario Estadístico del Estado de Jalisco
- ⁴ Comisión Nacional del Agua, México 2006. Inventario de Descargas de Aguas Residuales (IDAR)
- ⁵ Secretaría del Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Gobierno de Jalisco, México 2006. Dictámenes de Cédulas Agropecuarias.
- ⁶ Consejo Mexicano de Porcicultura A. C., México 1996. Manejo y Control de Aguas Residuales y Excretas Porcinas en México.
- ⁷ United States Department of Agriculture 1992. Agricultural Waste Management Field Handbook, Part 651.
- ⁸ USEPA, Evaluation System for Swine Waste Treatment and Energy Recovery. Jiayang Cheng¹, Kurt F. Roos², and Leland M. Saele³ ¹Assistant Professor, Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, ²Director, AgSTAR Program, U.S.E.P.A, ³Environmental Engineer, Natural Resources Conservation Service. Proceedings of the North Carolina State University Animal Waste Management Symposium, January 1999.
- ⁹ United States Department of Agriculture, 2002. National Engineering Handbook, Part 637.