UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA COSTA SUR

DIVISIÓN DE DESARROLLO REGIONAL

DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA Y RECURSOS NATURALES

"Contaminación y degradación ambiental por vinazas en el río Tonaya y su impacto en el río Tuxcacuesco"

Tesis Presentada por la Sustentante:

C. FRANCIA ELIZABETH RODRÍGUEZ CONTRERAS

Como Requisito Parcial para Obtener el Grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

AUTLÁN DE NAVARRO, JALISCO
FEBRERO 2015

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Los territorios de las cuencas proporcionan bienes y servicios ambientales invaluables para el ser humano, entre los que destaca el suministro de agua para su consumo. Las cuencas hidrográficas a nivel global se encuentran sometidas a una fuerte presión de las actividades antropogénicas que degradan y contaminan los recursos (Medina, 2002; Ortiz *et al.,* 2005; Valencia, 2007; Cotler, 2010).

En México, las aguas superficiales encontradas en ríos y humedales representan el 82% del agua renovable total del país, el resto está en el subsuelo, y es de éste de donde se abastecen la mayor parte de las necesidades públicas (Bunge, 2010). La disponibilidad natural del agua no se encuentra distribuida homogéneamente en todo el territorio, solo trece cuencas abastecen un 75% de la población total. La disponibilidad y calidad disminuyen debido a la contaminación por descargas de aguas residuales sin tratamiento (Rodríguez, 2008; Bunge, 2010).

Entre los años 2003 y 2006 en México la calidad de agua clasificada como excelente disminuyó en 32%, la contaminada aumentó en 31% y la fuertemente contaminada se mantuvo (Aboites *et al.,* 2008; Cotler, 2010). En el año 2008, se trataba 35% de las aguas residuales municipales y 18% de las residuales industriales (CONAGUA, 2010); en la actualidad, de los 243 m^3/s de aguas residuales municipales que se generan, se trata el 40.5% y de los 189 m^3/s de aguas residuales industriales se trata un 16% (Equilibrio, 2013). El drenaje de las industrias vertido sin previo tratamiento es una de las principales fuentes de contaminación a los ríos (Greenpeace, 2012; EPER, 2013). De estas industrias sobresalen la petroquímica, textil, papelera, azucarera, de agroquímicos y la minera (Medina, 2002).

Además de la mala calidad hay también un importante nivel de fragmentación de los ríos y del estado ecológico de las zonas riparias, de los cuales un 31% de la longitud de los ríos de México se encuentra en niveles mayores de deterioro eco-hidrológico, 42% en niveles alto y medio y 27% en los niveles bajo y muy bajo. 43% de las cuencas hidrográficas del país presenta un grado alto de deterioro funcional; 19.5% un grado muy alto. Además, un 50% de las cuencas presentan un grado de alteración muy alto a extremo o nivel de presión alto, lo que da un panorama general de que la situación no es muy favorable (Cotler, 2010; Garrido *et al.,* 2010). En general, más del 70% de los cuerpos de agua tiene algún grado de

contaminación (Greenpeace, 2012). Para el año 2010, se estimó que de las 393 cuencas y grupos de subcuencas en que se divide el país, 87 cuencas requieren atención prioritaria; el estado de Jalisco no se encuentra exento de esta lista de cuencas alteradas. El río Ayuquila se encuentra entre las cuencas que requieren atención prioritaria (Zarco *et al.,* 2010; Garrido *et al.,* 2010; Cotler, 2010). A pesar de su alta importancia ecológica, la cuenca Ayuquila-Armería, que forma parte de la Región Hidrológica Armería-Coahuayana presenta una presión de uso muy alta considerando el número de presas y la red de canales de riego (Cuadro 1.1). Más del 80% del volumen asignado en la cuenca es para riego de cultivos (NMX-AA-159-SCFI-2012).

Cuadro 1. 1 Calificación de la Región Hidrológica Armería-Coahuayana con base en su importancia ecológica y su presión de uso (NMX-AA-159-SCFI-2012).

Nombre de cuenca con estudio de disponibilidad	**Importancia Ecológica**	**Presión de uso**
Tacotán	Alta	Muy alta
Canoas	Media	Alta
El Rosario	Alta	Alta
Corcovado	Alta	Muy alta
Las Piedras	Alta	Muy alta
Armería	Alta	Muy alta

El desarrollo de esta investigación se plasma en varios capítulos. En el capítulo uno se presenta una breve introducción del panorama sobre la presente investigación, se describen los objetivos y preguntas de investigación. En el capítulo dos, se realiza una contextualización sobre la producción del agave en el municipio de Tonaya. En el capítulo tres, se describen los cambios en algunas variables fisicoquímicas del suelo de parcelas donde se descargan vinazas. En el capítulo cuatro se describe el análisis de variables en muestras de agua en diferentes sitios del río Tonaya y el río Tuxcacuesco, para identificar cambios en variables fisicoquímicas y presencia de contaminantes; tratando de relacionarlos con las aguas residuales provenientes de la industria agavera. Finalmente, en el capítulo cinco, con la información obtenida y una revisión bibliográfica se emiten sugerencias de posible manejo de las vinazas en el municipio. La meta es contribuir a la mejora de la calidad del agua y del suelo que redunden en la conservación de los recursos biológicos y las condiciones ambientales de la región.

1.1 Antecedentes

El río Ayuquila-Armería es el segundo más grande en Jalisco, cuenta con un área de 9,863.96 km^2 y una longitud de 321.44 km, sus aguas nacen en las sierras de Tapalpa, Quila, Cacoma y Manantlán (Santana *et al.,* 1993; Meza, 2006). Es la cuenca con mayor biodiversidad en el estado de Colima y la segunda en Jalisco; es uno de los ríos más importantes de los 100 existentes en la vertiente del Pacífico a nivel nacional y está entre los 43 ríos más importantes del país. Además, recorre 70.9 Km de territorio de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (Medina, 2002; Meza, 2006; Ortiz *et al.,* 2011). La cuenca del río Armería está formada por las subcuencas Ayuquila y Tuxcacuesco, con 23 y 20 subcuencas tributarias, respectivamente (Meza, 2006).

El río Ayuquila-Armería ha estado siendo impactado por las descargas de aguas residuales sin tratar. Entre los impactos que en términos generales produce la contaminación del agua sobre los recursos del río se encuentran: la disminución de especies acuáticas para autoconsumo aunado a una pérdida económica por las especies comerciales, disminución de poblaciones de moluscos, insectos y crustáceos, deterioro del hábitat, parasitismo y fungosis. Otros aspectos en el ámbito de la salud pública, incluyen enfermedades respiratorias y de la piel, así como padecimientos gastrointestinales por consumo de agua; en animales, muerte de ganado por intoxicación, muerte de animales de corral y abortos en vacas y yeguas. También se documentan efectos sobre uso doméstico del agua como disminución de la disponibilidad de ésta por su color alterado, mal sabor y olor (Santana *et al.,* 1993; Martínez *et al.,* 2000; Henne *et al.,* 2002).

En la parte media de la cuenca del río Ayuquila, que es una zona cañera principalmente, a finales de los años noventa la problemática de la contaminación en la cuenca era principalmente por los basureros a los márgenes del río, las descargas de aguas negras municipales y las aguas residuales de la industria azucarera del Ingenio Melchor Ocampo. En marzo 1998, este último derramó 100 toneladas de desechos líquidos de melaza generando mortandad masiva de peces en el río en un trayecto cerca de 200 km de distancia (Rodríguez, 2008; Cotler *et al.,* 2010; Aguirre *et al.,* 2011).

Por otra parte, la cuenca del río Tuxcacuesco tiene una gran relevancia en la conservación de especies, así como en el buen funcionamiento y estabilidad de los ecosistemas (Meza, 2010). Dentro de su área se ubica el Parque Nacional Nevado de Colima y el Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Quila. Dentro de la cuenca también se localizan zonas de almacenamiento de agua como es el caso de la presa Basilio Badillo (Las Piedras), importante para Jalisco y Colima pues irriga 2,732 ha y 12,000 ha en cada estado, respectivamente. Entre los principales problemas ambientales presentes en la cuenca está la contaminación de suelo y agua por productos químicos y agroindustriales (Meza, 2010).

En el municipio de Tonaya desde hace más de un siglo se cultiva el agave "verde" (*Agave angustifolia Haw*) para la producción del mezcal. También, desde 1997 incrementó el cultivo de agave azul (*Agave tequilana* Weber) utilizado para producir tequila. Este último cultivo ha tenido una fuerte expansión en el municipio debido a la demanda de materia prima que ocasionó el "auge" del tequila (Martínez *et al.,* 2007). Por consiguiente, la producción local del licor de agave aumentó significativamente, lo que se reflejó en un aumento en los desechos del proceso de destilación.

Al igual que el río Ayuquila, el río Tuxcacuesco es afectado por descargas de aguas industriales y domésticas sin tratar. El 25 de junio de 2011 ocurrió una muerte masiva de peces en el río Tuxcacuesco al lado de la cabecera municipal de Tuxcacuesco. En las inspecciones que se realizaron, se encontró que en la zona de descarga del río Tonaya, había una alta concentración de agua negra, muchos residuos flotantes, un fuerte olor fétido y ausencia de oxígeno disuelto (Martínez y Meza, 2011). La causa principal relacionada a este evento fue la descarga residual urbana del municipio de Tonaya, que además contiene la descarga de vinazas (residuo líquido de las industrias destiladoras de mezcal). Estas últimas presentan una alta concentración de materia orgánica que incrementa la demanda biológica de oxígeno (DBO) y disminuye la cantidad de oxígeno en el agua del río. Estos daños no se restringieron al río Tuxcacuesco, sino que continuaron hasta el río Ayuquila (Martínez y Meza, 2011).

La mayoría de las destiladoras en Jalisco vierten sus vinazas directamente a drenajes urbanos o cauces naturales sin tratamiento previo. Las vinazas representan una fuente importante de contaminación para el río y su fauna, por el volumen producido (de 7 a 11 litros de vinaza por litro de tequila), la carga orgánica (hasta 60,000 ppm de demanda

química de oxígeno (DQO), pH menor de 4 y una temperatura aproximada de 90°C (Martínez *et al.,* 2007; Acosta e Iñiguez, 2009). Hasta el año 2012, en Tonaya las aguas residuales de uso doméstico eran vertidas junto con las vinazas directamente al río sin ningún tipo de tratamiento.

Hasta hoy no existía un estudio particular de monitoreo de la calidad del agua en el río Tonaya que ayudara a los procesos de gestión del agua. La gestión del agua requiere una visión integradora de esfuerzos institucionales, recursos y una activa participación ciudadana (Martínez *et al.,* 2002a). Este proyecto pretende generar datos precisos de la situación actual de la calidad del agua, que sean de utilidad para diseñar una propuesta encaminada a una buena gestión. Un mejor manejo del recurso hidrológico en Tonaya no solo beneficiaría al municipio, sino que se vería reflejado en toda la cuenca (Meza, 2010).

1.2 Objetivo General

Analizar el impacto ambiental que tienen las aguas residuales de la producción agavera en los ríos Tonaya y Tuxcacuesco y en los suelos agrícolas del municipio de Tonaya, para elaborar recomendaciones para su manejo.

1.2.1 Objetivos Particulares

1. Realizar una contextualización histórica de la producción del agave en Tonaya y sus efectos socioambientales.

2. Estimar el impacto que tiene la descarga de vinazas sobre el suelo de parcelas de agave.

3. Identificar algunas variables fisicoquímicas en el agua, provenientes de las aguas residuales que son descargadas al río Tonaya y el impacto que esto tiene en la calidad del agua en el río Tuxcacuesco.

4. Presentar recomendaciones para un mejor manejo de las vinazas.

1.3 Preguntas de Investigación

1. ¿Cuáles son los antecedentes de la producción de agave en Tonaya y qué efectos socioambientales ha ocasionado?

2. ¿Cuál es el impacto de las vinazas sobre la fertilidad de los suelos?

3. ¿Cuál es el grado de contaminación que generan las descargas de las aguas residuales industriales y domesticas de Tonaya en las aguas del río Tuxcacuesco?

1.4 Ubicación de la zona de estudio

El municipio de Tuxcacuesco cuenta con una superficie total de 257.5 km^2 (Martínez *et al.,* 2002b). El río Tuxcacuesco es el segundo afluente más importante del río Ayuquila-Armería (Figuras 1.1 y 1.2), tiene una longitud de 79.5 km y ocupa una superficie de 3569.01 km^2. Entre sus 20 afluentes se encuentra el río de Tonaya (Figura1.3) que tiene una longitud de 31.42 km y un área de 338.4 km^2 (Santana *et al.,* 1993; Medina, 2002; Meza, 2006; Meza, 2010).

Figura 1. 1 Localización del río Ayuquila-Armería (obtenido de Graf *et al.,* 2006).

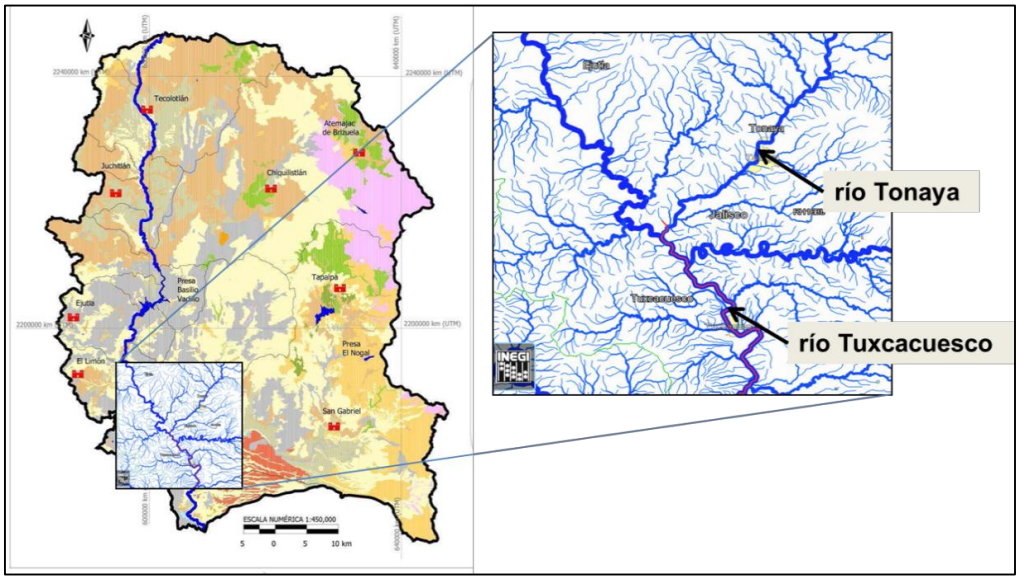


Figura 1. 2 Mapa de la cuenca Tuxcacuesco (modificado de Meza, 2010).

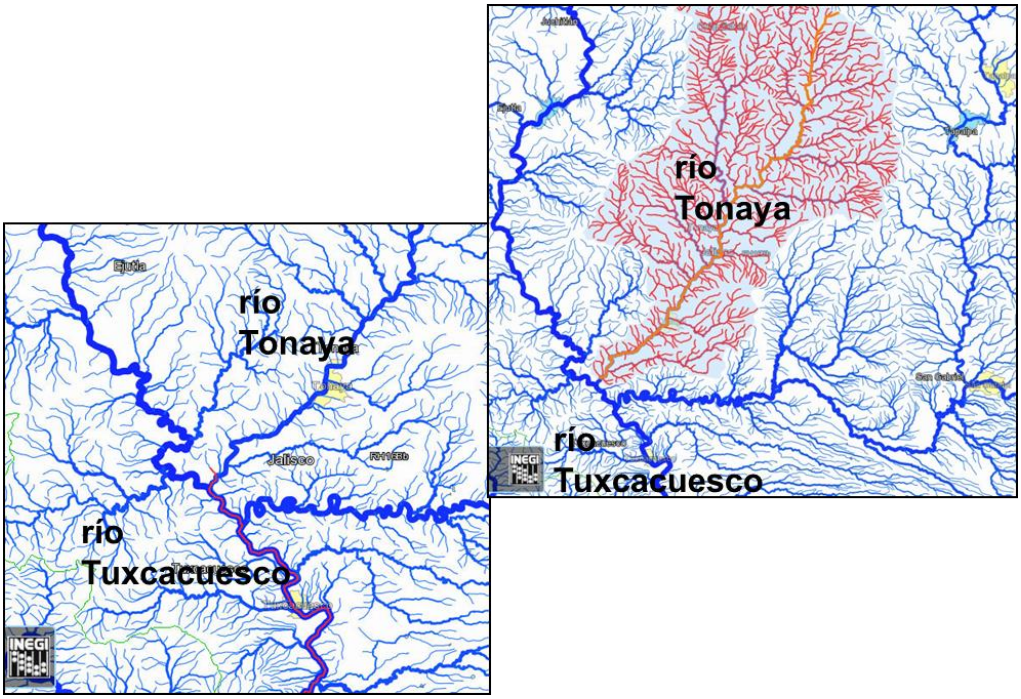


Figura 1. 3 Flujos corriente abajo y flujos corriente arriba del río Tonaya (generado con información de INEGI, 2011).

El municipio de Tonaya cuenta con una población de 5,930 habitantes (INEGI, 2010), y se localiza en la parte sur del estado de Jalisco, en las coordenadas 19° 47’ de latitud norte y 103° 58’ de longitud oeste, a una altura de 900 msnm. Limita al norte con los municipios de Chiquilistlán, al sur con Tuxcacuesco; al este con Tapalpa y San Gabriel y al oeste con Ejutla y El Limón. Su extensión territorial es de 491.28 km^2. La vegetación predominante en Tonaya son los bosques tropicales caducifolios. Los suelos dominantes son los feozem, litosoles, regosoles, cambisoles, rendzinas, fluvisoles y luvisoles. El clima es semiseco. La precipitación pluvial promedio acumulada al año es de 1646.5 mm, siendo el periodo junio-septiembre con la precipitación mayor y febrero-marzo son los meses con menor precipitación. La temperatura media anual es de 18.60°C. El río Tonaya es de caudal permanente, con los afluentes o arroyos temporales: Tepames, Santa Gertrudis, La Zorra, y Tempisque, entre otros. También existen ojos de agua como el de Coatlancillo, Amacuahutitlán y Agua Salada. La fauna terrestre incluye especies como venado, puma, mapache, onza, tejón, tlacuache, zorrillo, coyote, zorro, y diversos tipos de aves como la güilota. Los principales sectores económicos son la agricultura, ganadería y la industria del licor de agave (Martínez *et al.,* 2007; Plan de Desarrollo Municipal de Tonaya, 2007-2027).

1.5 Literatura citada

Aboites L., E. Cifuentes, B. Jiménez y M. L. Torregrosa. 2008. Agenda del Agua. Academia Mexicana de Ciencias. Red del Agua. México.

Acosta T., N. G. M. y G. Iñiguez C. 2009. Fertilizante orgánico obtenido de las vinazas tequileras y estiércol de ganado. Revista Científica Internacional. Inter Science Place. (2): 04.

Aguirre G., A., L. M. Martínez R. J. J. Sandoval L. y D. Meza R. 2011. Dinámica de la calidad del agua del río Ayuquila: una perspectiva histórica (1996-2010). Universidad de Guadalajara. CUCSUR.

Bunge V. 2010. La disponibilidad natural de agua en las cuencas de México. En Cotler A. H. 2010. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

CONAGUA Comisión Nacional del Agua. 2010. Estadísticas del Agua en México, edición 2010. SEMARNAT.

Cotler A., H. 2010. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Consultado en línea el 02 de marzo de 2012 en http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=639

Cotler H., A. Garrido, V. Bunge y M. L. Cuevas. 2010. Las cuencas hidrográficas de México: priorización y toma de decisiones. En Cotler A. H. 2010. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

EPER European Pollutant Emixxion Register. 2013. Fuentes contaminantes. Industria y contaminación. Contaminación de ríos. http://www.eper-es.es/contaminacion-de-rios/

Equilibrio. 2013. Contamina la industria ríos del país. En Agua, Noticias. 14 de enero, 2013 consultado en línea el 06 de marzo de 2013 en http://www.equilibrio.mx/2013/01/14/contamina-la-industria-rios-del-pais/12689

Garrido P. A., M. L. Cuevas, H. Cotler, D. I. González y R. Tharme. 2010. Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. INE. Investigación ambiental. 2 (1): 25-46

Graf M. S., E. Santana, L. M. Martínez R., S. García y J. J. Llamas. 2006. Iniciativa Intermunicipal para la gestión de la Cuenca del Río Ayuquila. Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente AC. Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Universidad de Guadalajara. Dirección de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

Greenpeace México. 2012. Ríos mexicanos, ríos tóxicos. Noticia 22 marzo 2012. Consultado en línea 06 de marzo de 2013 en http://www.greenpeace.org/mexico/es/Noticias/2012/Marzo/Rios-mexicanos-rios-toxicos/

Henne L. J., D. W. Schneider and L. M. Martínez R. 2002. Rapid Assessment of Organic Pollition in a West-central Mexican River Using a Family-level Biotic Index. Journal of Environmental Planning and Management 45 (5) 613-632. Carfax Publishing. Taylor and Francis Group.

INEGI. 2011. Consultado en línea el 30 marzo de 2012. Disponible en: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#

INEGI. 2010. Consultado en línea el 28 de marzo de 2012. Disponible en: http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/poblacion/default.aspx?tema=me&e=14

Martínez L., P. Gerritsen, J. Rosales, A. Moreno, S. Contreras, A. Solís, L. Rivera, O. Cárdenas, L. Iñiguez, R. Cuevas, C. Palomera, E. García, A. Aguirre y J. Olguín. 2007. Implicaciones socioambientales de la expansión del cultivo de agave azul (1995-2002) en el municipio de Tonaya, Jalisco, México. Dentro del capítulo IV Cruce de caminos: diversidad de estrategias productivas. En Colunga-García Marín P., A. Larqué, L. Eguiarte y D. Zizumbo-Villareal. En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves.

Martínez L., Carranza M. A., Aguirre G. A., Sandoval L. J. J. Olguín L. J. L. y Hueso G. E. J. 2002b. Manejo y conservación de la Cuenca del Río Ayuquila. En Reportes del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. Primer Foro Ambiental del Departamento de Ingeniería Ambiental y Manejo de Recursos Naturales Renovables. 1 (1) Noviembre.

Martínez L., A. Carranza M. and M. García. 2000. Aquatic ecosystem pollution of the Ayuquila River, Sierra de Manantlan Biosphere Reserve, Mexico. Pages 165-181 In M. Munawar, S.G. Lawrence, I.F. Munawar, and D.F. Malley, eds. Aquatic Ecosystems of Mexico: status and scope. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.

Martínez L., E. Santana C. y S. Graf M. 2002a. Una visión del manejo integrado de cuencas. Curso Manejo Integrado de Ecosistemas. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Mex. 25 Febrero – 1 Marzo.

Martínez L. y D. Meza. 2011. Diagnóstico Preliminar del Siniestro Ambiental Río Tuxcacuesco. Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Costa Sur. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Junio.

Medina N. 2002. Estudio hidrobiológico de la cuenca del río Armería para las predicciones de un desarrollo sustentable. Tesis para obtener el grado de M. C. Universidad de Colima.

Meza D. 2006. Caracterización hidrográfica de la cuenca Ayuquila-Armería mediante la aplicación de un sistema de información geográfico. Tesis para obtener el grado de I. R. N. A. CUCSUR. Universidad de Guadalajara.

Meza D. 2010. Planeación del territorio de la cuenca del río Tuxcacuesco en base al análisis multicriterio. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Costa Sur. División de Desarrollo Regional. Departamento de Recursos Naturales. Tesis para Maestro en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales. Autlán de Navarro, Jalisco.

NMX-AA-159-SCFI-2012. Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. Norma Mexicana. Secretaría de Economía.

Ortiz I., M. González del T., D. García de J., P. R. W. Gerritsen, F. J. Santana M. y L. M. Martínez R. 2011. Caracterización e integridad ecológica del sistema fluvial y de la vegetación ribereña en la cuenca del río Ayuquila-Armería. En Simposio Nacional de Restauración de ríos y riberas. CUCSUR.

Ortiz I., P. R. W. Gerritsen, L. M. A. Allen y M. Snoep. 2005. Restauración de bosques ribereños en paisajes antropogénicos, en el occidente de México. Cuba.

Plan de Desarrollo Municipal de Tonaya. 2007-2027. Ayuntamiento del municipio de Tonaya, Jalisco, México.

Rodríguez G., C. A. 2008. La gestión del agua en los gobiernos locales de México. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. Documento de trabajo núm. 41.

Santana. E., S. Navarro, L. M. Martínez, A. Aguirre, P. Figueroa y C. C. Aguilar. 1993. Contaminación, aprovechamiento y conservación de los recursos acuáticos del río Ayuquila, Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. Tiempos de ciencia (30) enero-junio: pp. 29-38. Universidad de Guadalajara.

Valencia J. 2007. Estudio estadístico de la calidad de las aguas en la cuenca hidrográfica del río Ebro. Universidad Politécnica de Madrid E. T. S. de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Edafología. Tesis doctoral. Madrid

Zarco E., A. C. Espinosa G. y M. Mazari H. 2010. Riesgo potencial de las actividades del sector económico sobre la biodiversidad y la salud humana. Las cuencas hidrográficas de México. En Cotler A. H. 2010. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

CAPÍTULO 2. CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA DEL AGAVE EN TONAYA Y SU PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

2.1 Introducción

Nuestros ancestros nombraron a los agaves “metl” o “mexcametl” (náhuatl), en honor a la Diosa Mayahuel. Según la leyenda, el primer agave nace en el lugar donde Quetzalcóatl enterró los restos de la hermosa joven. Los españoles lo llamarían “maguey” y en 1753 surge el nombre “Agave”, del griego “admirable” o “noble”, que acuñaría el naturalista sueco Carl von Linneo en su obra *Species Plantarum*. En la historia de México, el maguey ocupa un lugar preponderante, a tal grado que los antiguos mexicas, toltecas, zapotecas y mixtecos consideraban esta planta como una deidad. Tal importancia estribó en su papel económico, social y cultural, debido a los múltiples usos que se le daba a la planta: alimento, bebida, ornato, vestido, calzado, papel, medicina, construcción, instrumento agrícola, entre otros (Figura 2.1) (INAH, 1997; García, 2007; Puerto y Prudencio, 2009; Valenzuela y Gaytán, 2011; CONABIO, 2012).

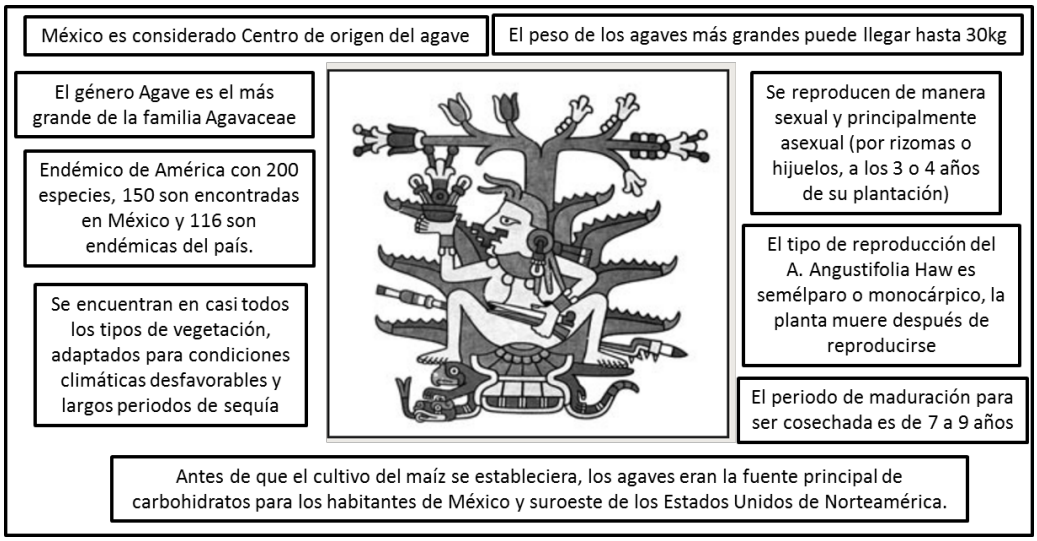


Figura 2. 1 El agave y algunas de sus características. En la imagen del centro se muestra la Diosa del Mezcal “Mayahuel” (Elaborado con base en Ramírez, 1995; Yoldi, 2000; Erowid, 2004; Molina y Córdova, 2006; García, 2007; Zizumbo y Colunga, 2007; García *et al.,* 2010).

Poco después del derrocamiento del Porfiriato, en el año 1911, el país entero buscaba expresiones y costumbres para fortalecer la identidad mexicana. El beber tequila en vez de licores importados fue una de esas expresiones. Incluso el propio gobierno atribuía a la imagen del tequila un símbolo del Estado Nacional. Así mismo, la industria cinematográfica mexicana, exitosa en los años treinta y cuarenta, contribuyó a esa imagen, pues creó un estereotipo de los mexicanos. En 1940 la industria del tequila alcanzó insospechados mercados, ocupando el mercado del whisky cuya producción se vio afectada debido a la segunda guerra mundial. A partir de 1950, la producción de tequila empezó a mejorar su calidad de producción e higiene (CRT, 2001; González y Monti, 2006).

Para 1991, el estado de Jalisco, era el principal productor de mezcal del país, en donde la fabricación se realizaba ya en forma industrial y con procesos químicos controlados en forma precisa (FAO, 1991). Jalisco es considerado el estado con más riqueza de especies de agave en el occidente del país (Puerto y Prudencio, 2009). Pero en los últimos años se ha ido incrementando el monocultivo de una sola especie. En la actualidad, la expansión desmedida del agave azul (*Agave tequilana* Weber var. Azul) en el sur de Jalisco ha ido desplazando poco a poco al agave verde (*Agave angustifolia* Haw.) que se ha sembrado tradicionalmente para la producción de mezcal en la región. El cambio del cultivo se debió al precio atractivo que ofrecían las industrias tequileras por las piñas del agave azul (Puerto y Prudencio, 2009). De la misma manera, el bosque tropical caducifolio (BTC) que domina en la región Costa Sur del estado, se ha visto afectado, ya que se ha desmontado para el cultivo del agave azul (FAO, 1991; Gerritsen y Martínez, 2010).

Otro factor decisivo para la expansión del cultivo de agave azul fue la denominación de origen para la producción del tequila al publicarse la Norma Oficial Mexicana NOM 006-SCFI-1994, que establece cuáles son los estados y municipios del país en que puede ser cultivado el agave azul y utilizado como materia prima para la elaboración del tequila; en Jalisco están incluidos todos sus municipios (Núñez, 2011).

El sur de Jalisco ha sido reconocido como un importante núcleo de diversidad y selección de agaves para la producción de bebidas destiladas que por tradición se nombran mezcal (Colunga y Zizumbo, 2007). Dicha diversidad es debida a la existencia de poblaciones silvestres de agaves y a una consistente tradición regional para elaborar y consumir estas bebidas destiladas. En la época prehispánica ya se elaboraban fermentados de agave y

ciruela. Con la introducción del destilador filipino para elaborar vino de coco y la difusión de esta tecnología durante la Colonia, la destilación de las bebidas fermentadas de agave preexistentes en el Occidente de México (Cuadro 2.1), incluido el Sur de Jalisco, se vieron fuertemente estimuladas (Colunga y Zizumbo, 2007).

Cuadro 2. 1 Hipótesis sobre la existencia de la destilación en México en tiempos precolombinos (González y Monti, 2006; Zizumbo y Colunga, 2007; Zizumbo *et al.,* 2009).

Hipótesis sobre el origen de la destilación del agave	
1	Afirma que la destilación se originó a finales del siglo XVI, desde la introducción del destilador filipino en la zona de los volcanes de Colima junto con el cultivo de coco y la población filipina, se dedicaron a producir licor de coco (*Cocos nucifera L.*) y posteriormente se adaptó a los fermentados existentes de agave.
2	La destilación tiene sus orígenes a principios del siglo XVII, desde la introducción del destilador tipo árabe junto con el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L), con su posterior adaptación a los fermentos de agave en los valles de Amatitán y Tequila en Jalisco.
3	Las vasijas Capacha tipo bule y trífidas encontradas en Colima, pudieron haber sido usadas para producir bebidas destiladas.

Dada la importancia de la explotación de agave en la región de Tonaya y la cuenca del rio Tuxcacuesco, y considerando los efectos que la explotación puede tener sobre los ambientes naturales de la región. En esta sección se realiza una contextualización histórica del cultivo del agave en Tonaya y su problemática ambiental. Este análisis se llevó a cabo mediante una investigación sobre las primeras personas en Tonaya, dedicadas a esta actividad, así como las fechas en que lo comenzaron a elaborar. También se describe el incremento de la actividad industrial relacionando con el cambio de agave verde al azul y cómo estos cambios han contribuido a la contaminación y degradación del río Tonaya. Así mismo, el impacto ejercido sobre el río Tuxcacuesco y las acciones que se han realizado para mitigar dicha contaminación.

2.2 Métodos

Se realizó una búsqueda bibliográfica para tener un acercamiento al tema en general; y posteriormente, para conocer los antecedentes existentes correspondientes a la zona de estudio.

Se recurrió a instancias locales y regionales competentes en el tema de estudio para conocer la trayectoria que han tenido las fábricas de mezcal en lo referente a la normatividad y a los acuerdos que se han tomado con las autoridades municipales para mitigar los problemas ambientales.

Para recabar información en el sitio, hubo dos fases de entrevistas semiestructuradas. La primera consistió en localizar a personas clave mediante la técnica de "bola de nieve" (Goodman, 1961) para recapitular la trayectoria y antecedentes del agave en Tonaya; fue posible entrevistar a cinco actores clave (Cuadro 2.2). La segunda fase de las entrevistas consistió en localizar a los dueños o encargados de las fábricas de mezcal de la cabecera municipal y conocer la fecha de su fundación, así como la evolución que han experimentado hasta la fecha; la información se obtuvo de cinco empresas de las siete existentes en la cabecera municipal.

Cuadro 2. 2 Datos de las entrevistas a actores clave.

Nombre	**Ocupación**
Mónico Soto	Médico
Francisco Sánchez	Historiador
Armando Corona	Empresario
María Quiles	Empresaria
Jesús Michel	Jubilado

2.3 Resultados

2.3.1 El Agave en Tonaya

Existen diversas fuentes y opiniones sobre la fecha de inicio del cultivo de agave y su procesamiento a mezcal en el municipio de Tonaya. La referencia más antigua se encuentra en el libro de Vázquez (1984) donde se hace mención de plantaciones mezcaleras en el año de 1845. La cita dice así:

"Testamento del Sr. Cura José Ma. Silva. Juzgado de la 1ª Instancia de Colima, No. 793. CIVIL. Sobre la testamentaria del finado Señor Cura de la Villa de Tuxcacuesco D. José María Silva. Año 1845.

Declaro que en la Villa de Tuxcacuesco, dos potreros ubicados en la misma Villa (de Tuxcacuesco) sembrados de mezcales, arruinadas las cercas, conocidos con los nombres de Palo Santo uno, y el otro de las Cruces, en terreno de los ejidos de la expresada Villa. Un potrero de mezcales que tengo en el Pueblo de Tonaya, que recibí del finado Don Vicente Vázquez por el término de nueve años, nombrado el Bonetillo, por cierta deuda que me debía, y convenimos en que lo disfrutara dichos nueve años, de los que se hallan vencidos ocho" (Vázquez, 1984:71).

El difunto Real Subdelegado que fue de la Villa de Tuxcacuesco dejó una huerta de mezcales en aquella jurisdicción a beneficio de su alma, y a favor de aquella mi Parroquia (pág. 73) (Vázquez, 1984:71).

De las entrevistas a actores locales, se menciona que "*A fines de 1800 y principios de 1900, el primer lugar en producir mezcal fue la Hacienda del Refugio, propiedad de unos señores Vergara".* Comenta que *"ellos plantaron agave y pusieron una fábrica de alcohol y mezcal, donde había cañaverales y mezcalera. Lo añejaban en castañas (barriles de madera)".* Comenta también que la producción era para consumo de la misma localidad de Tonaya y además lo transportaban en mulas para exportarlo a Sayula, Mascota y Cihuatlán (*com. per*. Michel, 2012). El padre del informante fue trabajador de esta taberna, y es quien le trasmitió esta información.

Se comenta que Leandro Corona y Natalia Cobián, (abuelos del entrevistado) fueron los que comenzaron a producir licor de agave. Menciona que no necesitaban plantar agave, sino que tomaban el agave que se encontraban en el campo. Para esta labor, tenían uno o dos ayudantes (*com. per*. Corona, 2012). El agave del cerro al que hace mención es el *Angustifolia haw*.

El señor Michel menciona que "*A principios de 1900 se estableció una fábrica donde Roberto Dueñas era el Administrador de la Taberna".* Comenta que, en el año 1930, en la cabecera municipal, sólo había una taberna, pero que en las localidades de San Rafael y en el trayecto de El Paso de San Francisco y El Cerrito existían también tabernas clandestinas. Ya para el año de 1940 la familia Corona, Federico Paz y Abraham Ramos elaboraban licor de agave (vulgarmente conocido como "vino") en su casa. El señor Michel es el primero en mencionar la introducción del agave azul al municipio, porque al agave verde se le conocía como "mezcal criollo" pues se encontraba en los cerros sin necesidad de plantarlo. Sin embargo, en 1940 trajeron plantas de agave azul del municipio de Tequila, Jalisco. Uno de los primeros que plantó agave azul fue Esteban Soto, en la localidad de El Paso de San Francisco, en dos potreros denominados El Casco y La Tejería. Posteriormente Federico Paz, Armando Corona y la familia Pérez-Rulfo comenzaron a plantar agave también (*com. per*. Michel, 2012).

Por otro lado, Quiles menciona que *"la primera persona en producir mezcal aquí en Tonaya fue el señor Aureliano Santana, por el año de 1940, y se lo compraba a Guadalupe Preciado (alias "El Cobrero")"*. Comenta que el producto era exportado a Ciudad Guzmán. Coincide con las versiones mencionadas con anterioridad, que el agave que se utilizaba era silvestre (agave verde). Así mismo, menciona que años más tarde Mauricio Quintero y Marcos Preciado comenzaron a producir el licor de agave (*com. per.* Quiles, 2012).

El señor Michel refiere que "*Como de 1930 a 1960, frente a donde ahora es la Unidad Deportiva, Rodolfo Paz Vizcaíno fue el primer tabernero, pero no lo hacía directamente, era solo el dueño y quien lo hacía era Domingo Medina, un viejecito. La gente decía que era el mejor tabernero, y luego fue cambiando de dueño, porque Rodolfo se fue a Tenacatita*" (*com. per*. Michel, 2012). Un dato singular es que *"A las vinazas antes se les decía tuba y las regaban en la calle, la sacaban a botes y la calle quedaba bonita, hasta brillosita y pegajosita, y la tierra se pegaba"* (*com. per*. Michel, 2012). Por lo que en un inicio de la destilación de agave, las vinazas no eran consideradas como problema ambiental.

Comenta Soto y Sánchez que en un principio las tabernas eran clandestinas y que la primera persona que procesó el agave para licor de agave (o mezcal como se conoce) fue Salvador Corona, en el año de 1957 aproximadamente (*com. per*. Soto y Sánchez, 2012). Soto expresa que cree que la primera fábrica fue "El Súper Tonaya" ubicada frente a lo que hoy es la Unidad Deportiva. Comenta Soto que "*lo quemaban, y duraba días en sus tinas y de ahí a la destilación en alambique, antes era bien puro. Cuando empezaron las demás cambiaron*

los procesos, métodos y medios" (*com. per*. Soto, 2012). Respecto al proceso en la región "*Antes sólo competían con el vino Tuxca"* (*com. per*. Soto, 2012) (recordemos aquí que la palabra vino es el nombre con el que se le conoce al licor de agave). Soto menciona que los impactos socioeconómicos son positivos, porque antes sólo necesitaban 5 o 6 mozos para la producción, y ahora, algunas fábricas tienen cientos de mozos (*com. per*. Soto, 2012).

Referente al impacto ambiental de las entrevistas, sólo Sánchez menciona que *"en 1966 había 12 tabernas, el drenaje estaba apestoso y más por las tardes"* (*com. per*. Sánchez, 2012).

La importancia del agave para el municipio de Tonaya es tal, que hasta en el escudo de armas (Figura 2.2), que se diseñó en 1986, se puede apreciar un campo de agaves (Plan de Desarrollo Municipal de Tonaya. 2007-2027).

Figura 2. 2 Escudo de armas del municipio de Tonaya (Plan de Desarrollo Municipal de Tonaya. 2007-2027).

La literatura menciona que la primera fábrica de mezcal de la región se fundó en Tonaya en 1920 por el señor Javier García. Entre los años 1929 y 1997 se consolidaron formalmente seis de las siete fábricas existentes en Tonaya. El cultivo de agave azul se incrementó en la década de 1990. Posteriormente, del 2002 al 2005, se crearon micro destilerías como resultado de la expansión y sobreproducción de agave azul en la región. (Nava *et al*., 2006; Núñez, 2011). En el Cuadro 2.3 se describen algunas características de las destiladoras existentes.

Cuadro 2. 3 Características de algunas fábricas de destilados de mezcal de Tonaya, Jalisco.

Nombre de la empresa	Fundada	Personas que iniciaron	Características	Agave
Almoloyan	1980	Mario Rubén Quintero y Alfonso Vizcaíno	El señor Mario Quintero, se mudó a Colima y quedó como dueño el señor Alfonso Vizcaíno. Sin embargo, él ya cultivaba agave desde el 1967, 8 hectáreas aproximadamente. Tiene dos características únicas de la población, conservan un proceso artesanal en la elaboración del mezcal; y desde hace 12 años producen mezcal de pechuga (le agregan una pechuga de pollo en la destilación, para darle otro sabor).	Azul y Verde
CIA BRAGA (Inicialmente Grupo Corona)	1932	Benjamín Corona Pelayo	En un inicio la producción era con agave verde, el agave azul se empezó a utilizar en el 2003 y fue comprado; en el año 2002 se plantó por primera vez en parcela propia. Actualmente se muelen como 500 toneladas de agave, del cual, aproximadamente 70% es propio y 30% se compra. De las hectáreas cultivadas, aproximadamente un 80% es azul y un 20% es verde. Además un factor sobresaliente es que la forma de abastecerse de materia prima es "comprar la huerta", es decir, ellos pagan al campesino la planta antes de que se coseche, y él mismo es quien se encarga de cuidar el agave y cuidar su tierra; es una forma más justa y segura para el campesino que cultiva agave, pues tiene ya vendida su cosecha, antes de sacarla. Otro aspecto es que desde el 2011, un 30% de lo cultivado propio es orgánico.	Azul y Verde
Comercializadora el Gran Agave, antes Grupo Lobos, de la marca Tres Coronas	1920	Benjamín Corona	La primera generación fue de 1920 hasta 1950, la segunda generación que fueron los hermanos Corona Robles hasta 1965, y en 1980 comienza con la producción la familia Corona Pérez hasta la actualidad. En 1920 producían como 100 litros diarios de mezcal puro. En 1980 se formalizó la empresa y para ese entonces producía 1000 litros diarios; en la actualidad son como 4,000 litros diarios, pero mezclados. El agave azul lo empezaron a utilizar en el año de 1960 aproximadamente. Cuentan con alrededor de 45 hectáreas cultivadas, de las cuales un 80% es agave azul y el restante 20% agave verde.	Azul y Verde
El Roble	1976	David Robles Cobián	El señor David Robles Cobián estuvo a cargo hasta 1985; después el señor José María Robles García hasta 1994, posteriormente el señor Juan Antonio Robles García hasta la fecha. Cuentan con 16 hectáreas cultivadas; la mayor parte del agave se compra a los campesinos de la región. Al principio producían como 2 tinas cada dos días, es decir, como 250 litros diarios. Ahora son como 1000 litros diarios, pero cabe aclarar que es puro, es decir, que no lo mezclan con nada. Al agave verde los pobladores lo nombran *limeño*.	Verde
Grupo Tonayan	1958	Federico Paz Osorio		Azul y Verde
Licor de Jalisco Ortiz, de la marca "Dos Gallos"	1972	Carlos Ortiz Gómez	Inició operaciones con dos marcas Ortiz y Palenque. El agave a veces lo compraban y otras lo plantaban. Al momento de iniciar se producían como 5 mil litros al mes de puro mezcal, ahora se producen como 1,200 litros al mes, pero mezclado con otros ingredientes. Actualmente ellos no tienen cultivos de agave, sin embargo, un familiar que es el proveedor, tiene plantadas como 100 toneladas del azul y verde.	Azul y Verde

Aunque del agave verde se produce mezcal, y del agave azul el tequila, estos nombres no son utilizados formalmente para las bebidas elaboradas en el municipio por decisión de los mezcaleros locales. En 1974 se emitió la Denominación de Origen del Tequila, que abarca entre su territorio a todos los municipios de Jalisco. Sin embargo, los mezcaleros de Tonaya se niegan a cumplir con las especificaciones que marca la NOM-006-SCFI-1994, además, no registran ante el Consejo Regulador del Tequila (CRT) los campos de agave azul ni tampoco las fábricas que elaboran el destilado de agave. Los productores utilizaron el nombre de "mezcal" en sus etiquetas hasta 1994, año que se emite la Denominación de Origen Mezcal (DOM) donde se excluye a todos los municipios del estado de Jalisco. Como resultado desde entonces etiquetan sus botellas con la leyenda "licor de agave". Este cambio de nombre en las etiquetas no afectó su mercado, pues ya tenían una clientela establecida local y nacionalmente (Núñez, 2011; DOF, 2012; CRT, 2013). Los nombres con los que se le conoce vulgarmente al licor de agave en la localidad de Tonaya y poblaciones aledañas son "vino" o "mezcal".

2.3.2 Consideraciones sociales y ambientales del cultivo de agave y su destilación en el municipio de Tonaya

Hasta 1980, los alrededores del municipio de Tequila, Jalisco eran los que producían la mayor parte de agave azul, necesario para el consumo nacional e internacional. Sin embargo, esta situación cambió en 1990 debido a dos factores principalmente: la autorización del Tratado de Libre Comercio de América del Norte en 1994, que dio puerta abierta a la exportación y, en 1997, a la merma en los cultivos de agave ocasionada por la bacteria *Erwinia carotova*. Estos factores fueron determinantes en el incremento en la demanda de agave azul (Cárdenas, 2008). Como consecuencia de la demanda, el precio en la región se vio incrementado, llegando hasta 16 y 19 pesos el kilo por los años 2000-2001 (Figura 2.3) (Núñez, 2011) y se vio la oportunidad en la región de cultivar el agave azul por los buenos rendimientos económicos que se pagaban.

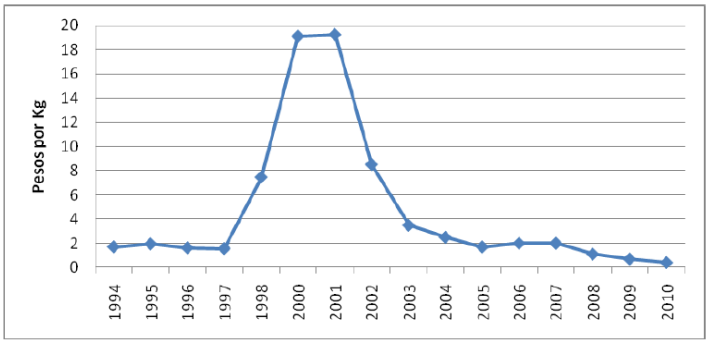


Figura 2. 3 Variaciones del precio del agave azul en la región Sierra de Amula (obtenido de Núñez, 2011).

Otro factor que influyó para la adopción del cultivo de agave azul por parte de los productores regionales, fue la ampliación del programa de apoyos directos al campo llamado PROCAMPO, el cual inicialmente otorgaba subsidios directos a los productores de maíz, sorgo y frijol, y que a partir de 1997 incluyó al agave azul entre los cultivos alternativos (Flores y Zamora, 2003).

A diferencia del sistema tradicional de cultivo del agave verde, el sistema productivo del agave azul que fue introducido requiere de grandes cantidades de insumos externos, como fertilizantes y pesticidas químicos, los cuales generan impactos ambientales importantes que no están siendo visualizados ni valorados a largo plazo en el impacto en las tierras, ni de la salud de las comunidades. Este aumento de agroquímicos, junto con los arrastres de nutrientes hacia los cauces naturales, así como el drenaje urbano e industrial no tratados, han tenido un impacto negativo en las aguas de los ríos Tonaya y Tuxcacuesco (Bowen *et al.,* 2004; Martínez *et al.,* 2007).

Normalmente, el incremento del cultivo de agave está relacionado con un impacto económico positivo en relación con otros cultivos que son de temporal. Sin embargo, esta situación debe analizarse más a detalle porque ha de contemplarse, además de la obtención de la materia prima, la venta o en su caso la transformación de la misma para asegurar la salida y rentabilidad del cultivo (Gerritsen y Martínez, 2010). Como ejemplo de esta reflexión, está la sobreproducción de cosecha que hubo en 1998, que impidió que algunos productores pudieran vender su agave, quedando endeudados con los bancos porque no pudieron recuperar su inversión y gran parte de los agaves se pudrieron en los campos (Rivera, 1998).

Cuando el agave azul entró en el municipio de Tonaya, muchas actividades agrícolas cambiaron, se dejaron de sembrar granos básicos para en su lugar plantar agave (Figura 2.4). En Tonaya existen cerca de 110 productores dedicados al cultivo de agave, incluyendo a los productores con tenencia ejidal y propiedad privada. Sin embargo, no solo la actividad agrícola se vio desplazada, la actividad ganadera también disminuyó en un 50% aproximadamente (Núñez, 2011).

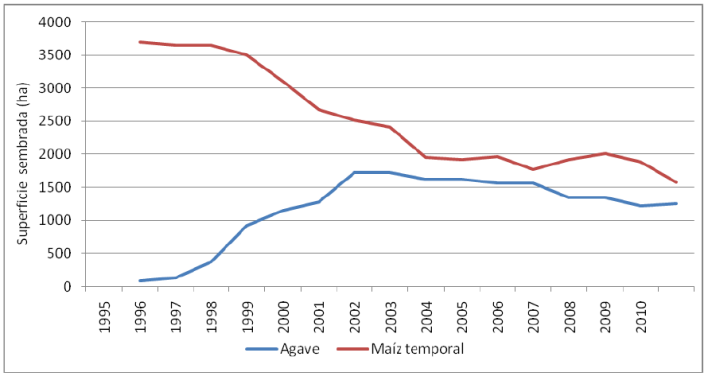


Figura 2. 4 Superficie sembrada de maíz y agave azul por año en Tonaya, Jalisco (Núñez, 2011).

Dos factores sociales que también ponen en riesgo la sustentabilidad del cultivo de agave son la edad avanzada de los productores independientes y el desinterés de las nuevas generaciones por las actividades agrícolas por los riesgos económicos o climáticos que conlleva (Moreno, 2010). Ante esta situación, los campesinos o dueños de las parcelas optan por rentar sus tierras.

2.3.3 Impactos sociales

Los impactos entre los arrendadores son positivos y negativos de acuerdo a sus percepciones, positivas por el ingreso monetario seguro que permite dedicarse a otra actividad, y negativos por el manejo inadecuado de sus tierras (Nava *et al.,* 2006). En la región, existe una relación entre el dueño de la parcela y la compañía agavera al firmarse un contrato de arrendamiento en el cual el productor cede todo el manejo de su parcela a la compañía, por lo que no se asegura la conservación ni el mejoramiento de la tierra cuando el contrato concluye (Gerritsen y Martínez, 2010).

Se han propuesto alternativas viables para que el cultivo de agave sea rentable, como la producción de miel de agave y que el gobierno proporcione créditos para este tipo de proyectos; otra opción para los pequeños productores podría ser organizarse y

destilar el agave en grupo o individualmente. Aunque esta producción sería a una escala relativamente pequeña, tendría la ventaja de la diferenciación de producto, pues el agave utilizado sería de una región y el sabor resultante sería único por las características específicas de esa región (Leclert *et al.,* 2010).

2.3.4 Impactos ambientales

Los impactos ambientales se dividen en dos apartados: el primero en los efectos ambientales del agave en el campo donde es cultivado; y el segundo en los efectos ambientales del proceso de destilación del agave.

2.3.4.1 Efectos ambientales del cultivo de agave azul

Con el incremento poblacional, el uso de agroquímicos para facilitar y aumentar la producción agrícola también ha crecido. Las sustancias químicas pueden tener efectos dañinos tanto al ambiente físico como a los organismos. Los medios por los cuales estas sustancias pueden ser adquiridas por el ser humano a partir de la agricultura son principalmente aire inhalado, agua potable, agua de lagos o ríos, agua para irrigación, tierra agrícola para cultivos comestibles y por los alimentos (Granados y López, 1996; Rivero *et al.,* 2001).

Cuando se siembra o planta un monocultivo, en este caso el agave azul, la planta es más vulnerable a enfermedades, lo que conlleva a utilizar más pesticidas. En el caso de las tierras rentadas a la compañía Azul, Agricultura y Servicios, se fumiga con avionetas para combatir las plagas, hecho que no solo afecta a estas parcelas, sino a las circundantes. Otro efecto se presenta sobre la producción de miel del municipio, porque las colmenas que se encuentran cerca de estos predios se intoxican y se deja de producir miel (Núñez, 2011).

El disponer de dos variedades diferentes de agave reduce las plagas; el agave azul, por provenir de hijuelos es más susceptible a plagas que el agave verde (Valenzuela, 2006; Núñez, 2011). El uso de agroquímicos en el cultivo de agave azul es más intenso en la etapa de plantación que el resto del ciclo; en las etapas siguientes las aplicaciones son periódicas. Agroquímicos usados en Tuxcacuesco para este cultivo incluyen: Metomilo (Lannate), Tebuthiuron (Combine 500), Halosulfuron-metil (Sempra), Glifosato (Faena), Carbofuran (Furadan 350L y Furadan 5G), Clorpirifos (Lorsban 5G), Dicloruro de 1,1'-dimetil-4,4'-bipiridilo (Paraquat, Gramoxone), Monocrotofos (Nuvacron), Terbufos (Counter 5%), Mancozeb (Manzate), Sulfato de Cobre y Cal agrícola (Flores y Zamora, 2003).

La gravedad de la toxicidad de cada pesticida está relacionada con la dosis adquirida y el tiempo de exposición a la misma. También depende del grado de susceptibilidad de cada organismo. Pero a diversas escalas, todas las sustancias, independientemente del grado de toxicidad que contengan, ocasionan algún efecto negativo a los organismos y al ambiente (Rivero *et al.,* 2001).

El indiscriminado uso de herbicidas en los cultivos de agave provoca erosión del suelo porque elimina más del 90% de la cubierta vegetal durante los siete años que permanece el cultivo; de esta manera se contribuye a la pérdida de biodiversidad (vegetación aledaña y fauna silvestre). Aunado a eso, la tendencia de establecer los surcos en el sentido de la pendiente para que al momento de cosechar sea más fácil el traslado de las piñas que son rodadas aprovechando la inclinación de la pendiente, ocasionan mayor erosión, porque el suelo está descubierto y los surcos se vuelven cárcavas potenciales (Martínez *et al.,* 2007; Moreno, 2010).

Existe una tendencia de aclareo en áreas colindantes a los cultivos de agave, particularmente en las zonas limítrofes con las áreas cubiertas por bosque tropical caducifolio (BTC). En los bosques nativos cercanos a terrenos cultivados con agave azul, en el municipio de Tonaya se ha comprobado una disminución en la abundancia y diversidad de aves y coleópteros (Martínez *et al.,* 2007). Un cambio en la cobertura vegetal conlleva a la transformación y degradación de servicios ambientales (Vitousek *et al.,* 1997). En el municipio de Tequila también hubo una transformación del paisaje, con la deforestación de la zona a partir del incremento del cultivo de agave (Hernández, 2012a).

2.3.4.2 Efectos ambientales de la producción de licor de agave

El proceso de destilación del licor de agave genera otro tipo de impacto debido a los residuos generados. Para contextualizar este impacto se explica brevemente este proceso. Al proceso de la cosecha se le denomina jima, que se inicia al separar la planta de agave de su raíz al nivel del cuello. Una vez derribada la planta, el jimador (persona que corta la planta) procede a cortar las hojas por la base utilizando una coa (herramienta agrícola) de jima, dejando descubierta una bola formada de tejidos fibrosos estructuralmente muy fuertes, con gran cantidad de agua y azúcares, conocido como piña o corazón de la planta, con lo que se termina la jima y las piñas son trasladadas a la fábrica (Flores y Zamora, 2003). En la fábrica, el proceso en general empieza en el cocimiento por medio de vapor de las piñas partidas a la mitad, el tiempo y tipo de cocción depende de cada fábrica. Posteriormente se muele y de ahí se extrae el jugo de agave, que es colocado en tinas y se le agrega agua y (en

algunas fábricas) azúcar de caña. Se mantiene ahí para su fermentación durante 4 días. Le sigue la destilación, y al residuo líquido de esta operación se le conoce como vinazas. Puede haber otra segunda destilación. Luego se deja reposando en barricas de diferentes maderas y por variado tiempo según el licor que se quiera obtener y finalmente se procede a su envasado (García *et al.,* 2010; *com. per*. J. C. Hernández, 2012).

La práctica de verter las aguas residuales a los cauces naturales es muy común en Jalisco. Al igual, que la mayoría de las destiladoras del Estado, las destiladoras de Tonaya vertían, hasta el año 2012, sus vinazas en el drenaje, y éstas a su vez iban a dar a los ríos. Por citar un ejemplo, en el municipio de Tequila, al arroyo Atizcoa le renombraron "el arroyo de la tuba" por el olor de las vinazas calientes que descargan en este arroyo (Hernández, 2012a). Otros casos similares se presentan en las poblaciones de Arandas, Jesús María, San Ignacio Cerro Gordo y Atotonilco, donde están establecidas alrededor de 40 fábricas de tequila que no tratan sus aguas residuales (Hernández, 2012b).

Las vinazas contienen materia orgánica, sales y agua y representan una importante fuente de contaminación en el agua. Se producen de 7 a 11 litros de vinazas por litro de licor destilado. Las vinazas tienen una carga orgánica que alcanza 60,000 ppm de demanda química de oxígeno (DQO) y tienen un pH menor de 4 (Martínez *et al.,* 2007). Otro dato de importancia es el efecto corrosivo que tienen las vinazas en las tuberías de drenaje y el constante mantenimiento que conlleva. En el estudio que realizaron Martínez *et al.,* (2007) en cuatro destiladoras en Tonaya los residuos rebasaron los valores máximos permitidos establecidos en la NOM-002-ECOL-1996 de temperatura, grasas y aceites, DBO_5 y el zinc.

El aumento de residuos ha sido proporcional al incremento en la producción de licor de agave en la localidad, y con ello su concentración en el agua, provocando una disminución en el oxígeno disuelto y ocasionando una reducción en la salud del río. El 25 de junio de 2011 ocurrió una muerte masiva de peces en el río Tuxcacuesco, ocasionada por la concentración de vinazas en el río Tonaya, favorecido por la reducción del caudal del río Tuxcacuesco al cerrar la Presa Las Piedras (Martínez y Meza, 2011). Este evento no fue el único, pero sí el que marcó la pauta para tomar medidas en el asunto.

En los objetivos estratégicos establecidos en el Plan de Desarrollo Municipal de Tonaya de 2007 se planteó un programa de saneamiento de la cuenca del río Tonaya con proyectos específicos. Entre ellos estaban la construcción de una planta tratadora

de aguas residuales y la reubicación de los vertederos municipales a espacios alejados de los cuerpos de agua. Así mismo, a partir de 2008 ha habido un acercamiento entre el Ayuntamiento de Tonaya e instituciones como la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila (JIRA) y el Centro Universitario de la Costa Sur (CUCSUR) de la Universidad de Guadalajara, para obtener asesoría en materia ambiental, de esta iniciativa han surgido algunas motivaciones e inquietudes y se han alcanzado acuerdos que a manera de resumen se describen en el Cuadro 2.4:

Cuadro 2. 4 Eventos que dieron pauta al mejoramiento de la Cuenca del río Tonaya. Fuente: minutas proporcionadas por SEMADES y comunicaciones personales Martínez, 2013[1].

Fecha	Evento
Jun-05	La muerte masiva de peces en el río Tuxcacuesco llama la atención de los ciudadanos.
30-jul-08	Acercamiento entre gobierno e industrias, donde muy pocas firmaron acuerdos.
20-ago-08	Intento por conocer el volumen de las vinazas; existe desconocimiento y resistencia al principio, pero se logran resultados, siendo 57,960 litros aproximadamente de vinaza producidos diariamente por las 7 empresas existentes en este año.
Jun-09	Se visita a empresas y resultan fuera de la NOM-001-ECOL-1996.
18-sep-09	Se acuerda asistir a talleres de alternativas sustentables al municipio de Tequila, Jalisco.
29-oct-09	Tres empresas están dispuestas a tratar las vinazas.
15-ene-10	El Ayuntamiento donará terreno para compostear bagazo y vinazas
19-may-11	Se acuerda no descargar aguas residuales sin tratar a cuerpos de agua. Se trató lo referente a la construcción de la planta tratadora de aguas residuales.
01-jul-11	Se presenta una nueva mortandad de peces por las descargas de vinazas. Se acuerda que cada empresa se hará cargo de sus vinazas, se buscarán terrenos para descargarlas. Existe disposición de las empresas por invertir en esta acción.
22-jul-11	Cada empresa tendrá su plan de manejo de vinazas.
05-ago-11	Se pone como fecha límite el 05 de septiembre de 2011 para 0% de descarga de vinazas al drenaje urbano.
Abr-12	Inicia operaciones la Planta Tratadora de Aguas Residuales (PTAR) de Tonaya.

[1] Comunicación personal. 2013. Monitoreo del río Ayuquila-Armería. Dr. Luis Manuel Martínez Rivera. Jefe del Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara.

2.4 Discusión

Del estudio bibliográfico y las entrevistas realizadas, resaltan algunas diferencias en los nombres de los pioneros en destilar agave en Tonaya, así como en la fecha en que se comenzó a plantarlo. Resulta interesante la cita bibliográfica (Vázquez, 1984) de que en 1845 ya había plantíos de agave (verde), lo que significa que la fecha en que se inició el cultivo de agave es todavía más antigua de lo que se estimaba, por los años que tarda el cultivo en el campo. Así mismo, es de interés el dato que menciona el Sr. Michel, sobre la introducción de agave azul que fue desde la década de 1940.

El cultivo y destilación de agave en el municipio de Tonaya es fuente de empleos locales y regionales, por lo que resulta muy importante económicamente. Además, forma parte de la cultura y del conocimiento tradicional. Por otro lado, como se ha establecido en la presente investigación, conlleva afectaciones socioambientales que son importantes resaltar, tanto durante su cultivo como en su proceso de destilación.

La reducción o sustitución de los productos agrícolas tradicionales por el agave, así como la reducción de la superficie destinada para el ganado, es posible que se vea reflejado en los conocimientos tradicionales así como en la cantidad y calidad de productos cosechados. También el incremento del cultivo de agave en el municipio de Tonaya, modificó el paisaje y disminuyó el bosque tropical caducifolio. Además, los impactos del uso de agroquímicos afectan en el corto y mediano plazo a la salud de los habitantes del municipio y la salud ambiental en general. Más aún, los efectos no quedan en el municipio únicamente, sino que continúan río abajo afectando otros municipios por su paso hasta confluir en el río Ayuquila.

Otra actividad social que se ve afectada río abajo es la recreación. La calidad del agua del río Tonaya puede afectar la costumbre de irse a bañar al río durante la Semana Santa y Semana de Pascua. Debido a la cantidad de personas que visitan la confluencia del río Tuxcacuesco con el río Ayuquila en esta época y con este fin, desde 1999 se organiza una Feria Ambiental. Esta feria, con gran afluencia de personas (para el año 2005, se registraron más de 12 mil personas y en el 2007 más de 15 mil) (Díaz, 2005; Pérez, 2007; JIRA, 2013), puede verse afectada o beneficiada indirectamente por la calidad del río de Tonaya.

2.5 Conclusión

Aunque la literatura menciona que desde 1845 ya se cultivaba agave (verde) en Tonaya, los informantes mencionan que la producción de las tabernas inició entre 1900 y 1930, por lo que se puede aludir que fue en esos años cuando comenzó a producirse de manera más comercial. Cuando empezó este crecimiento de la destilación del agave, en el municipio de Tonaya, no era un problema deshacerse de las vinazas, porque les beneficiaba que las regaran en las calles, ya que como comentaron, evitaba que se levantara tanto polvo. Aunque no se tienen datos de la cantidad de litros de licor que se generaban, se puede deducir, que no representaban problema.

Sin embargo, de 30 a 60 años después del inicio de la destilación de agave de manera más comercial, se presenta un impacto negativo para la población, el mal olor del drenaje, proveniente de las vinazas vertidas a este. Así desde, 1966 y hasta 2011, es decir, 45 años después de que comenzaron con los problemas provenientes de las vinazas, se tomaron cartas en el asunto, para remediar este impacto negativo.

Se debe mencionar que, la cantidad de vinazas generada al inicio, no era la misma que se genera en la actualidad, porque así como el cultivo se fue incrementando, se fue incrementando los residuos generados. Por lo que resulta importante establecer una alternativa para el destino final de las vinazas.

Hasta la fecha no hay investigaciones continuas referentes a la calidad del río Tonaya y sus alcances locales, planteándose como un tema de interés e importancia social, económica y ambiental por estudiar.

Aunque el cultivo y destilación de agave ya representa una importante fuente de empleos para la economía del municipio de Tonaya, cuenta con una potencialidad turística que no se está explotando. El arraigo del cultivo de agave, que como se encontró en la literatura, se cultiva desde hace más de 160 años. Se podría tomar de ejemplo a otras regiones con más auge en esta actividad económica, semejantes en el giro de la producción de bebidas alcohólicas y hacer de Tonaya un lugar turístico, representativo del agave.

2.6 Literatura citada

Bowen, S., A. L. Duran A. y P. R. W. Gerritsen. 2004. Análisis cuantitativo del Agave en los municipios de Autlán, El Grullo, El Limón, Tonaya y Tuxcacuesco. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Costa Sur (CUCSUR). División de Desarrollo Regional. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Informe.

Cárdenas O. 2008. Causes and Consequences of Deforestation and Land-cover Change in Rural Communities of Western Mexico. Analysis of the expansion of blue agave (Agave tequilana Weber) in the municipalities of Autlan de Navarro and Tuxcacuesco, Jalisco, Mexico. Chapter III. http://books.google.com.mx/books?id=2Tx3WmiU64EC&pg=PA100&lpg=PA100&dq=analysis+of+the+expansion+of+blue+agave&source=bl&ots=EiYkjkaVz4&sig=IqWd2hct78o7BEjXNVMFNmnRx-s&hl=es-419&sa=X&ei=2Zk_UczhOYbk2AWnw4GgCw&sqi=2&ved=0CC8Q6AEwAA#v=onepage&q=analysis%20of%20the%20expansion%20of%20blue%20agave&f=false

Colunga M. y D. Zizumbo V. 2007. El Tequila y otros mezcales del centro-occidente de México: domesticación, diversidad y conservación de germoplasma. En Colunga-García Marín P., A. Larqué S., L. E. Eguiarte y D. Zizumbo-Villareal. En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, CONACYT, CONABIO, SEMARNAT e Instituto Nacional de Ecología.

CONABIO. 2012. Biodiversidad Mexicana. Mezcales. Historia natural. Consultado en línea el 06 de noviembre de 2012 http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/mezcales/mHistoria.html

CRT Consejo Regulador del Tequila. 2011. El Tequila, Historia. Final. Consultado en línea el 5 de diciembre de 2011 en http://www.crt.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=64%3Ahistoria&catid=43%3Ael-tequila&Itemid=173&lang=es

CRT Consejo Regulador del Tequila. 2013. Declaratoria general de protección a la Denominación de Origen “Tequila”. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Dirección General de Invenciones y Marcas. Consultado en línea el 15 de marzo de 2013 en http://www.crt.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=169&Itemid=178&lang=es

DOF Diario Oficial de la Federación. 2012. Modificación a la declaración general de protección de la denominación de origen “Mezcal”. IMPI. Consultado en línea el 22 de noviembre de 2012 en http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5278677&fecha=22/11/2012

Díaz J. 2005. Iniciativa Intermunicipal para la Gestión Integral de la Cuenca del Río Ayuquila (IIGICRA) Autlán, Ejutla, El Grullo, El Limón, San Gabriel, Tolimán, Tonaya, Tuxcacuesco, Unión de Tula, Zapotitlán de Vadillo; Jalisco.

Erowid F. 2004. The Spirits of Maguey. The values of Erowid. Consultado en línea el 15 de marzo de 2013 en http://www.erowid.org/chemicals/alcohol/alcohol_article1.shtml

FAO. 1991. Cinco estudios de caso sobre el uso de dendroenergía en industrias rurales de México. El consumo de leña en la producción de mezcal. El caso de Santiago Matatlan, Oaxaca. Consultado en línea el 9 de enero de 2013 en http://www.fao.org/docrep/006/AD096S/AD096S03.htm

Flores E. y Zamora J. 2003. Análisis socioambiental de la expansión del cultivo de agave azul (Agave *tequilana* WEBER) en los municipios de Autlán de Navarro y Tuxcacuesco, Jalisco. Tesis profesional para obtener el grado de Ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios. Autlán de Navarro, Jalisco. Octubre. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara.

García A. 2007. Los agaves de México. Ciencias 87. Julio-Septiembre. Consultado en línea el 16 de enero de 2013 en http://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/87/02/Los%20agaves%20de%20Mexico.pdf

García E., S. Méndez G. y D. Talavera M. 2010. El género agave spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. VIII Simposium-Taller Nacional y 1er Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal". RESYN Revista Salud Pública y Nutrición, Ed. Especial No. 5-2010.

Gerritsen P. y L. Martínez R. 2010. Agave azul, sociedad y medio ambiente. Una perspectiva de la Costa Sur de Jalisco. CUCSUR. Universidad de Guadalajara. DERN-IMECBIO.

González A. y Monti C. 2006. Rutas Culturales de Jalisco. Itinerarios para conocer la riqueza patrimonial. En Rutas e itinerarios culturales en Iberoamérica. Patrimonio Cultural y Turismo. CONACULTA.

Granados D. y G. López R. 1996. Agroecología. Universidad Autónoma de Chapingo. México.

Goodman A. 1961. Snowball Sampling. The Annals of Mathematical Statistics 32. No. 1, 148-170. Consultado en línea el 30 de marzo de 2012 en http://projecteuclid.org/euclid.aoms/1177705148.

Hernández J. 2012a. Paisaje y creación de valor. La transformación de los paisajes culturales del agave y del tequila. Colegio de Michoacán.

Hernández J. 2012b. Las Vinazas del tequila. Nuevos usos, viejas prácticas en el tratamiento de las aguas residuales del tequila en Los Altos de Jalisco. En Guillermo de la Peña Topete y Jorge Aceves. Visiones múltiples. El Occidente de México desde la antropología y la historia. CIESAS, COECyTJal. Guadalajara.

INAH Instituto Nacional de Antropología e Historia. 1997. Diosa Mayahuel. Museo del templo mayor, México. Consultada en línea el 13 de marzo de 2013 en http://archaeology.asu.edu/tm/pages/mtm38a.htm

JIRA Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca baja del Río Ayuquila. 2013. Consultado en línea el 18 de marzo de 2013 en http://www.jira.org.mx/jir01/principal/index.php/2-uncategorised/42-programa-feria-ambiental-rio-ayuquila-2013

Leclert L., P. Gerritsen y Meulen H. 2010. Agave azul: crisis cíclicas y las posibilidades para la planeación del cultivo en el estado de Jalisco. En Gerritsen P. R. W. y L. M. Martínez R. 2010. Agave azul, sociedad y medio ambiente. Una perspectiva de la Costa Sur de Jalisco. CUCSUR. Universidad de Guadalajara. DERN-IMECBIO.

Martínez L., P. Gerritsen, J. J. Rosales A., A. Moreno H., S. Contreras M., A. Solís M., L. E. Rivera C., O. G. Cárdenas H., L. I. Iñiguez D. R. Cuevas G., C. Palomera G., E. García R., A. Aguirre G. y J. L. Olguín L. 2007. Implicaciones socioambientales de la expansión del cultivo de agave azul (1995-2002) en el municipio de Tonaya, Jalisco, México. En Colunga-García M. P., A. Larqué S., L. E. Eguiarte y D. Zizumbo-Villarreal. 2007. En lo ancestral hay un futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves. México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, CONACYT, CONABIO, SEMARTAT e Instituto Nacional de Ecología.

Martínez L. y D. Meza. 2011. Diagnóstico Preliminar del Siniestro Ambiental Río Tuxcacuesco. Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Costa Sur. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Junio.

Molina J. y Córdova T., L. 2006. Informe Nacional sobre el estado de los recursos fitogenéticos él para la agricultura y la alimentación. Recursos fitogenéticos en México para la alimentación y la agricultura. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Sociedad Mexicana de Fitogénetica, A. C. Chapingo, México. Disponible en http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/Mexico.pdf

Moreno A. 2010. Factores asociados a la sustentabilidad de agroecosistemas de agave azul (Agave tequilana weber) en la sierra de Amula, Jalisco: propuesta metodológica para su medición. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Campus Puebla. Colegio de Postgraduados.

Nava A., A. Moreno H., P. Gerritsen y J. Rosales A. 2006. El agave en Tonaya, Jalisco: Tradición vs globalización en Carta Económica 97 regional. Revista del Departamento de Estudios Regionales-Ineser. Universidad de Guadalajara. México. Julio-Septiembre.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd38/Mexico/NOM002ECOL.pdf

Núñez H. A. 2011. La construcción de nichos alternos en el mercado de las bebidas espirituosas en México: los licores de agave de Tonaya sin la protección de la Denominación de Origen Tequila, ni Mezcal. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, CIESAS. Tesis Maestro en Antropología Social.

Pérez C., G. 2007. Los alcances de la educación ambiental en la gestión integral de los desechos sólidos municipales. Tesis de Maestría en Ciencias de la Educación Ambiental. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. México.

Plan de Desarrollo Municipal de Tonaya. 2007-2027. Ayuntamiento del municipio de Tonaya, Jalisco, México.

Puerto S., M. G. y Prudencio G., A. L. 2009. Caracterización del agroecosistema tradicional y diversidad *in situ* de agaves mezcaleros en Monte Grande, Tolimán, Jalisco. Tesis profesional para obtener el grado de Ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Costa Sur.

Ramírez, J. 1995. Los magueyes, plantas de infinitos usos. CONABIO. Biodiversitas 3:1-7

Rivera, M. 1998. El Boom del tequila. Disponible en http://www.jornada.unam.mx/1998/03/01/mas-rivera.html

Rivero O., P. Rizo R., G. Ponciano R. y G. Oláiz F. 2001. Daños a la salud por plaguicidas. Ed. El Manual Moderno. Consejo de Salubridad General. Facultad de Medicina, UNAM.

Valenzuela A. 2006. Agave Azul. Historia por venir. En Rutas e itinerarios culturales en Iberoamérica. Patrimonio Cultural y Turismo. CONACULTA.

Valenzuela A. y M-S Gaytán. 2011. Mayahuel la diosa pulquera. La Jornada en la ciencia. Consultado en línea el 13 de marzo de 2013 en http://ciencias.jornada.com.mx/investigacion/ciencias-quimicas-y-de-la-vida/investigacion/mayahuel-la-diosa-pulquera

Vázquez L., C. F. 1984. Altos estudios en Colima 1760-1882. Colección Collimán I. Colima, Col.

Vitousek P. M, H. A. Mooney, J. Lubchanco y J. M. Melollo. 1997. Human Domination of Earth´s Ecosystems. Science, New Series, Vol. 277: 494-499.

Yoldi, M. 2000. Agave Tequilero; Pencas que abrazan al mundo. Revista Abriendo Surcos. Noviembre. Ed. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria.

Zizumbo V. D., F. González Z., A. Olay B., L. Almendros L., P. Flores P. y P. Colunga G. M. 2009. Distillation in Western Mesoamerica before European Contact. Economic Botany, XX(X). The New York Botanical Garden Press, Bronx, NY.

Zizumbo V., D. y P. Colunga G. M. 2007. La introducción de la destilación y el origen de los mezcales en el occidente de México. En Colunga-García Marín P., A. Larqué S., L. E. Eguiarte y D. Zizumbo-Villareal. En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, CONACYT, CONABIO, SEMARTAT e Instituto Nacional de Ecología.

CAPÍTULO 3. EFECTO DE LA DESCARGA DE VINAZAS EN UNA PARCELA AGRÍCOLA CON CULTIVO DE AGAVE

3.1 Introducción

Jalisco tiene el privilegio de que todos sus municipios se ubiquen dentro de la zona donde se puede producir tequila según la Denominación de Origen del Tequila (Núñez, 2011). El Estado es reconocido en todo el país como el productor número uno de tequila. Las zonas reconocidas como mayores productores de tequila incluyen Los Altos y el Centro de Jalisco, también la región Sierra de Amula y la Costa Sur de Jalisco que han tenido una fuerte expansión del cultivo de agave azul. En el 2012 en Jalisco se destilaron 260 millones de litros de tequila (El Informador, 2012; CRT, 2013), esto sin contar los volúmenes de bebidas destiladas a las que no se les puede nombrar tequila, como es el caso de Tonaya que produce licor de agave. La industria de destilados genera dos tipos de residuos, los sólidos denominados bagazo y los líquidos que se conocen como vinazas; estos residuos líquidos son el interés particular de esta investigación. Utilizando el dato de producción anual (2012) de tequila y conociendo que se generan de 7 a 11 litros aproximadamente de vinaza por litro de tequila, podemos calcular que en 2012 se generaron aproximadamente 2,860 millones de litros de vinazas (Castro, 1996; Chávez, 1997; Pérez, 1997; Monroy, 1999; Acosta e Íñiguez, 2009; Hernández, 2012).

Las vinazas están compuestas por fibrillas de agave, células de levadura agotadas, ácidos, ésteres, alcoholes superiores y sustancias que dan color caramelo (Linerio, 1999). Las características fisicoquímicas generales de las vinazas son: una alta carga orgánica (presenta una DQO de 50,000 a 80,000 mg/L y una DBO de 40,000 mg/L), un pH ácido (menor a 4), una temperatura elevada (80°-90°C al salir de la fábrica) y altas concentraciones de sales (Juárez, 1991; Castro, 1996; Chávez, 1997; Pérez, 1997; Monroy, 1999; Madrigal, 2000; Leal *et al.,* 2003; Íñiguez *et al.,* 2005; Acosta e Íñiguez, 2009; Naranjo, 2009). Según Monroy (1999), las vinazas son ricas en los macronutrientes (p.e., N, P, K, Ca y Mg) requeridos por las plantas.

La práctica de verter las vinazas al drenaje público urbano, a embalses naturales o el suelo es común en el estado de Jalisco (Hernández, 2012). La gran cantidad de materia orgánica de las vinazas representa un problema directo a los peces y plantas acuáticas porque disminuye el oxígeno disponible en el medio. Esto puede generar mortandades de peces como la ocurrida en 2011 en el río Tuxcacuesco (Martínez y Meza, 2011). El vertido de vinazas al río también afecta directamente los agricultores y ganaderos que utilizan el agua del río para su actividad productiva. El equilibrio ecológico de los cuerpos de agua se pone en riesgo por la contaminación que generan las vinazas debido a la demanda de oxígeno necesaria para degradar los materiales orgánicos, así como el pH ácido y la alta temperatura que se generan (Madrigal, 2000).

La problemática de las vinazas tequileras es similar a la de las vinazas de la industria azucarera, pues tienen una composición parecida y también son en ocasiones vertidos a los cuerpos de agua sin previo tratamiento. Sin embargo, la industria azucarera ha estudiado algunas alternativas de mitigación de la contaminación. La industria tequilera está adoptando algunas de estas propuestas; en los últimos años la alternativa más empleada está siendo el riego de las vinazas en los suelos destinados a la producción alimenticia (Álvarez *et al.,* 2008; Acosta e Iñiguez, 2009).

3.2 Justificación

El municipio de Tonaya destaca por ser el productor principal de destilado de agave en la región Sierra de Amula, Jalisco. Esto a su vez se refleja en una gran cantidad de desechos que genera esta industria. En el 2011 desechaban un aproximado de 58,000 litros de vinazas diarios (SEMADES, 2011). Las vinazas eran descargadas a las aguas residuales urbanas de Tonaya, lo que ocasionaba los diversos impactos descritos anteriormente, afectando además a los agricultores de Tuxcacuesco, ya que la mala calidad del agua del río evitaba que la pudiesen utilizar para sus labores de agricultura y ganadería.

Debido a estas circunstancias, desde 2008 se empezaron a tomar medidas correctivas. Primero hubo un acercamiento entre el gobierno municipal, las instituciones reguladoras ambientales y las empresas destiladoras. Aunque al principio no hubo respuesta de todas las empresas, para 2009 intervinieron las autoridades en una revisión a algunas empresas. En esta revisión se les encontró fuera de la NOM-002-ECOL-1996, lo que ocasionó su disposición de asistir a talleres para buscar alternativas sustentables.

En 2010 se llegó al acuerdo de que se compostearía el residuo sólido de la destilación de agave (bagazo) junto con las vinazas, y que el Ayuntamiento donaría un terreno para tal empresa (minutas SEMADES, 2011). En 2011 se acuerda la construcción de una planta tratadora de aguas residuales urbanas (PTAR) en Tonaya. Debido a ello y a partir de entonces, se prohíbe verter vinazas al drenaje. Fue hasta agosto de ese año cada empresa comienza a hacerse cargo de sus vinazas. Como una medida provisional e inmediata, las vinazas son neutralizadas con cal y previo enfriamiento, descargadas en parcelas privadas. Esta regla no fue cumplida en su totalidad por las empresas, lo que se descubrió hasta abril de 2012 (al término de la construcción de la PTAR). Al detectarse la entrada de vinazas a la PTAR (destinada a tratar exclusivamente aguas residuales urbanas) el agua era desviada directamente al río para no colapsar el sistema operativo de la planta. Esto sirvió para llamar la atención de las empresas y hacer que cumplieran el acuerdo al que se había llegado de descargar las vinazas en las parcelas. La entrada de vinazas a la planta fue disminuyendo paulatinamente hasta llegar a cero descargas, en febrero de 2013.

Debido al aumento en las aguas residuales a nivel mundial, en diversas partes del mundo se ha tratado de generalizar la práctica de regar cultivos agrícolas con aguas residuales urbanas e industriales. Entre los beneficios de utilizar las aguas residuales para irrigación se encuentran el tratamiento y la eliminación de éstas a bajo costo, la conservación de los cuerpos de agua y el aprovechamiento de nutrientes. También es ideal para zonas áridas o semiáridas, porque se ahorra agua. Sin embargo, hay que estudiar a fondo problemas potenciales relacionados con la salud y los efectos de metales pesados (Braatz y Kandiah, 1996) que pueden surgir de la utilización de las aguas negras para irrigación.

Entre los diferentes métodos de tratamiento de las vinazas el más utilizado es la irrigación, aunque el impacto de esta práctica ha sido poco estudiada (Acosta e Íñiguez, 2009). Sin embargo, hay estudios que recomiendan utilizar las vinazas tequileras como fertirriego con un previo tratamiento que corrija el pH (Leal *et al.,* 2003), y que los niveles usados sean dosificados para evitar la salinidad, cambios microbianos en la flora natural, malos olores y contaminación de los mantos freáticos (Acosta e Íñiguez, 2009). La irrigación con vinazas también pueden mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, aumentando la disponibilidad de algunos nutrientes, manteniendo su fertilidad e incrementando su microflora (Pérez, 1997).

Tomando el ejemplo de otros municipios productores de tequila, en Tonaya cada empresa neutraliza sus vinazas con la adición de cal, las dejan reposando para que se enfríen y posteriormente las riegan en parcelas privadas, algunas con cultivos de agave. Cabe mencionar que el regar las vinazas, no es para cumplir con la función de regar el cultivo de la parcela, sino para deshacerse de las vinazas. Como esta disposición de las vinazas es una actividad que está comenzando, existe el desconocimiento y la incertidumbre de cuál será el efecto sobre el suelo. La presente investigación tiene como objetivo estimar el impacto que tienen las vinazas en las parcelas donde son regadas.

3.3 Métodos

3.3.1 Área de estudio

El municipio de Tonaya se ubica en la parte sur del estado de Jalisco, en las coordenadas 19°47” de latitud norte y 103°58” de longitud oeste (Figura 3.1). Limita al norte con el municipio de Chiquilistlán, al sur con Tuxcacuesco, al este con Tapalpa y San Gabriel y al oeste con Ejutla y el Limón. La mayor parte del municipio es accidentado, ocupado por montañas que pertenecen a las estribaciones de la sierra de Tapalpa; la zona semiplana está cubierta por vegetación subtropical (Tonaya, 2013). Tiene una superficie de 327 Km^2. La cabecera municipal de Tonaya se encuentra a 820 msnm, y el territorio municipal tiene alturas entre los 740 y 2,100 msnm. El 48% del municipio tiene terrenos montañosos, con pendientes mayores a 15°. La mayor parte del municipio (57.6 %) tiene clima cálido subhúmedo, la temperatura media anual es de 22.4°C, siendo sus máximas 33.4°C y las mínimas 10.9°C. El municipio tiene una precipitación acumulada media anual de 1646.5 mm. El tipo de roca predominante es arenisca–conglomerado (26.8%), epiclásticas, originada a partir del intemperismo y erosión de rocas preexistentes. Estas rocas están constituidas por minerales en fragmentos de tamaño arena y otras de grano grueso. El suelo predominante es el regosol (63.9%); los suelos son de poco desarrollo, claros y pobres en materia orgánica, pareciéndose a la roca que les da origen, son someros con fertilidad variable y su productividad se relaciona a su profundidad y pedregosidad (SIEG, 2012).

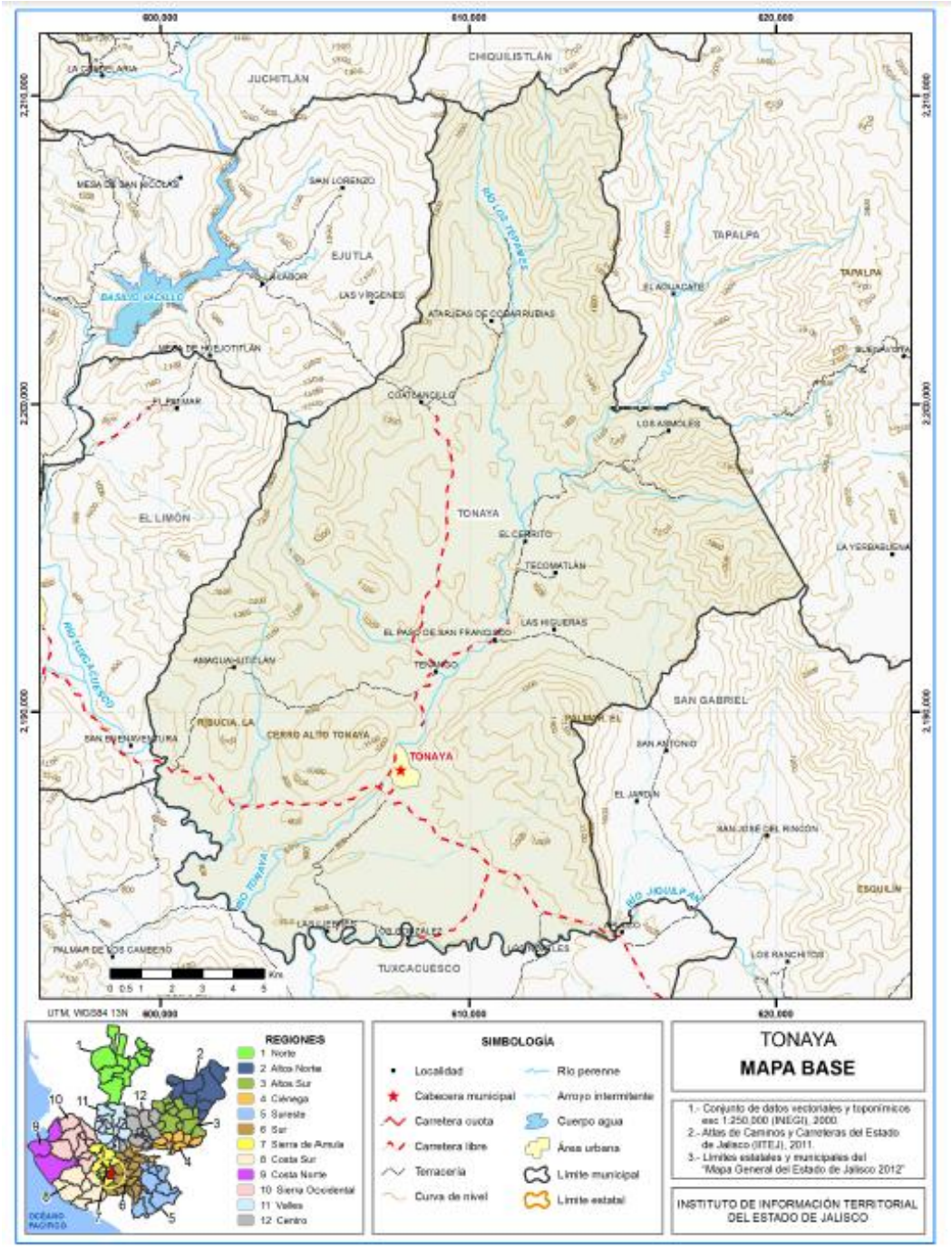


Figura 3. 1 Municipio de Tonaya, Jalisco (obtenido de SIEG, 2012).

3.3.2 Selección y caracterización del sitio

La investigación se realizó en colaboración con la empresa CIA BRAGA que es la que destila más del 50% de la producción total del municipio de Tonaya. Esta empresa, en cumplimiento con el acuerdo que se alcanzó en 2011, de no descargar vinazas al alcantarillado municipal (Cuadro 2.4, capítulo 2), estableció una parcela destinada a la distribución de las vinazas que produce. Cabe mencionar que la irrigación como tal, en este caso, no se refiere a agregar humedad por necesidad del cultivo (en este caso agave), sino con el propósito únicamente de deshacerse de las vinazas. En 2012 se inicia la presente investigación para evaluar esta medida de mitigación sobre los suelos. La investigación se ajustó a lo que la empresa estableció previamente, como fue la parcela irrigada con vinazas y la ubicación de las mangueras de riego en la misma.

La parcela se ubica en un terreno de lomerío irregular al norte del municipio y tiene una altura promedio de 940 msnm. La superficie irrigada dentro de la parcela es de casi aproximada es de 24,000 m^2. Al norte del polígono irrigado (coordenadas 19°49´14.63” N y 103°59´17.81) se ubica el Tanque de Geomembrana (Figura 3.2) que contiene las vinazas tratadas a una altura de 945 msnm. El sitio con la manguera más alejada del tanque tiene una reducción de altura de 6 metros.

Figura 3. 2 Tanque de Geomembrana en el cultivo de agave.

En el área de estudio se establecieron cuatro sitios ubicados a diferentes distancias y alturas para determinar si la cercanía del tanque tendría alguna influencia sobre el suelo (Figura 3.3). Las líneas negras en la Figura 3.3 representan algunas de las mangueras perforadas utilizadas para descargar las vinazas. Las letras A, B, C y D representan los sitios de muestreo en las Figuras 3.3 y 3.4. También se estableció un sitio de referencia sin riego de vinaza, que se muestra en la Figuras 3.3 y 3.4 con la letra T.

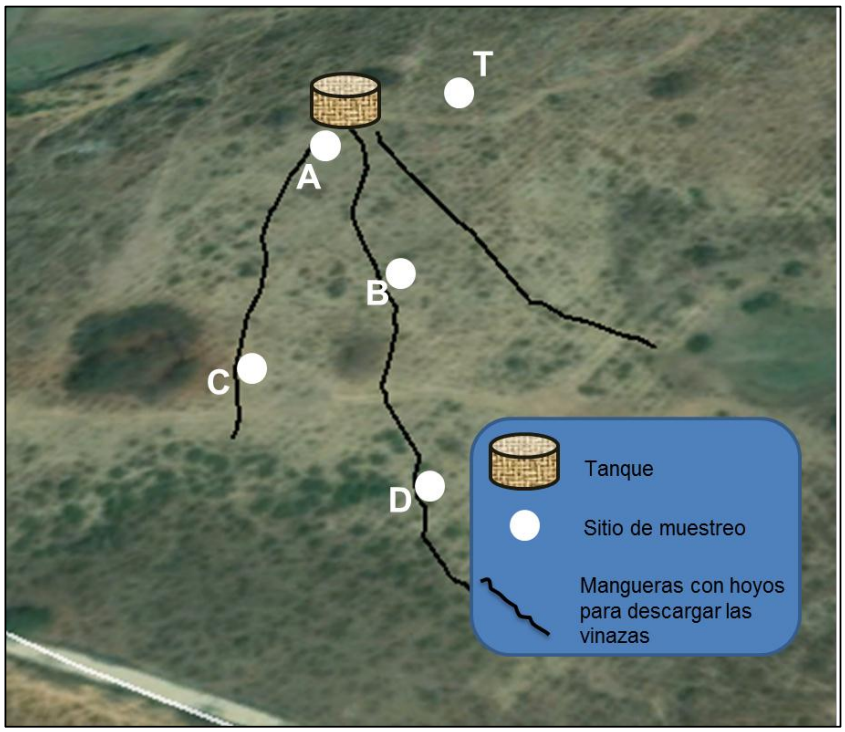
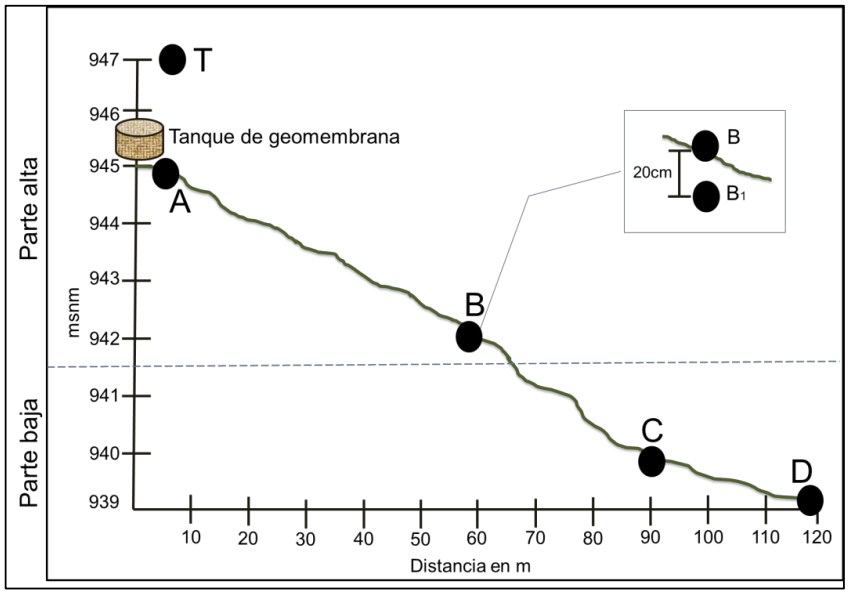


Figura 3. 3 Ubicación de los sitios de muestreo.



msnm: metros sobre el nivel del mar

Figura 3. 4 Ubicación de sitios de muestreo en distancia y altura en relación con tanque de distribución.

Antes de que se le vertieran las vinazas, la parcela tenía un pH inicial de 7.4, 0.9% de materia orgánica ENL (Estimación de Nitrógeno Liberado) 44 y 16 ppm de fósforo (método Mehlich III) de acuerdo con un muestreo realizado en la empresa con un laboratorio particular (Laboratorios A-L, 2014).

En cada sitio muestreado regado con vinaza se tomaron dos submuestras del suelo (Figura 3.5), la primera de la superficie y la segunda a 20 cm de profundidad, aproximadamente. Las muestras fueron obtenidas utilizando pala y trasladándolas en bolsas hasta el lugar donde se secaron y tamizaron, para su posterior tratamiento.

Para fines de análisis se unieron los sitios A y B que fueron los sitios más cercanos al tanque y que estaban en la parte más alta nombrándola muestra AB. También se unieron los sitios C y D que eran los más alejados del tanque y a menor altura fue la muestra CD. Con este arreglo, quedaron en total dos muestras de la parte superior del suelo y dos muestras de la segunda capa (que se identifican con un subíndice "$_1$") para cada fecha muestreada, que se identifican con el nombre: parte alta AB y AB_1; y parte baja CD y CD_1.

Figura 3. 5 Ejemplo de las muestras tomadas del sitio de estudio.

El muestreo se inició en febrero de 2012 y concluyó en enero de 2013. Se llevaron a cabo siete muestreos en total (Cuadro 3.1), cinco en época de secas, y dos en época de lluvias. De las muestras tomadas en la época de secas, al momento de tomar las cuatro primeras, se presentaba riego con vinazas. Al tomar la última muestra correspondiente al año 2013, ya no se estaba regando con vinazas, hecho que permitió analizar el estado del suelo cuando se le retiró el riego de vinaza.

Cuadro 3.1 Distribución de los muestreos en un periodo anual.

2012						**2013**
febrero	marzo	mayo	junio	julio	octubre	enero*
secas			lluvias		secas	

*Ya no se estaba regando vinaza en esa área.

Las muestras fueron secadas y tamizadas (2mm) para luego analizar materia orgánica, textura, pH, conductividad eléctrica, nitratos y fosfatos. Los métodos utilizados para los análisis se presentan en Cuadro 3.2. Para el análisis de los resultados se realizó la prueba estadística para la normalidad de Shapiro-Wilk. A las variables que presentaron una distribución normal se aplicó la prueba de medias t de Student, para los que no presentaron una distribución normal, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis (Steel y Torrie, 1988). Se utilizó el software SPSS 15.0 para Windows.

Cuadro 3. 2 Métodos utilizados en los análisis de las muestras.

Variable	Unidades	Método	Referencia
Textura		Hidrómetro de Bouyoucos	(Huerta, 1982)
Materia orgánica	%	Combustión húmeda de Walkley-Black	(Huerta, 1982)
pH	Unidades de pH	Potenciómetro pH/ORP/Temperature Meter. HI 991002	NOM-021-SEMARNAT-2000
Conductividad eléctrica	m-mhos/cm	Conductímetro	NOM-021-SEMARNAT-2000
Nitrato	mg/L	8039 Cadmium Reduction Method	DREL/2010 SPECTROPHOTOMETER
Fosfato	mg/L	8048 PhosVer® 3 (Ascorbic Acid) Method. También llamado Orthophosphate. Con extractante del metodo 10094 Mehlich 2 Extractant	DREL/2010 SPECTROPHOTOMETER

3.3.3 Características y clasificación de las variables evaluadas

3.3.3.1 Conductividad eléctrica y salinidad

La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica. Generalmente se expresa en m-mhos/cm o en mSiemens/m que son equivalentes. La determinación de la conductividad eléctrica es una forma indirecta de medir la salinidad del agua o extractos de suelo (Fernández *et al.*, 2006).

La Clasificación Americana de Suelos, Soil Taxonomy, adopta el valor de 2 dS/m como límite para el carácter salino a nivel de gran grupo y subgrupo, pues considera que a partir de ese valor las propiedades morfológicas y fisicoquímicas del perfil quedan fuertemente influenciadas por el carácter salino. Se ha establecido como límite 4 dS/m para que la salinidad comience a ser tóxica para las plantas (Dorronsoro, 2010). Los grados de salinidad establecidos con base en la CE siguiendo los parámetros del United States Salinity Laboratory de Riverside, la NOM-021-SEMARNAT-2000 y del Manual 60 se muestran en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3. 3 Conductividad eléctrica (Adaptado de Allison *et al.,* 1954; NOM-021-SEMARNAT-2000 y Dorronsoro, 2010).

m-mhos/cm	Efectos
< 1	Efectos despreciables de la salinidad.
1 – 2	Efectos insignificantes de la salinidad. Suelos normales o muy ligeramente salinos.
2 – 4	Quedan afectados los rendimientos de los cultivos muy sensibles. Suelos ligeramente salinos.
4 – 8	Quedan afectados los rendimientos de la mayoría de los cultivos. Suelos salinos.
8 – 16	Sólo se obtienen rendimientos aceptables en los cultivos tolerantes. Suelos fuertemente salinos.
> 16	Sólo muy pocos cultivos producen satisfactoriamente. Suelos muy fuertemente salinos.

3.3.3.2 pH

El pH es la concentración de iones hidrógeno activos (H^+) en la interfase líquida del suelo; es quizá la propiedad química más importante del suelo porque tiene un efecto directo en el desarrollo de los seres vivos (que incluyen microorganismos y plantas). La concentración de iones hidrógeno es fundamental en los procesos físicos del suelo y controla reacciones químicas y biológicas en el mismo (Huerta, 1982; Fernández *et al.*, 2006). En el Cuadro 3.4 se presenta su clasificación.

Cuadro 3. 4 Clasificación del pH (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

3.3.3.3 Textura

La gran mayoría de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas del suelo están influenciadas por su granulometría o textura (Dorronsoro, 2010). La textura también tiene que ver con la cantidad de agua y aire que retiene el suelo y con la velocidad de

filtración de agua (FAO, 2013). Con fines agrícolas se acostumbra separar a los suelos en tres grupos diferentes: gruesos (o ligeros), medios y finos (o pesados) (Huerta, 1982). En la Figura 3.6 están denominadas las clases texturales.

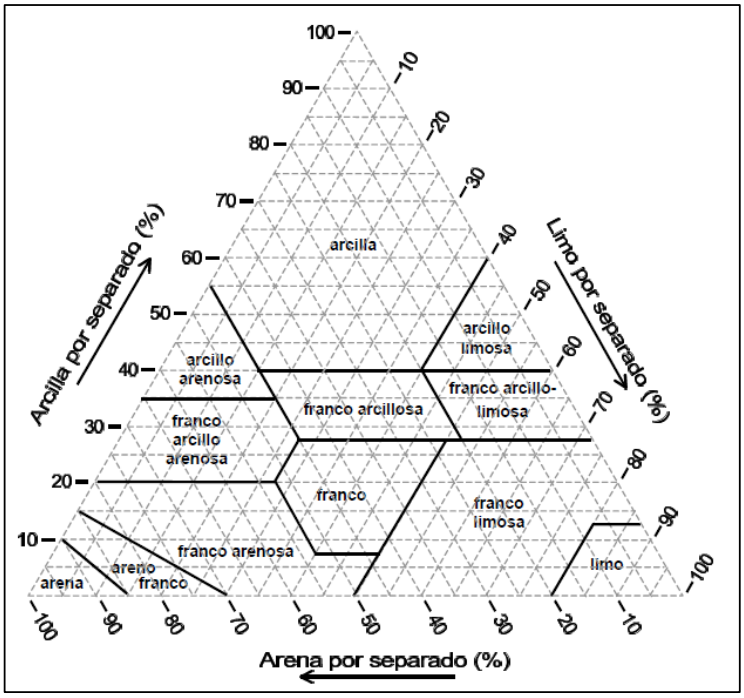


Figura 3. 6 Clases texturales del suelo según el USDA (United States Department of Agriculture) 1999. Clasificación utilizada para separar los diferentes tipos de suelo de la parcela analizada.

3.3.3.4 Materia orgánica

La materia orgánica del suelo es la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición; además se pueden incluir compuestos orgánicos tóxicos provenientes de las actividades industriales del ser humano (Etchevers, 1988 cit. por Fernández *et al.,* 2006).

En el Cuadro 3.5 se engloba la clasificación de los parámetros establecidos para la materia orgánica según la NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.

Cuadro 3. 5 Clasificación de la materia orgánica en suelo (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Materia orgánica	
Clase	**Suelos no volcánicos %**
Muy bajo	< 0.5
Bajo	0.6 – 1.5
Medio	1.6 – 3.5
Alto	3.6 – 6
Muy alto	> 6

3.3.3.5 Nutriente nitrógeno

El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento vegetal. El nitrógeno se puede presentar en diversas formas en la naturaleza. En el análisis de suelos comúnmente se evalúa el amonio intercambiable por representar la fuente de nitrógeno más directamente disponible para su incorporación en aminoácidos, sin requerir ser oxidado o reducido (Gaudy y Gaudy, 1981 en Fernández *et al*., 2006). Adicionalmente, se recomienda cuantificar nitratos para complementar la fracción de nitrógeno inorgánico susceptible de ser empleado por los microorganismos (Fernández *et al*., 2006).

Los nitratos, además de ser una fuente de nutrientes, son aceptores de electrones en condiciones limitadas de oxígeno (Fernández *et al*., 2006). De existir excedente de nitratos pueden ocurrir dos tipos de contaminación por lixiviación al subsuelo. En el primero los nitratos pueden ser arrastrados a los cauces naturales superficiales y causar eutrofización. En el segundo tipo de contaminación, los nitratos llegan a los acuíferos subterráneos lo que puede causar graves problemas de salud en los humanos al ingerirse esta agua. Sin embargo, la cantidad de nitratos que se lixivia al subsuelo depende del régimen de pluviosidad y del tipo de suelo; en este caso la textura es un factor importante; cuánto más fina sea la textura del suelo, más capacidad de retención presentará (García y Dorronsoro, 2010). En el Cuadro 3.6 se establecen categorías en función del contenido de nitrógeno inorgánico en el suelo. Sin embargo, el nitrógeno no permanece por mucho tiempo en el suelo porque es arrastrado con el agua de la lluvia (EPA, 2007).

Cuadro 3. 6 Clasificación de fertilidad de suelos en función del nitrógeno inorgánico (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Clase	N inorgánico en el suelo (mg Kg^{-1})
Muy bajo	0 - 10
Bajo	10 - 20
Medio	20 - 40
Alto	40 - 60
Muy alto	> 60

3.3.3.6 Nutriente fósforo

Después del nitrógeno, y de acuerdo con su frecuencia de uso como fertilizante, el fósforo es el segundo elemento en importancia para el crecimiento de los cultivos (García y Dorronsoro, 2010). El fósforo apresura la maduración y está relacionado con la floración y la fructificación (Chamba, 2012). La deficiencia de este elemento en el suelo puede impedir que otros sean aprovechados por las plantas. Se cuantifica bajo la forma P_2O_5 (fósforo asimilable) el cual contiene un 44% de fósforo (Chamba, 2012). En el Cuadro 3.7 se presenta una clasificación de la fertilidad del suelo en función del fósforo disponible que presenta Huerta (1982). Y en el Cuadro 3.8 se presenta la clasificación del fósforo según la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Cuadro 3. 7 Clasificación del P disponible en el suelo (Huerta, 1982).

Valores	Kg/ha
Alto	100
Medio alto	50
Medio	25
Bajo	12

Cuadro 3. 8 Interpretación de resultados de Fósforo Bry y Kurtz 1 (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Clase	Mg kg-1 de P
Bajo	< 15
Medio	15 – 30
Alto	> 30

3.3.4 Normatividad ambiental para el uso de aguas residuales en suelo

La Organización Mundial de la Salud (2006) establece que, en general las aguas residuales urbanas o industriales utilizadas para riego de cultivo o al suelo desnudo contienen nutrientes para las plantas y materia orgánica que pueden favorecer la estructura y fertilidad del suelo. Para el nitrógeno no se propone ningún rango, sin embargo, en exceso podría ser un problema el lixiviado. Porque al ser arrastrado por la lluvia, puede ocasionar eutrofización en cuerpos de agua, o si se infiltra a mantos freáticos el nitrógeno puede causar metahemoglobina si es consumido en exceso por los personas. Tomando en cuenta el fósforo, la aplicación de las aguas residuales en suelo es benéfica, ya que por lo general el fósforo biodisponible para las plantas es escaso y se considera que no tiene ningún efecto ambiental negativo (WHO, 2006). Es importante considerar que muchas de las aguas urbanas contienen contaminantes patógenos, por lo que debe considerarse utilizar algún método de tratamiento antes de descargarlas sobre cultivos.

En la normatividad ambiental mexicana (NOM-001-ECOL-1996), en este caso en materia del suelo, evalúa el pH, teniendo rango de 5 a 10 unidades.

3.3.5 Manejo de las vinazas por la empresa

Las vinazas requieren de un manejo especial ya que, debido a sus características como son su pH ácido y alta temperatura, no se pueden descargar directamente al suelo. Para que las vinazas puedan ser descargadas en las parcelas de la empresa, se transportan en pipas de acero a otro espacio destinado exclusivamente para darles tratamiento. Este espacio está ubicado en un terreno distinto a la parcela irrigada, también propiedad de la empresa. Llegando a este espacio, las vinazas se vierten en unas cisternas construidas con concreto y forradas de material especial para su tratamiento, ahí se les agrega cal para neutralizar el pH y se dejan enfriar (Figura 3.7). Las vinazas ya frías y tratadas son transportadas a la parcela con cultivo de agave y se vierten en un tanque de geomembrana (Figura 3.8) con capacidad de 60,000 litros y por gravedad las vinazas son regadas a lo largo del terreno con cultivo de agave (Figura 3.9). La cantidad de agua irrigada no es uniforme debido a las características irregulares del terreno (Figura 3.10). También los orificios de las mangueras no están distribuidos de manera uniforme. Además, la temporalidad de riego es irregular pues no se tiene una hora o día exactos de riego. Se estima que durante el periodo de investigación se regaron 1´400,000 L de vinazas mensuales aproximadamente, debido a su producción en este periodo.

Figura 3. 7 Tanque de enfriado y neutralizado de las vinazas.

Figura 3. 8 Vertido de vinazas al tanque de geomembrana para ser irrigadas.

Figura 3. 9 Mangueras conectadas al tanque de geomembrana para irrigar la parcela con las vinazas.

Figura 3. 10 Vista panorámica del cultivo de agave irrigado con vinazas.

En el Cuadro 3.9 se presentan las características de las vinazas sin ningún tipo de tratamiento, según Chávez (1997) y Madrigal (2000). En el Cuadro 3.10 se describen las características de vinazas obtenidas de cuatro destiladoras del municipio de Tonaya, en un estudio que realizaron Martínez *et al.,* 2007. Ambos Cuadros se pueden comparar con algunas variables del Cuadro 3.11 donde se describen las vinazas sin tratar y ya tratadas (con el proceso antes mencionado) de una destiladora en Tonaya en el año 2012.

Cuadro 3. 9 Composición de vinazas sin tratar según Chávez, 1997 y Madrigal, 2000.

Variable	**Unidad**	**Sin tratar**
Azúcares totales	g/L	9 --18
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	50,000 -- 80,000
Sólidos totales	g/L	44 -- 106
Temperatura (°C)	°C	90
pH		4
CaO	g/L	0.5 -- 0.8
MgO	g/L	2 -- 4
K_2O	g/L	6.4 - 7
P_2O_5	g/L	1.4 -- 3.2
Nitrógeno	g/L	0.6 -- 1
Azúcares reductores	g/L	2 -- 1
Cenizas	g/L	14 -- 28

Cuadro 3. 10 Características de las aguas residuales de cuatro destiladoras de Tonaya, Jalisco en 2007 (Martínez *et al.,* 2007).

Concentración	**Destiladoras**			
	1	**2**	**3**	**4**
Oxígeno (mg/L)	No registro	4	3.45	3.34
Conductividad eléctrica (mS/cm^2)	No registro	1294	905	2542.5
Temperatura (°C)	60.25	38.5	29.1	40.15
Turbiedad (NTU)	276.2	54.5	234.5	357.4
pH	4.5	5	6.9	6.3
Grasas y aceites (mg/L)	192.5	153	131	246
Demanda Biológica de Oxígeno (mg/L)	305.76	356.73	407.68	509.61
Arsénico (mg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cadmio (mg/L)	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025
Cobre (mg/L)	0.1	<0.05	0.145	1.29
Cromo total (mg/L)	<0.1	<0.05	<0.1	<0.1
Mercurio (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Níquel (mg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Plomo (mg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Zinc (mg/L)	14.3	0.42	0.221	20.6

Cuadro 3. 11 Composición de las vinazas sin tratar y neutralizadas con cal de una empresa destiladora de agave del municipio de Tonaya (2012).

Variable	Unidad	Sin tratar	Vinaza Tratada
Cianuros totales	mg/L	<0.01	<0.01
Demanda Biológica de Oxígeno $(DBO)_5$	mg/L	11,150	20,280
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	42,950	
Grasas y Aceites	mg/L	66.47	34.9
Temperatura	°C	85.5	
pH		3.15	6.52
As	mg/L	0.0056	0.0078
Cd	mg/L	<0.02	<0.02
Cu	mg/L	0.848	0.823
Cr	mg/L	<0.075	<0.1
Hg	mg/L	<0.002	<0.002
Pb	mg/L	0.145	0.278
Zn	mg/L	0.369	0.636
Ni	mg/L	<0.05	0.225

En lo referente a la normatividad ambiental en México, la única Norma que marca el límite máximo permitido de contaminantes al suelo es la NOM-001-ECOL-1996. El único parámetro de contaminantes básicos que marca es el de grasas y aceites con un límite máximo de promedio mensual 15 mg/L y promedio diario 25 mg/L. Así que de acuerdo con estos resultados, si es rebasado este parámetro. En cuanto a los límites máximos permitidos para metales y cianuros, estos resultados quedan muy por debajo de lo permitido, por lo que no representan mayor problema.

Además, los metales generados por las vinazas, se considera por un lado como ventaja porque las plantas absorben en sus raíces los metales y evitan que se propaguen en el ambiente, pero por esa misma razón es también una desventaja, porque quedaría disponible en la cadena alimenticia (Agudelo *et al.,* 2005).

3.4 Resultados

La superficie irrigada con las vinazas presentó un aspecto blancuzco y el pasto no crecía en esa área (Figura 3.11). Así mismo, algunos agaves estaban marchitos (Figura 3.12) principalmente por el exceso de humedad, ya que este cultivo no requiere de riego.

Figura 3. 11 Área del cultivo un año después de ser irrigado con vinazas.

Figura 3. 12 Suelo blancuzco y agave marchito, 2012.

En el cuadro 3.12 se muestran los resultados de la prueba t de Student y Kruskal-Wallis aplicadas a las variables.

Cuadro 3. 12 Estadísticos de contraste con la prueba t de Student (t) y Kruskal-Wallis (k) para las variables.

Sitios / Variables	AB y AB_1	Probabilidad α = 0.05	CD y CD_1	Probabilidad α = 0.05	AB y T	Probabilidad α = 0.05	CD y T	Probabilidad α = 0.05
C.E.	0.063	NS (k)	0.18	NS (k)	0.001	* (K)	0.001	* (k)
pH	0.371	NS (k)	0.749	NS (k)	0.152	NS (k)	0.152	* (k)
NO_3-	0.052	NS (t)	0.04	* (t)	0	* (t)	0	* (t)
P	0.087	NS (t)	0.397	NS (t)	0.005	* (t)	0.004	* (t)
P_2O_5	0.083	NS (t)	0.393	NS (t)	0.004	* (t)	0.004	* (t)
MO	0.723	NS (t)	0.719	NS (t)	0.003	* (t)	0.001	* (t)

NS: No son significativamente diferentes. *: Significativamente diferentes

De manera general, en la conductividad eléctrica se observa una tendencia de acumulación en el periodo de secas, y una disminución en lluvias. El único sitio que se mantiene constante (entre 7 y 8 m-mhos/cm) en todos los muestreos es AB_1, sitio de profundidad más cercano al tanque. Estadísticamente los sitios de la superficie con la profundidad no son significativamente diferentes. Sin embargo los sitios de la superficie si son significativamente diferente al Testigo (Figura 3.13 y Cuadro 3.12).

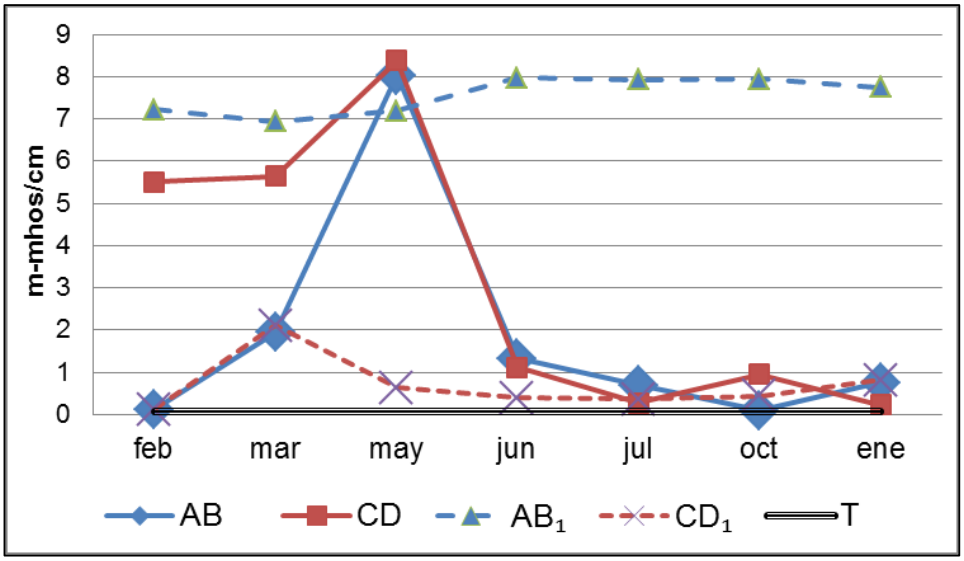


Figura 3. 13 Conductividad eléctrica periodo 2012-2013.

Respecto al pH, todos los sitios muestran una tendencia similar. En el periodo de secas tiende a disminuir y en el periodo de lluvias se incrementa. El pH no es diferentemente significativo entre los sitios donde se descargan las vinazas. Sin embargo, el sitio CD de la superficie si es diferente significativamente del Testigo (Cuadro 3.12 y Figura 3.14).

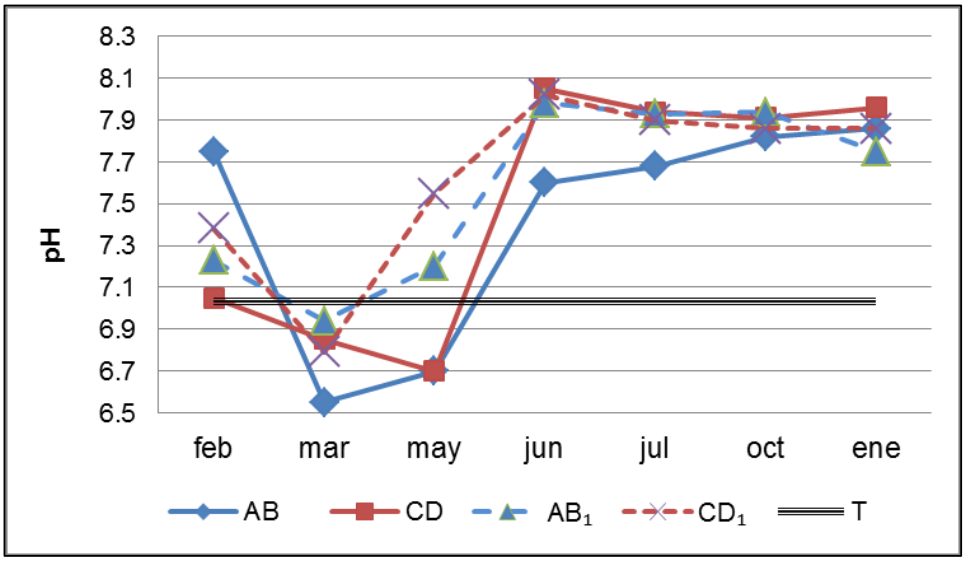


Figura 3. 14 pH periodo 2012-2013.

En el periodo de secas, los nitratos presentaron una tendencia similar entre los sitios de la superficie AB y CD, y por su parte los sitios de profundidad AB_1 y CD_1. En el periodo de lluvias, hubo una tendencia a la disminución en los sitios AB y CD. Estadísticamente los sitios AB y AB_1 no son diferentes significativamente, aunque el rango que define que no son diferentes es muy pequeño. El sitio CD y CD_1 si son diferentes significativamente. Así mismo, los sitios de AB y CD son significativamente diferentes del Testigo (Figura 3.15 y Cuadro 3.12).

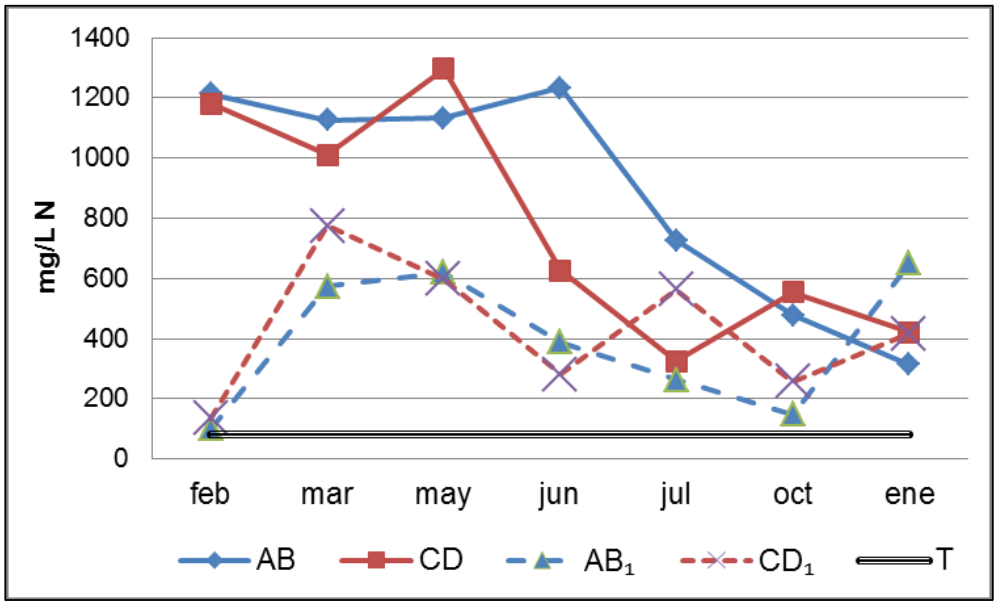


Figura 3. 15 Nitratos (NO_3-) periodo 2012-2013.

Respecto al fósforo, se observó en todos los muestreos en general, una mayor presencia de fósforo en los sitios de la superficie, que en los de profundidad. Se presentan dos gráficas del fósforo, la primera en la Figura 3.16 como fósforo y la segunda en la Figura 3.17, en forma de fósforo asimilable. En el periodo de lluvias, el sitio AB, que está más cercano al tanque, presentó incremento, con respecto a los otros tres sitios (Figura 3.16). El fósforo y el fósforo asimilable de la superficie (AB y CD), no son diferentes significativamente con los sitios de profundidad (AB_1 y CD_1). Así mismo, los sitios AB y CD si son significativamente diferentes al Testigo (Cuadro 4.12).

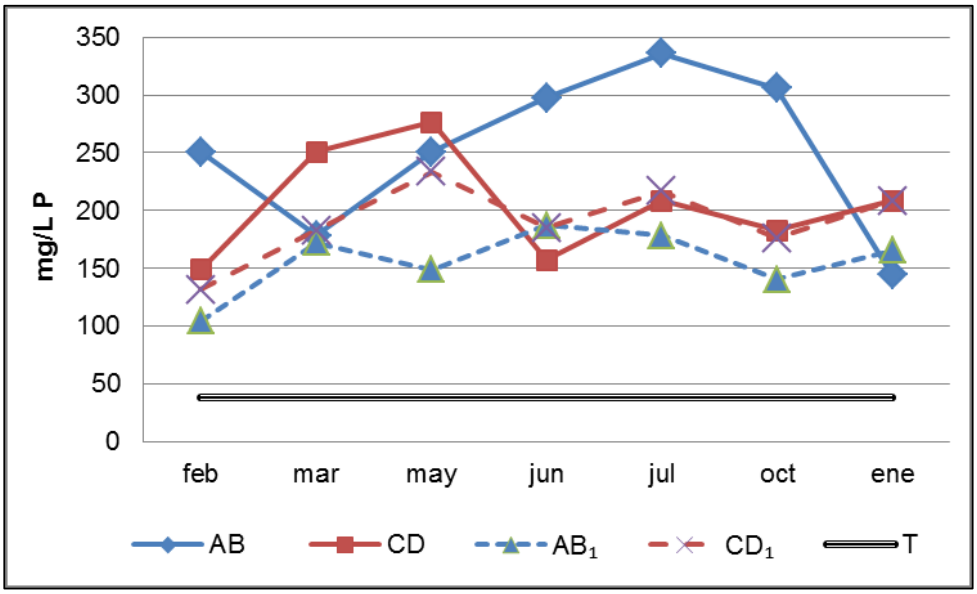


Figura 3. 16 Fósforo (P) periodo 2012-2013.

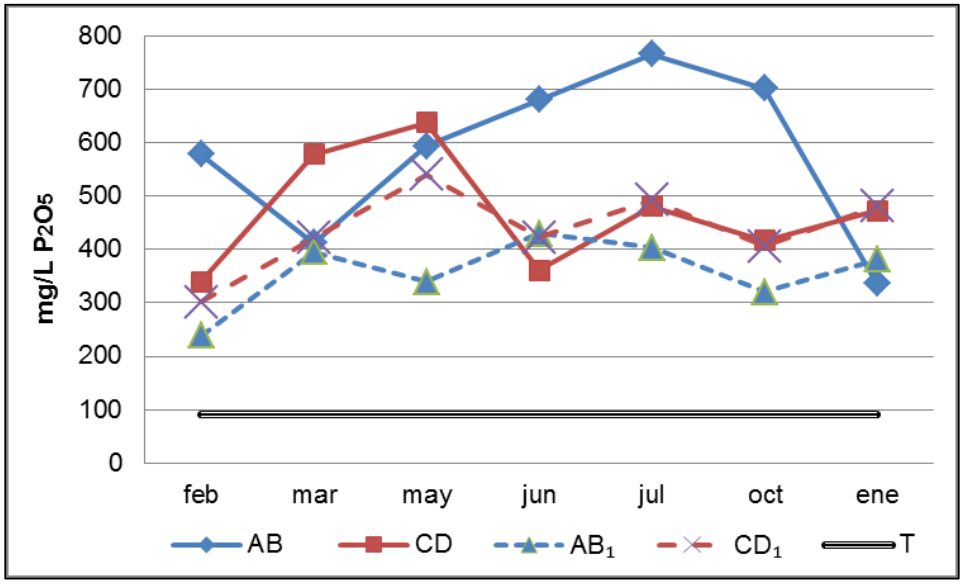


Figura 3. 17 Fósforo asimilable (P_2O_5) periodo 2012-2013.

La materia orgánica se comporta de manera irregular en temporada de secas, y se observa una cierta similitud en el compartimiento entre todos los sitios muestreados, a partir del periodo de lluvias. En el primer mes muestreado, presenta una similitud entre los sitios de la superficie y entre los de profundidad. Observándose los de profundidad

con un % de materia orgánica de 4.5 aproximadamente y la capa de la superficie, entre 8.3 y 10.5 %. En el último mes, todos los sitios irrigados con vinazas resultan entre 7.4 y 8 % de materia orgánica; aproximadamente un aumento de 3% en relación a los testigos (Figura 3.18). Estadísticamente, los sitios de la superficie y los sitios de profundidad no son diferentes significativamente. Los sitios de la superficie son significativos estadísticamente en relación al Testigo (Cuadro 3.12).

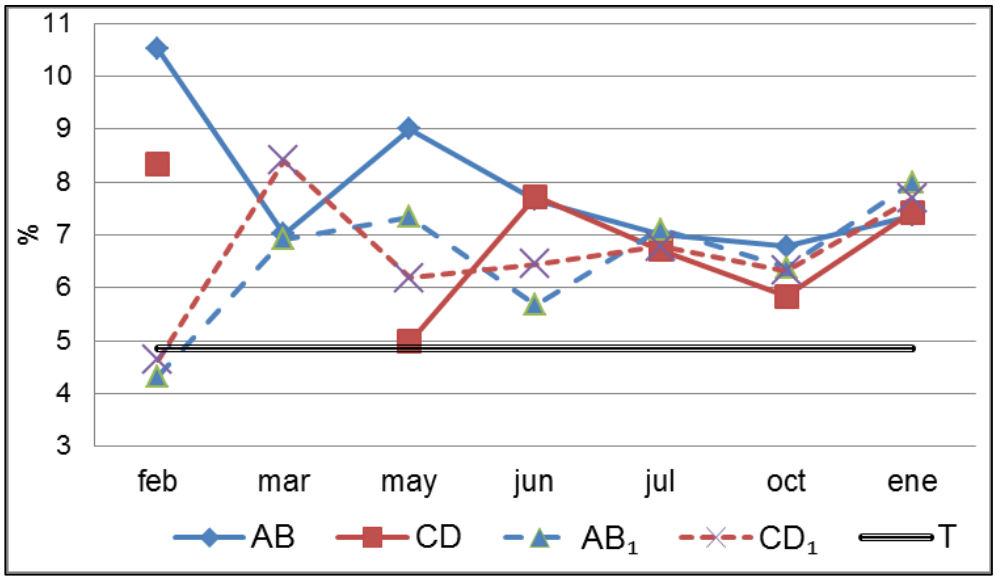


Figura 3. 18 Materia orgánica periodo 2012-2013.

La textura del suelo se estuvo analizando de igual manera en los meses del muestreo, y no presentó variaciones, clasificándose como franco-arenoso de acuerdo a las clases texturales que se muestran en la Figura 3.6.

3.5 Discusión

Respecto a la conductividad eléctrica (Figura 3.13), a partir del mes de junio, se observó un efecto de disminución, llegando a un rango de salinidad que es considerado como despreciable. Muy probablemente este efecto de disminución se deba al arrastre de sedimentos ocasionado por la temporada de lluvia. Sin embargo, este efecto de lavado no ocurrió para la segunda capa más cercana al tanque (AB_1), probablemente porque al estar cerca del tanque permanece húmedo todo el tiempo. En las condiciones que se mantuvo el sitio AB_1, se considera un suelo fuertemente salino.

Para el pH (Figura 3.14) cabe aclarar que en el mes de marzo estaban regando al momento de tomar la muestra del suelo, lo que puede explicar que sea el mes en que todas las muestras tienen un pH más ácido, sin embargo sigue considerándose como neutro según SEMARNAT (2000). El aumento que presentó el pH al final del muestreo en relación a los testigos, puede deberse a una concentración de la cal utilizada para la neutralización de las vinazas, así como al arrastre de sedimentos de partes más altas del terreno, originado por las lluvias. El pH al final del muestreo registró un aumento en relación al testigo y se clasifica como medianamente alcalino.

El efecto que se observa en los nitratos es que al igual que la conductividad eléctrica, es una disminución en general, a partir del mes de junio, cuando inicia la temporada de lluvias. Por lo que se puede asumir un arrastre de sedimentos, por lo que disminuyó el nitrato acumulado. A pesar de la disminución de nitratos, al final del muestreo, la cantidad de nitratos presente en el suelo, se considera muy fértil, de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000. El nitrógeno en exceso provoca un crecimiento rápido bacteriano y acelera su descomposición, lo que podría ocasionar problemas de olor en condiciones anaerobias (Fernández *et al.*, 2006).

La máxima disponibilidad del fósforo en las plantas se presenta con un pH entre 6 y 7 (García y Dorronsoro, 2010), lo que significa que en el presente estudio, se encuentra en este límite, por lo que el fósforo puede ser aprovechado (Figura 3.17). De acuerdo con los resultados existe un nivel de fósforo (Figura 3.16) que excede de la clasificación “muy alto”, debido a que la aplicación de las vinazas fue constante, con una acumulación principalmente en la superficie, por no haberse incorporado de manera intencional al suelo.

Se midió la materia orgánica (Figura 3.18) para observar el comportamiento de esta variable en el suelo, sin embargo, como las vinazas están compuestas de fibrillas del agave, tienen mucha materia orgánica. Así, este resultado no se puede comparar con la clasificación en suelos del contenido de materia orgánica, porque no hubo una incorporación de las vinazas al suelo, por lo que, prácticamente se muestreo la acumulación de la materia orgánica en la superficie del suelo.

La textura de los suelos es un factor importante, cuanta más fina sea la textura, más capacidad de retención presentarán. Una característica de un suelo franco-arenoso, que es el que presenta la parcela de estudio, es considerado algo desequilibrado, sin embargo se clasifica como textura favorable para la retención de agua y capacidad de suministro de nutrientes (Dorronsoro, 2014).

3.6 Conclusión

Con base en los resultados obtenidos la aplicación de las vinazas tratadas al suelo es benéfica en relación al aumento de nutrientes y materia orgánica. Esta situación concuerda con otras investigaciones (con vinazas de ingenios cañeros) que también han encontrado que la adición de vinazas incrementa la fertilidad de los suelos y el rendimiento agrícola cañero. Así mismo, disminuye el volumen de agua destinado al riego y no presenta un efecto en la aparición de moscas y vectores (Chaves, 2004; Perdigón, 2005; Álvarez *et al.,* 2008; Girón, 2008). A pesar de ello, se debe tomar en cuenta que el cultivo de caña requiere de mucha humedad. Así mismo, para aprovechar mejor la materia orgánica contenida en las vinazas, sería conveniente, de alguna manera, remover la tierra para incorporarla al suelo.

Respecto a la conductividad eléctrica (Figura 3.13), a pesar de que las vinazas presentan una conductividad muy elevada (Cuadro 3.10), la presente investigación arrojó que, después de lluvias se nivela a la conductividad eléctrica del Testigo. La única excepción es del sitio cercano al tanque de la segunda capa (AB_1), que probablemente sea acumulación por el exceso de descarga de vinaza.

Como al inicio el pH presentó una tendencia a la disminución, debe cuidarse el pH resultante del tratamiento de las vinazas, para no provocar acidificación en el suelo. Al final del muestreo, el pH no presentó inconveniente (Figura 3.14). Por otro lado, en el lugar donde se descarguen las vinazas se debe cuidar que no existan cuerpos de agua cerca, porque el nitrógeno y el fósforo no se retuvieron en el suelo, aunque al inicio si se mostró el aumento en el suelo, en la temporada de lluvias, estos nutrientes fueron arrastrados. Si el exceso de nitratos y/o fosfatos es arrastrado a los cuerpos de agua, puede ocasionar eutrofización.

Aunque en el suelo aumentaron los nutrientes, al cultivo del agave no le favoreció la aplicación constante de la vinaza, debido al exceso de humedad. El agave no requiere irrigación. Como se puede observar en la Figura 3.12, algunas plantas de agave se marchitaron en comparación con las plantas de agave contiguas y que no recibieron descarga de vinazas. Enfatizando que, como se mencionó, el objetivo de la descarga de vinazas, no era precisamente irrigar el cultivo, sino deshacerse de las vinazas.

A pesar de que el suelo presenta un aspecto blancuzco, por lo antes mencionado y retomando el objetivo del impacto de la descarga de vinazas en una parcela, se puede concluir que el riego de las vinazas en este tiempo estudiado no representa una contaminación al suelo.

Si la descarga de vinazas tratadas a parcelas, se plantea como una alternativa de disposición, se recomienda estudiar las características particulares del tipo de suelo donde se pretenda descargar la vinaza y observar las siguientes recomendaciones:

- Para la descarga de las vinazas en el suelo como aporte de nutrientes, debido a los resultados de estos análisis, sería recomendable agregarlos y mezclarlos con el suelo para un mayor aprovechamiento. Así la materia orgánica y los nutrientes estarían incorporándose al suelo, y se evitaría su arrastre en época de lluvias o el mismo efecto de lavado del riego.
- Respecto al pH, se recomienda no irrigarlos en suelos con pH ácido, porque aunque están neutralizadas, la tendencia inicial fue la disminución del pH, independientemente de que en época de lluvias esta variable aumentara.
- Descargar e incorporar las vinazas al suelo en una parcela que no tenga cultivo.
- Que las parcelas seleccionadas no estén cerca de cuerpos de agua, para evitar contaminación por el arrastre de los sedimentos antes mencionados.
- Realizar análisis de metales pesados en el suelo, para asegurar que no exista una acumulación a largo plazo.

3.7 Literatura citada

Acosta T., N. G. M. y G. Íñiguez C. 2009. Fertilizante orgánico obtenido de las vinazas tequileras y estiércol de ganado. Revista Científica Internacional. Inter Science Place. (2): 04.

Agudelo, B. Lina M., K. I. Macías M. y A. J. Suárez M. 2005. Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. Revista Lasallista de Investigación. Vol 2. No. 1.

Allison, L. E., L. Bernstein, C. A. Bower, J. W. Brown, M. Fireman, J. T. Hatcher, H. E. Hayward, G. A. Pearson, R. C. Reeve, L. A. Richards y L. v. Wilcox. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Soil and Water Conservation Research Branch. Agricultural Research Service. Agriculture Handbook No. 60. L. A. Richards, Editor. United States Departament of Agriculture.

Álvarez G., A., R. García G., I. Casares y R. Jiménez B. 2008. Posibilidades de aplicación de vinazas en suelos rojos de la mancha (España). Universidad Autónoma de Madrid. Revista Pilquen. Sección Agronomía. Año VIII. Nº 8, 2006/2007.

Braatz. S. y A. Kandiah. 1996. Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árboles y bosques. Depósito de documentos de la FAO. Producido por: Departamento de Montes. Consultado en línea el 24 de febrero de 2014 en http://www.fao.org/docrep/w0312s/w0312s09.htm

Castro Ll., M. I. 1996. Modelando un sistema de Digestión Anaerobia de un Alimento Sintético y de una Vinaza Tequilera. Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Químico. Universidad de Guadalajara. CUCEI.

Chamba H., L. 2012. Glosario de Términos Útiles en Nutrición y Fertilización. International Plant Nutrition Institute IPNI. Consultado en línea el 31 de diciembre de 2012. http://www.ipni.net/ppiweb/ltamn.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/9dc6775551a14ce605256ec400598715/$FILE/Glosario%20de%20nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n.pdf

Chaves S., M. 2004. Etanol: un biocombustible para el futuro. En: Memorias Seminario "Antecedentes y Capacidad Potencial de Cogenerar Energía y Producir Etanol por Parte del Sector Azucarero Costarricense", 30 de septiembre, San José, Costa Rica.

Chávez L, C. M. 1997. Efecto del tiempo de retención hidráulica (TRH) y de la recirculación del efluente en reactor anaerobio de lecho de lodos y flujo ascendente (UASB) durante el tratamiento anaerobio de vinazas tequileras. Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Químico. Universidad de Guadalajara. CUCEI.

CRT, 2013. Información Estadística. Producción Total: Tequila y Tequila 100%. Consultado en línea el 18 de diciembre de 2013 en http://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/

Dorronsoro C. 2010. Contaminación por sales solubles. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. España. Consultado en línea 28 de diciembre de 2012. http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/medida.htm

Dorronsoro C. 20.14 Evaluación general de los suelos. En Evaluación de suelos. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. España. Consultada en línea el 29 de noviembre de 2014 en http://www.edafologia.net/evaluacion/tema1/4caractgene.htm

DREL/2010 SPECTROPHOTOMETER. 1996. Soil and Irrigation Water Portable Laboratory Manual. Hach Company.

Etchevers J. D. 1988. Análisis químico de suelos y plantas. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados, Chapingo, Estado de México. 803p. En Fernández *et al.,* 2006.

EPA Environmental Protection Agency. 2007. Nitrates and Nitrites. Teach Chemical Summary.

FAO. 2013. Textura del suelo. Consultada en línea el 11 de marzo de 2013 en ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s06.htm#top

Fernández L., L. C., N. G. Rojas A., T. G. Roldán C., M. E. Ramírez I., H. G. Zegarra M., R. Uribe H., R. J. Reyes A., D. Flores H. y J. M. Arce O. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Instituto Mexicano del Petróleo, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Gaudy A. F. y Gaudy E. T. 1981. Microbiology for environmental scientists and engineers. McGraw Hill, Tokyo. En Fernández *et al.,* 2006.

García I. y C. Dorronsoro. 2010. Contaminación del suelo. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. España. Consultado en línea 17 de diciembre de 2012 en http://edafologia.ugr.es/conta/tema14/intro.htm

Girón T., M. A. 2008. Evaluación de la posible contaminación del suelo y agua subterránea con elementos pesados por el uso de vinazas en el cultivo de caña de azúcar. Universidad Politécnica de Cataluña. España.

Hernández L. J. de J. 2012. Paisaje y creación de valor. La transformación de los paisajes culturales del agave y del tequila. Colegio de Michoacán.

Huerta R., R. 1982. Propiedades físicas y químicas de suelos. Escuela de Agricultura. Universidad de Guadalajara.

Informador. 2012. Jalisco cierra 2012 con 260 millones de litros de tequila producidos. Economía. 07 diciembre. Consultado en línea el 18 de diciembre de 2013 en http://www.informador.com.mx/economia/2012/422697/6/jalisco-cierra-2012-con-260-millones-de-litros-de-tequila-producidos.htm

Íñiguez G., N. Acosta, Lilinana Martínez, J. Parra y O. González. 2005. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 7. Compostaje de bagazo de agave y vinazas tequileras. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, año/vol. 21. Número 001. Universidad Autónoma de México. Distrito Federal, México.

Juárez, S. M. 1991. Aprovechamiento de las vinazas tequileras en la fermentación alcohólica. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Guadalajara.

Laboratorios A-L de México, S. A. de C. V. 2014. Servicios de análisis. Suelo – Fertilidad. Consultada en línea el 14 de enero de 2014 en http://www.agroanalisis.com.mx/index.php/servicios/servicios-2/fertilidad

Leal G., I., E. Chirinos, M. Leal, H. Morán y W. Barrera. 2003. Caracterización fisicoquímica de la vinaza del agave cocui y su posible uso agroindustrial. Multiciencias, diciembre, año/vol. 3, numero 002. Universidad de Zuila. Punto Fijo, Venezuela.

Linerio, J., A. Guzmán y A. Noyola. 1999. Panorama ambiental de los efluentes del sector tequilero. Memorias VIII Congreso Nacional de Biotecnología, Huatulco, Oaxaca. Septiembre.

Martínez R., L. M., P. Gerritsen, J. J. Rosales A., A. Moreno H., S. Contreras M., A. Solís M., L. E. Rivera C., O. G. Cárdenas H., L. I. Iñiguez D. R. Cuevas G., C. Palomera G., E. García R., A. Aguirre G. y J. L. Olguín L. 2007. Implicaciones socioambientales de la expansión del cultivo de agave azul (1995-2002) en el municipio de Tonaya, Jalisco, México. En Colunga-García M. P., A. Larqué S., L. E. Eguiarte y D. Zizumbo-Villarreal. 2007. En lo ancestral hay un futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves. México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, CONACYT, CONABIO, SEMARTAT e Instituto Nacional de Ecología.

Martínez R., L.M. y D. Meza. 2011. Diagnóstico Preliminar del Siniestro Ambiental Río Tuxcacuesco. Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Costa Sur. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Junio.

Martínez, G. F. de J., D. L. Ojeda B., O. A. Hernández R., J. J. Martínez T. y G. De la O. Q. 2011. El Exceso de nitratos: un problema actual en la agricultura. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas/Universidad Autónoma de Chihuahua. Aventuras del Pensamiento. Synthesis 57. Enero-marzo.

Monroy R., B. 1999. Evaluación del potencial fertilizante de la vinaza en agave Agave tequilana Weber, en Amatitán, Jalisco. Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Agrónomo Orientación Fitotecnia. Universidad de Guadalajara. CUCBA.

Madrigal P., J. A. 2000. Evaluación de las vinazas tequileras como sustrato para el cultivo en estado sólido y líquido de hongos filamentosos. Tesis profesional para obtener el título de Licenciado en Biología. Universidad de Guadalajara. CUCBA.

Naranjo G., A. A. 2009. Proyecto de inversión para la ampliación de la destiladora de tequila Marava S. P. R. de R. L. Tesis. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.

NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-002-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial. 2002. Segunda Sección. SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2000.

Núñez H. A. 2011. La construcción de nichos alternos en el mercado de las bebidas espirituosas en México: los licores de agave de Tonaya sin la protección de la Denominación de Origen Tequila, ni Mezcal. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, CIESAS. Tesis Maestro en Antropología Social.

Organización Mundial de la Salud. 2006. Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Vol 1: Recomendaciones.

Perdigón S. M. 2005. Impacto sobre el medio ambiente de las vinazas de los jugos de caña energética más miel final en la destilería Paraíso. Tesis presentada en opción del grado Máster en Gestión Ambiental y Protección de los Recursos Naturales, Universidad de Matanzas, Colombia.

Pérez H., E. 1997. Evaluación técnico-económico de la aplicación de vinazas en Agave tequilana, Weber en el municipio de Tequila, Jalisco. Tesis profesional. Zapopan, Jalisco. CUCBA. Universidad de Guadalajara.

SEMADES. 2011. Minutas proporcionadas por la Secretaría Estatal del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable.

SIEG. Sistema de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. 2012. Tonaya. Diagnóstico del municipio. Julio. Gobierno de Jalisco. Secretaría de Planeación. Consultado en línea el 31 de enero de 2014 en http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&ved=0CEIQFjAD&url=http%3A%2F%2Fsieg.gob.mx%2Fcontenido%2FMunicipios%2Fcuadernillos%2FTonaya.pdf&ei=k8DrUovIGcalygGYnIAg&usg=AFQjCNH01wQX_5KpF53ZZPJpXYJ57lLrrQ&sig2=MzgrR99aTWNNzMR7P6ZwkQ&bvm=bv.60444564,d.aWc

Tonaya. 2013. Jalisco, Municipios. Gobierno del Estado. Consultado en línea el 22 de julio de 2013 en http://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/municipios/tonaya

USDA United States Department of Agriculture. 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola, Servicio de Conservación de Recursos Naturales e Instituto de Calidad de Suelos. Consultado en línea 17 de diciembre de 2012 en http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/search/?ss=16&navtype=SEARCH&cid=null&navid=650000000000000&pnavid=&ttype=search&pname=NRCS%20-%20Search

WHO World Health Organization. 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use un agriculture. Water Sanitation Health. Chapter 8. Envirenmental aspects. Consultado en línea el 10 de mayo de 2014 en http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/gsuweg2/en/

CAPÍTULO 4. CONTAMINANTES DEL RÍO TONAYA Y SU IMPACTO EN EL RÍO TUXCACUESCO

4.1 Introducción

El río Ayuquila-Armería (Jalisco-Colima, México) está formado por las subcuencas Ayuquila, Armería y Tuxcacuesco; es considerado como uno de los 15 ríos más importantes del Pacífico y entre los 43 más importantes a nivel nacional (Meza, 2006). Las actividades realizadas en las partes altas de una cuenca tienen repercusiones en la parte baja, por lo que la cuenca debe ser vista como una unidad de manejo socioambiental.

La cuenca del río Ayuquila es un recurso fundamental para la protección de la vida silvestre y sustento de alrededor de 80,000 habitantes que utilizan el agua directamente. Las principales fuentes contaminantes de la cuenca son la falta de tratamiento de los residuos orgánicos e inorgánicos de las ciudades de Autlán y el Grullo, la basura, los residuos ganaderos y los productos químicos agrícolas. En el valle de Autlán/El Grullo se utiliza el agua del río para irrigación, lo que disminuye el caudal y hace que se concentren los contaminantes. Así mismo, en esa zona se encuentra el Ingenio Azucarero Melchor Ocampo, que desde 1970 con el incremento de su producción, produjo aguas residuales que comenzaron a deteriorar la calidad del río Ayuquila (Santana *et al.,* 1993; Martínez *et al.,* 2000). En 2002 el ingenio dejó de descargar aguas residuales directamente al río (Henne *et al.,* 2002).

Los afluentes de un río tienen aportes con características diferentes, porque cada área tiene distintas extensiones de suelo y vegetación. El río Ayuquila no tiene fuertes escurrimientos debido a la abundante cobertura vegetal y a suelos permeables por lo que su capacidad de transporte de sedimentos es baja, a diferencia del río Tuxcacuesco que, debido a la etapa geológica madura del valle y la pendiente de la cuenca principal es una zona con un alto transporte de sedimentos (Meza, 2006).

El río Tuxcacuesco es el segundo afluente más importante de la cuenca del río Ayuquila-Armería. Es considerado por la CONABIO como una cuenca prioritaria a nivel nacional, pues pasa por zonas de gran importancia ecológica como la Zona de Protección de Flora y Fauna Sierra de Quila, que es un área de recarga de los mantos acuíferos de la cuenca del río Ayuquila-Armería, y el Nevado de Colima, además de que proporciona un hábitat para reptiles, macroinvertebrados y peces (Meza, 2010).

Los principales problemas ambientales del río Tuxcacuesco son la deforestación, la erosión la contaminación de suelo y agua por productos químicos y agroindustriales y los desechos de las mezcaleras existentes en los municipios de Tonaya y Tuxcacuesco (CNA, 2009a; Meza, 2010). Además, de los factores ambientales en la localidad, se deben tener en cuenta los afluentes, ya que también aportan contaminantes. Entre los principales afluentes de la cuenca del río Tuxcacuesco se encuentra el río Tonaya, cuyas aguas nacen al norte del municipio de Tonaya.

El río Tonaya ha sido receptor de los desechos de las industrias mezcaleras de la población que lleva el mismo nombre, donde hace más de un siglo se cultivaba de manera tradicional el agave verde (*Agave angustifolia Haw*) para producir mezcal. Es a partir de 1997 cuando el agave azul (A. *tequilana Weber*), que tiene un manejo más tecnificado, tuvo una fuerte expansión en la localidad. A la fecha son siete las fábricas que se dedican a producir licor de agave. La forma tradicional de destilar agave se ha hecho de manera más tecnificada; al tiempo que la demanda de la bebida ha aumentado, y con ello la producción de los desechos que el proceso de destilación conlleva (vinazas y bagazo), ocasionando problemas ambientales. Las características generales de las vinazas son: una temperatura elevada, un pH ácido y una fuerte carga orgánica, lo que afecta directamente en las funciones y vida de las especies acuáticas.

Si se considera que el río Ayuquila-Armería es el río con mayor diversidad biótica en el estado de Colima y el segundo en Jalisco (Santana *et al.,* 1993), y se valora a una cuenca como una unidad, la calidad del río Tonaya desempeña un papel importante en la conservación de especies y capacidad de uso del agua por ser uno de los principales afluentes del río Tuxcacuesco. El presente trabajo pretende identificar algunos de los contaminantes principales provenientes de la industria tequilera que afectan la calidad del río, y con ello proponer medidas para un mejor manejo en la cuenca.

4.2 Justificación

En Jalisco el 80% de las cuencas están contaminadas. Una de ellas es la cuenca del río Tuxcacuesco, que está impactada por las aguas residuales urbanas e industriales de las mezcaleras de Tonaya y Tuxcacuesco, que afectan la calidad del agua y deterioran el hábitat de las especies acuáticas (El Occidental, 2008). Esta problemática fue identificada desde 1995 (Tuxcacuesco, 1995; 2007) y, como medida

de mitigación, en noviembre de 2009 se construyó la planta tratadora de aguas residuales (PTAR) de Tuxcacuesco con proceso de lagunas de estabilización y una capacidad de 3 lps. Sin embargo, esta planta dejó de funcionar a mediados del 2011 (CNA, 2011b; com. pers. Romero, 2013[2]; CEAJ, 2013c).

El río Tuxcacuesco está regulado por la presa Basilio Vadillo, nombrada también Las Piedras. Dentro de los principales usos económicos que se da al río están el riego para la agricultura y su uso en la ganadería. También se aprovecha la pesca en el río, donde se capturan especies como el chacal (*Macrobranchium* sp), la carpa (*Ciprinus carpio*) y el bagre (*Ictalurus dugesi*). Considerando que el municipio de Tuxcacuesco presenta un grado de marginación medio, donde sus pobladores dependen directamente del agua del río para subsistir, es importante que el río presente óptimas condiciones para su aprovechamiento (Ortiz *et al.,* 2005; COEPO, 2010; SEDESOL, 2012).

A diferencia del río Tuxcacuesco, el flujo del río Tonaya se comporta de acuerdo al temporal de lluvias porque no está represado. En ocasiones, en los meses de verano el río Tonaya se seca o su nivel de agua es mínimo. Esta dinámica genera un incremento en la concentración de los contaminantes en el río Tonaya que, descarga sus aguas al río Tuxcacuesco sin dilución, convirtiéndose en un factor nocivo para la fauna acuática.

Como ejemplo de esto, se puede citar la región de Los Altos del estado de Jalisco. Al igual que en Tonaya, esta región ha presentado un crecimiento en el cultivo de agave y producción de tequila impactando negativamente la cuenca del río Zula, por contaminación de vinazas, como ocurrió en el río Tuxcacuesco (Durán y Hernández, 2010).

La cantidad de aguas residuales está relacionada con la población total de una comunidad. De acuerdo con Jiménez (2001), la composición promedio típica de las aguas residuales de origen doméstico en México presenta una DQO de 500 mgO_2/L, un pH de 7.1 (en poblaciones entre 2,500 y 10,000 habitantes) y 20°C de temperatura. En 1999, Tonaya descargaba agua residual con características equivalentes a una ciudad 22 veces su tamaño (CNA y Montgomery, 2001). El verter las vinazas por la tubería del drenaje las corroe y a la larga se tienen que cambiar. Este problema afecta

[2] Comunicación personal. 2013. Alejandro Romero Estrada. Director de Ecología. Ayuntamiento de Tuxcacuesco.

directamente a la población del municipio de Tonaya. Por lo que se tiene que invertir tiempo y dinero para darle el adecuado mantenimiento (Martínez *et al.,* 2007a). Esto refleja el panorama de contaminación ambiental que resulta del impacto de las vinazas sin tratamiento vertidas al río.

En otro estudio en el 2007, se compara la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de 10 municipios de la cuenca baja del río Ayuquila, el río de Tonaya resultó con 4,400 mg/L, y en promedio, los demás municipios tenían 270 mg/L. La NOM-001-ECOL-1996 establece como límite máximo permisible 60 mg/L de DBO para la protección de la vida acuática. Otro factor que resalta es la conductividad eléctrica, en donde las aguas residuales urbanas de Tonaya presentan 1600 microohms/s y el promedio general de los otros nueve municipios fue de 800 microohms/s (Martínez *et al.,* 2007b).

Como resultado de ese proceso de contaminación, en 2010 algunos agricultores de Tuxcacuesco levantaron cargos al municipio de Tonaya por la descarga de vinazas que deterioraba la calidad del agua que utilizan para sus cultivos (com. pers. Romero, 2013[3]; Martínez, 2013[4]). Otro impacto, además del daño a los cultivos, fue la mortandad de peces en el río que, según reportes de la Universidad de Guadalajara, se presentó en junio del 2005 y del 2011 (Martínez y Meza, 2011; com. pers. Martínez, 2013[4]) por el incremento de la carga orgánica proveniente de las vinazas que reducen la cantidad de oxígeno disponible para los peces.

Por otro lado, en 2011 se levantó una demanda ciudadana de la población de Tonaya hacia la Minera Metalúrgica de Tapalpa, que opera 24 Km aguas arriba de la cabecera municipal de Tonaya, por descargar sus residuos tóxicos en el río Tonaya (Covarrubias, 2011). A partir de esta denuncia, la JIRA (Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila) decidió realizar análisis de agua al río Tonaya, aunque no se pudo verificar que estas descargas tuvieran impacto en el río Tuxcacuesco. Los resultados de estos análisis se utilizan en la presente investigación.

Debido a las mortandades de peces y la demanda hacia la Minera Metalúrgica Tapalpa, diversas instituciones reguladoras de la calidad ambiental (p.e., la Comisión Estatal del Agua Jalisco, la JIRA, la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (SEMADES), la Gerencia Operativa de la Comisión de Cuenca del Río

[3] Comunicación personal. 2013. Alejandro Romero Estrada. Director de Ecología. Ayuntamiento de Tuxcacuesco.

[4] Comunicación personal. 2013. Monitoreo del río Ayuquila-Armería. Dr. Luis Manuel Martínez Rivera. Jefe del Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara

Ayuquila-Armería (GOCCRAA), y la Universidad de Guadalajara, entre otras) mostraron interés por monitorear la calidad del agua del río de Tonaya. Los resultados de estos análisis se integraron a esta investigación.

En abril de 2012, la Universidad de Guadalajara recomendó no nadar ni pescar en los ríos Ayuquila y Tuxcacuesco por cuestiones de contaminación de coliformes fecales (4,000 NMP/100ml). Esto debido a los vertidos de las aguas residuales urbanas sin tratamiento previo; aunado a las vinazas de las mezcaleras de Tonaya, que degradaron la calidad del agua (Letra Fría, 2012; Milenio, 2012). Estos acontecimientos dieron pauta a la movilización de las autoridades para llevar a cabo una evaluación de la calidad del río Tonaya. Si bien, las vinazas no son causa de coliformes fecales; contribuyen a su concentración debido a la gran cantidad de materia orgánica que contienen estos residuos.

El municipio de Tonaya se integró a la JIRA (desde el periodo presidencial 2001-2003), y la comunidad se empezó a involucrar en actividades en pro del ambiente (JIRA, 2011). En el siguiente trienio (2004-2006) se mencionó como una estrategia en la Secretaría de Desarrollo Rural Jalisco, en el Plan Municipal de Tonaya, la construcción de una PTAR con la propuesta de que las fábricas de mezcal tuvieran su planta tratadora de aguas residuales. En 2007, la Comisión Estatal del Agua (CEA) realizó un estudio de la composición de las aguas residuales urbanas y de las industrias mezcaleras en Tonaya, y se llegó a la conclusión de que las destiladoras debían tener un tratamiento diferente al que se pretendía poner en marcha para las aguas residuales urbanas (PTAR, 2007).

Para analizar y atender la problemática ambiental, el presente trabajo expone un análisis de la calidad del agua del río Tonaya con el objetivo de identificar cómo algunas variables fisicoquímicas se ven afectadas por los contaminantes provenientes de las aguas residuales de la industria tequilera y el impacto que esta contaminación tiene en la calidad del agua en el río Tuxcacuesco.

4.3 Antecedentes

El primer estudio que se realizó de las aguas residuales urbanas de la cabecera municipal de Tonaya, fue en septiembre de 1997. Se estableció que la aportación de la localidad de Tonaya al río era de 1,003.5 mg/L de DBO_5, 320 mg/L de sólidos suspendidos totales, 18 mg/L de nitrógeno total total, 11.4 mg/L de fósforo total y 96.9 mg/L de grasas y aceites. Además, como fuentes no puntuales se analizaron los

contaminantes de origen pecuario, el municipio de Tonaya aportó 1,081 mg/L de DBO_5, 60 mg/L de fósforo y 346 mg/L de nitrógeno. El municipio de Tuxcacuesco aportó 635 mg/L de DBO_5, 35 mg/L de fósforo y 203 mg/L de nitrógeno (CNA y Montgomery, 2001).

En el año 1999, cuando en Tonaya había 12 empresas productoras de mezcal, la capacidad instalada para la descarga al alcantarillado de las fábricas de Tonaya era de 12,800 litros por día. Se reportó que la DBO en la descarga general del alcantarillado de Tonaya era de 1,150 mg/L con valores desde 579 a 2,556 mg/L, equivalentes a una población de 74,738 habitantes, siendo que para el 2000, la población de Tonaya era de 3,302 habitantes (CNA y Montgomery, 2001).

En el 2007 se realizó el Proyecto Ejecutivo PTAR Tonaya (PTAR, 2007), obteniéndose 7 muestras compuestas; los valores se presentan en el Cuadro 4.1. En este mismo año, se realizó un muestreo a empresas mezcaleras y los resultados (Cuadro 4.2) indicaron que debían tener su tratamiento independiente de las aguas residuales urbanas (PTAR, 2007). En 2011 se producían cerca de 58,000 litros de vinazas por día (SEMADES, 2011). Es decir, en 12 años la producción de vinazas se cuadruplicó, reflejándose en las aguas residuales urbanas del municipio.

Cuadro 4. 1 Resumen de determinaciones de laboratorio a partir de una muestra compuesta de la descarga municipal de Tonaya (PTAR, 2007).

Parámetro	Unidad	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Conductividad eléctrica	µmhos/cm	1,501	1,897	1230
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	4,478	472	8,743
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5)	mg/L	3,045	172	4,950
Fósforo Total	mg/L	14.7	10.4	19.5
Nitratos	mg/L	1.613	0.1	3.72
pH 25°C	Unid. pH	5.64	4.61	7.29
Sulfatos	mg/L	170	148	183
Temperatura	°C	27.1	24.4	30.5
Plomo	mg/L	0.176	0.100	0.635

El recuadro sombreado indica que se rebasa el límite que establece la NOM-001-ECOL-1996 en la protección de vida acuática.

Cuadro 4. 2 Determinaciones de laboratorio de dos Mezcaleras (PTAR, 2007).

Parámetro	Unidad	Muestra	
		1*	2
Arsénico	mg/L	0.0096	0.0124
Cadmio	mg/L	0.05	0.05
Cobre	mg/L	0.25	1.96
Cromo Total	mg/L	0.25	0.25
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5)	mg/L	1,061	21,950
Fósforo Total	mg/L	1.62	20.7
Mercurio	mg/L	0.001	0.001
Níquel	mg/L	0.1	0.1
Nitrógeno Total	mg/L	23.9	202
pH @ 25°C	Unid. pH	6.55	3.53
Plomo	mg/L	0.1	0.1
Sólidos Sedimentables	mg/L	103	202
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2,657	3,933
Zinc	mg/L	0.062	0.184

* La muestra fue entregada por la propietaria de dicha industria, observándose de manera visual, que estaba diluida con agua.

Como los residuos industriales estaban aumentando, las autoridades correspondientes pusieron fecha límite para dejar de descargar las vinazas al drenaje urbano, como se mencionó en el capítulo dos. En septiembre de 2011, cada destiladora se haría cargo de sus residuos sólidos y líquidos.

Como otro de los acuerdos para resolver el conflicto de la contaminación, en abril de 2012 comenzó a funcionar la PTAR Tonaya con un proceso de lodos activados convencional y una capacidad de tratamiento de 8 lps (CEAJ, 2013a). Esta trabaja de 6:00 a 23:00 horas y en la madrugada se le cierra a la entrada de las aguas residuales, vertiéndose directamente al río. El proceso de tratamiento de las aguas residuales desde que ingresa hasta que sale al río es de 22 horas aproximadamente, siempre y cuando se tenga un funcionamiento normal. Este proceso no admite descargas de vinazas, ya que lo ácido de las vinazas destruye las bacterias con la que opera la PTAR. Así que si se vierten vinazas a las aguas residuales urbanas, éstas son desviadas al río sin ningún tipo de tratamiento para evitar un colapso en la planta.

4.3.1 Normatividad ambiental entorno a la calidad del agua

Las normas mexicanas establecidas para el medio ambiente no están diseñadas para determinar la calidad del agua, sino para ser un regulador general de los límites máximos permitidos de las descargas a los cuerpos de agua. A partir de esos límites, se impone una multa al emisor, o bien se limitan a clasificar el tipo de descarga. Además, las normas mexicanas no consideran todas las variables medidas en este estudio. Es por eso que se hizo una recopilación general de la literatura y se muestra un listado generalizado de las variables medidas, exponiendo según algunos autores, las concentraciones óptimas o límites para la conservación acuática (Cuadro 4.3).

Cuadro 4. 3 Variables utilizadas para evaluar la calidad del agua, su clasificación y límites máximos permitidos.

Variable	Concentración	Observaciones
Conductividad eléctrica	Entre 50 y 1,500 µS/cm	Fuera de este rango no es adecuada para algunas especies acuáticas (Goyenola, 2007)
Fe	0.30 mg/L	Límite máximo permitido para consumo humano (NOM-127-SSA1-1994)
Metales pesados	0.1%	En general, el porcentaje presente en la corteza terrestre es inferior a (Scheiner *et al.,* 1989)
Nitratos	10 mg/L	Para consumo humano es el límite máximo permitido.
	90 mg/L para peces	Concentraciones mayores para muchos organismos puede ser tóxico (Goyenola, 2007; CCA,1986; Sánchez *et al.,* 2007)
Sulfatos	20 mg/L	Evitar concentraciones mayores debido a su elevada toxicidad (Avelar *et al.*, 2008)
Fosfatos	0.05 mg/L	No excederse para prevenir la eutrofización (SEMARNAT, 2008)

OD mg/L	Condición	**Consecuencias** (Goyenola, 2007)
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0 – 5	Hipoxia	Desaparición de organismos y peces sensibles
5 – 8	Aceptable	OD adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos
8 – 12	Buena	
> 12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética

Salinidad ‰	Tipo de Agua (adaptado de Dahl, 1956)	Nivel de OD	% de Saturación de OD (Vernier, 2013)
0 – 0,5	Agua dulce		
0,5 – 30	Agua salobre oligohalina	Supersaturación	≥ 101%
30 – 100	Agua salobre mesohalina	Excelente	90-100%
100 – 170	Agua salobre polihalina	Adecuado	80-89%
170 – 300	Agua de mar oligohalina	Aceptable	60-79%
>1500	Hipersalina	Pobre	< 60%

DBO_5 mg/L (CNA, 2011)		**DQO mgO_2/L** (CNA, 2011)	
Criterio	**Clasificación**	**Criterio**	**Clasificación**
$DBO_5 \leq 3$	Excelente	DQO ≤ 10	Excelente
$3 < DBO_5 \leq 5$	Buena calidad	10 < DQO ≤ 20	Buena calidad
$6 < DBO_5 \leq 30$	Aceptable	20 < DQO ≤ 40	Aceptable
$30 \leq DBO_5$ 120	Contaminada	40< DQO ≤ 200	Contaminada
$DBO_5 > 120$	Fuertemente contaminada	DQO > 200	Fuertemente contaminada

En el Cuadro 4.4 se muestran los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales que establece la NOM-001-ECOL-1996. Se describen los tipos de cuerpos receptores A (Uso en riego agrícola), B (Uso público urbano) o C (Protección de vida acuática). La Ley Federal de Derechos establece que el río Tonaya se clasifica dentro de los cuerpos tipo A y el río Tuxcacuesco en el tipo B, pero se agrega el tipo C porque la finalidad de la presente investigación está enfocada a la protección de la vida acuática (CNA, 2009b).

Cuadro 4. 4 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos (NOM-001-ECOL-1996).

PARÁMETROS (mg/L)	RÍOS (P.D.)		
	Uso en riego agrícola (A)	Uso público urbano (B)	Protección de vida acuática (C)
Temperatura ^{o}C (1)	N/A	40	40
Grasas y aceites (2)	25	25	25
Sólidos sedimentables (m/l)	2	2	2
Sólidos suspendidos totales	200	125	60
Demanda Bioquímica de Oxígeno $(DBO)_5$	200	150	60
Nitrógeno total	60	60	25
Fósforo total	30	30	10
Arsénico *	0.4	0.2	0.2
Cadmio *	0.4	0.2	0.2
Cianuro *	3	2	2
Cobre *	6	6	6
Cromo *	1.5	1	1
Mercurio *	0.02	0.01	0.01
Níquel *	4	4	4
Plomo *	1	0.4	0.4
Zinc *	20	20	20

(*) Medidos de manera total.
P.D. = Promedio diario; (1) Instantáneo; (2) Muestra simple promedio ponderado
(A) (B) y (C) Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos

Además, para la composición típica de las aguas residuales de origen doméstico de México respecto a la DQO, se consideró la clasificación de Jiménez (2001), donde 250 mg O_2/L equivalen a una concentración *mínima*, 500 mg O_2/L a una concentración *promedio* y 1,000 mg O_2/L a una concentración *máxima*.

4.4 Métodos

4.4.1 Área de estudio

La cuenca del río Tuxcacuesco (Figuras 4.1 y 4.2) es una cuenca exorreica y perenne. Nace en los municipios de Atemajac de Brizuela, Chiquilistlán, Tapalpa, Tecolotlán y Tonaya y desemboca en la cuenca Armería. Cuenta con una superficie aproximada de 3,569 km^2. Su altitud varía entre los 600 msnm y los 3,700 msnm. Está formada por 20 subcuencas tributarias, concentrándose más del 50% de la cuenca en las subcuencas Jiquilpan, Tonaya y Ferreira (Meza, 2006). Sus aguas están reguladas por la presa Basilio Vadillo que tiene una capacidad de embalse de 145.7 Mm^3. El agua en su mayor parte está destinada al uso agrícola en el estado de Colima. La dinámica

hidrológica está regulada por la presa, así que en época de lluvias trae menos flujo que en temporada de secas, porque se cierra para almacenar agua y se abre en época de secas, para que pueda cumplir con la función de abastecer el riego (Meza, 2010; CNA y Montgomery, 2001).

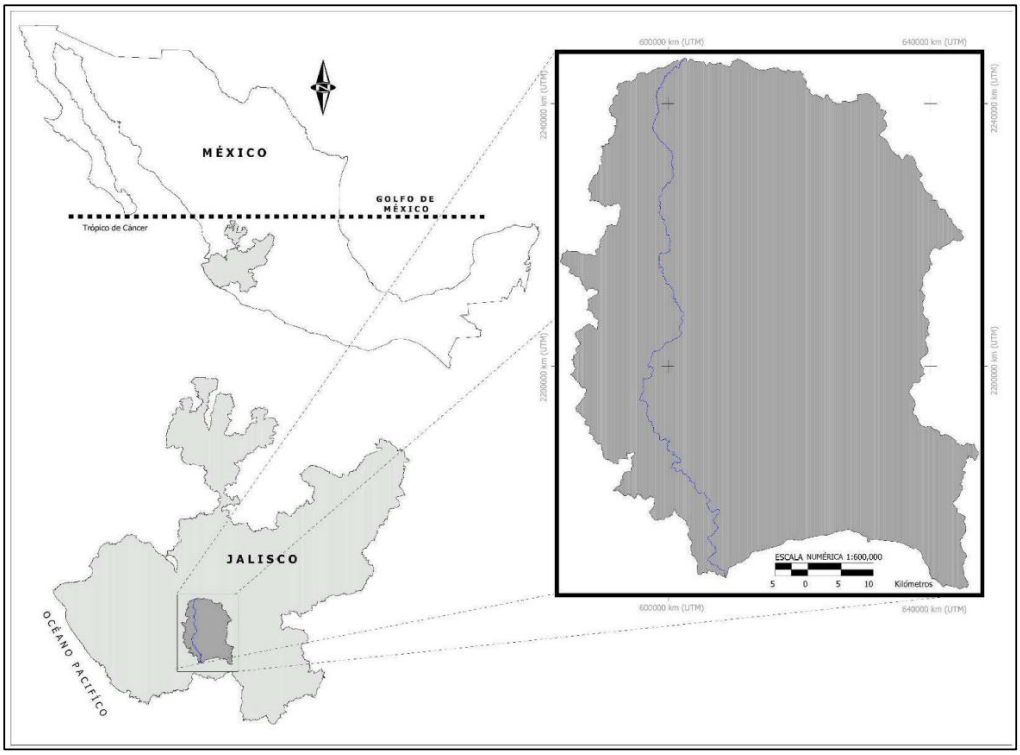


Figura 4. 1 Cuenca del río Tuxcacuesco (Meza, 2006).

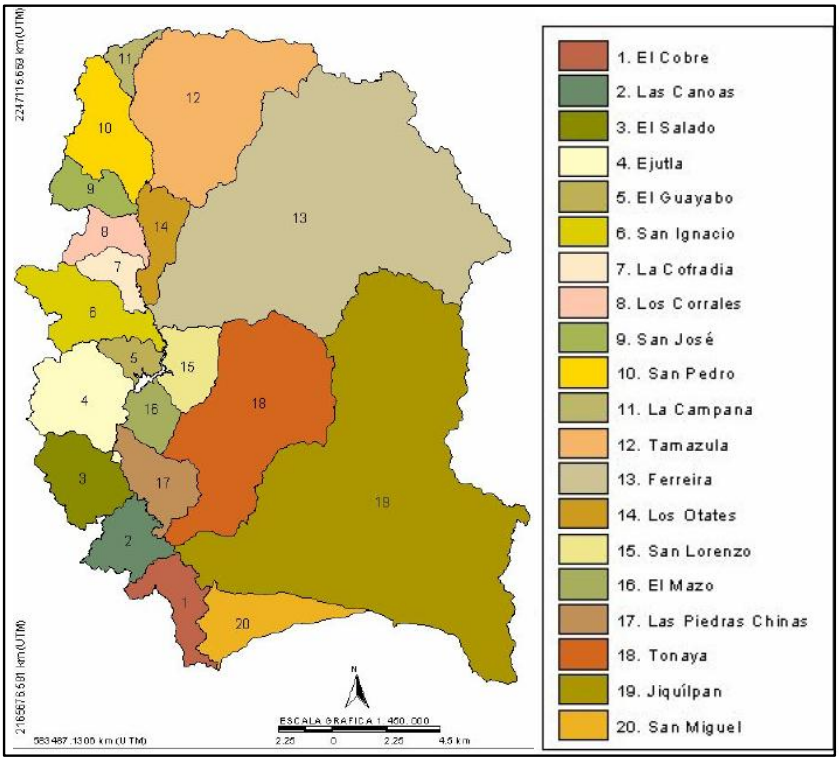


Figura 4. 2 Municipios que conforman la cuenca del río Tuxcacuesco (Meza, 2006).

El río Tonaya también es una cuenca exorreica, y se clasifica como un río intermitente porque la mayor parte del tiempo conduce agua, y a diferencia del río Tuxcacuesco, no está represado. La longitud del río Tonaya es de 31.428 km; tiene un área de 338 km^2 y una altura que varía entre 729 y 2424 msnm (Meza, 2006). El río Tonaya recibe aportaciones de los arroyos de temporales Tepames, Santa Gertrudis, La Zorra y Tempisque, entre otros; y también tiene ojos de agua como el de Coatlancillo, Amacuahutitlán y Agua Salada (COEPO, 2013).

4.4.1.1 Selección de los sitios

Se seleccionaron dos sitios en el río Tuxcacuesco y dos sitios en el río Tonaya (Figura 4.3). En cada río se contempló un sitio de referencia para determinar la calidad del agua sin influencia de las aguas residuales del municipio de Tonaya. El sitio “San Buenaventura”, corresponde al sitio de referencia del río Tuxcacuesco. La distancia entre el sitio 1 y el sitio 2 es de 22.5 Km (Figura 4.3). El sitio “La Cofradía”, representa el sitio de referencia del río Tonaya. El sitio “Tonaya”, corresponde al sitio de influencia de las aguas residuales urbanas de Tonaya, en el río homónimo. La distancia entre los

sitios 3 y 4 es de 6.5 Km (Figura 4.3). El sitio “Tuxcacuesco”, se encuentra en el río Tuxcacuesco y se seleccionó porque es ahí donde se han reportado los incidentes de la mortandad de peces y de donde se dispone de información de referencia de otros años. En la PTAR se muestrearon la entrada y salida denominándose “Influente” y “Efluente” respectivamente.

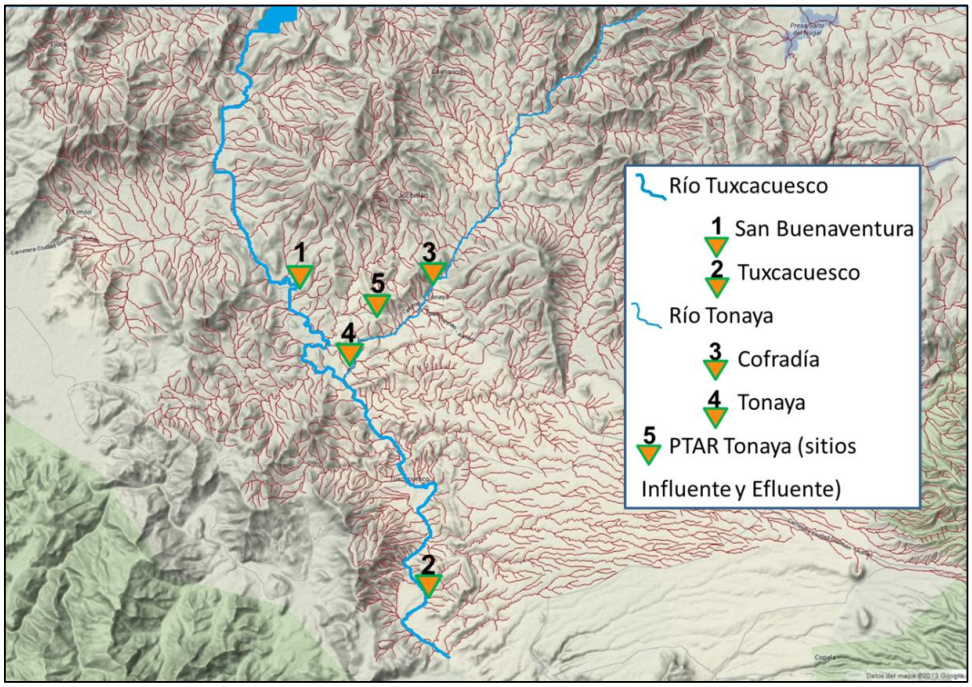


Figura 4. 3 Sitios de muestreo.

Los muestreos de agua de los ríos Tuxcacuesco y Tonaya se realizaron mensualmente en los cuatro sitios, iniciando en enero de 2012 y terminando en junio de 2013; para observar las diferencias en el comportamiento de las variables medidas entre la temporada de lluvias y la de secas.

Con la finalidad de determinar la calidad de agua que desecha la población de Tonaya y el funcionamiento que tiene la planta de tratamiento, se monitorearon mensualmente el Influente y Efluente de la misma desde junio de 2012 hasta junio de 2013.

4.4.2 Muestreo

Las variables medidas en campo fueron el gasto o caudal (Q), el porcentaje de saturación de oxígeno, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica, la salinidad, la turbiedad y la temperatura. Se recolectó agua y almacenó en el refrigerador para su

posterior análisis. En el laboratorio se determinaron los nitratos, sulfatos, hierro, nitrógeno amoniacal y fósforo. A partir de septiembre de 2012, en todos los sitios, se determinó la Demanda Química de Oxígeno (DQO), para medir el impacto de la PTAR Tonaya.

Para descartar la posible influencia de metales pesados provenientes de las vinazas y de la Mina Metalúrgica Tapalpa en los sitios del río, se realizaron durante los primeros tres meses (enero, febrero y marzo del 2012) muestreo de metales pesados (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo, zinc y níquel) y la DBO_5. Estos resultados se analizan en conjunto con los muestreos realizados por la JIRA.

Con los resultados obtenidos, se hizo un análisis comparativo para ver la evolución cronológica de las variables y además hacer una comparación con las referencias que marca la literatura y otros estudios similares. Para hacer referencia a la importancia de las variables medidas, en el Cuadro 4.5 se presentan las características descriptivas de éstos, así como los métodos empleados para su análisis.

Así mismo, se realizaron análisis estadísticos para comparar los sitios San Buenaventura con Tuxcacuesco, y La Cofradía con Tonaya, para saber si las variables medidas son significativamente diferentes. En primer lugar se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. A las variables que resultaron con distribución normal, se aplicó la prueba de medias t de Student, a los que no resultaron con distribución normal, se recurrió a la prueba de Kruskal-Wallis (Steel y Torrie, 1988). Se utilizó el software SPSS 15.0 para Windows.

Cuadro 4. 5 Características de las variables y los métodos utilizados en este estudio.

Variable	Unidad	Características	Método	Referencia
% de saturación de Oxígeno	%	Es la lectura de oxígeno disuelto en mg/L dividido por el 100% del valor de oxígeno disuelto para el agua	Sistema portable YSI Modelo 85	Vernier, 2013
Cianuros	mg/L	Se refiere a todos los grupos CN- en compuestos cianurados que pueden ser determinados como ion cianuro. Considerados como uno de los iones inorgánicos más importantes presentes en aguas contaminadas	Colorimétrico piridina-ácido barbitúrico y cuantificación con nitrato de plata.	NMX-AA-058-SCFI-2001; Avelar *et al.,* 2008
Conductividad Eléctrica (CE)	µS /cm	Es una expresión numérica de su habilidad para transportar corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación	Sistema portable YSI Modelo 85	NMX-AA-093-SCFI-2000; Romero, 2005
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días	De incubación por 5 días.	NMX-AA-028-SCFI-2001
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O_2/L	Es la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte, o la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente el material orgánico. tambiénse define como la cantidad de oxígeno que sustancias reductoras como la materia orgánica, presentes en el agua residual necesitan para descomponerse, sin la intervención de microorganismos	Método reflujo abierto / método de titulación y colorimétrico de dicromato	NMX-AA-030-SCFI-2001; EPA, 2013; Londono, 2013b
Fierro	mg/L	Es un micronutriente esencial para las plantas en niveles bajos y frecuentemente es tóxico en niveles altos por su bioacumulación	Espectrofotométrico con HACH DR 2010	Guerrero, 2012
Fósforo	mg/L	Es un nutriente esencial para el crecimiento de macro y microorganismos. Su alta concentración puede causar problemas de eutrofización	Espectrofotométrico HACH DR 2010 y colorimétrico	NMX-AA-029-SCFI-2001; Romero, 2005
Gasto (Q)	m^3/s y l/s	Es el volumen de agua que pasa por una sección del río en determinado tiempo	FP101-FP201 Global Flow Probe	Briones y García, 1997
Metales pesados As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn y Ni.	mg/L	Esta categoría de contaminantes está formada por un grupo de elementos químicos que en su mayoría son de naturaleza metálica y que, además, suelen tener una densidad relativamente alta (de ahí la denominación de "metal pesado") y una elevada toxicidad	Lectura directa en espectrómetro I.C.P.	EPA, 1996; Avelar *et al.,* 2008
Nitrógeno total y Nitrato	mg/L	El nitrógeno es un nutriente esencial para los organismos fotosintetizadores, pero en exceso puede determinar graves problemas en la calidad del agua, pues causa eutrofización (Goyenola, 2007).	Nitrato: reducción con cadmio cuperizado con Espectrofotómetro HACH DR 2010. Nitrógeno Total: Digestión y destilación Kjeldahl	NMX-AA-079-SCFI-2001; NMX AA-026-SCFI-2001
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	Es la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir	Sistema portable YSI Modelo 85	NMX-AA-012-SCFI-2001; Navarra, 2013
Potencial de hidrógeno (pH)	unidades	La escala del pH mide qué tan ácida o básica es una sustancia	Potenciómetro	NMX-AA-008-SCFI-2000; EPA, 2012a
Salinidad	Partes por mil $‰$	El porcentaje de sal en el agua	Sistema portable YSI Modelo 85	EPA, 2012b
Sulfatos	mg/L	Desde el punto de vista ambiental, son directamente responsables del olor y la corrosión de las alcantarillas.	Espectrofotométrico con HACH DR 2010	PROY-NMX-AA-074-SCFI-2010; Avelar *et al.,* 2008
Temperatura	°C	El valor de temperatura es un criterio de calidad del agua para la protección de la vida acuática y para las fuentes de abastecimiento de agua potable	Sistema portable YSI Modelo 85	NMX-AA-007-SCFI-2000
Turbiedad	(UTN) Unidades de Turbiedad Nefelométrica	Es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua	Nefelométrico (UTN) con Turbidímetro portátil Modelo 2100P	NMX-AA-038-SCFI-2001; Romero, 2005

4.5 Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en tres apartados, en primer lugar se exponen los resultados de los análisis de la calidad del agua de la PTAR Tonaya porque ésta influye directamente sobre los resultados de la calidad del agua de los ríos Tonaya y Tuxcacuesco. En segundo lugar, se presentan los resultados de la calidad de agua del río Tonaya. Por último, se muestran los resultados de la calidad de agua del río Tuxcacuesco.

4.5.1 Planta tratadora de aguas residuales de Tonaya

A pesar de que el acuerdo interinstitucional (capítulo dos) definió como límite para descargar vinazas al drenaje urbano el mes de septiembre del año 2011, en el control que se lleva a cabo para la operación de la PTAR se registró descargas de vinazas (Figura 4.4). El tiempo que tarda la descarga y el horario difirió, y no se supo cuál o cuáles empresas fueron las responsables de esta falta.

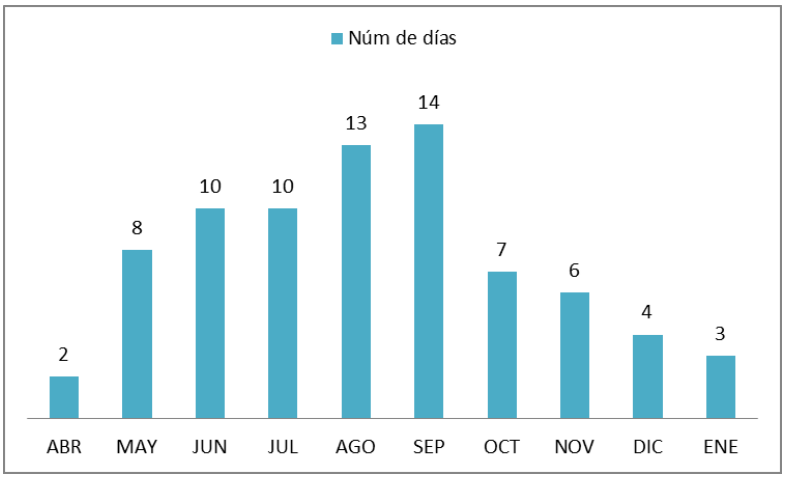


Figura 4. 4 Número de días por mes de la entrada de vinazas a la PTAR Tonaya 2012 y 2013. Fuente: Ayuntamiento de Tonaya, 2013.

Se obtuvo información de algunos parámetros analizados de la PTAR Tonaya realizados en dos ocasiones en 2012 por la Comisión Estatal del Agua Jalisco; los resultados comparados con la NOM-001-ECOL-1996 se muestran en el Cuadro 4.6.

Cuadro 4. 6 Parámetros de calidad de agua de la PTAR Tonaya, % de eficiencia del tratamiento y comparativo con los límites máximos permisibles según la NOM-001-ECOL-1996. Fuente: CEAJ, 2013b.

Fecha	27-jun-12			22-oct-12			**Nom-001-ECOL-1996***	
Sitio/ Parámetro (mg/L)	**Influente**	**Efluente**	**% de Eficiencia**	**Influente**	**Efluente**	**% de Eficiencia**	**A**	**C**
Nitrógeno total	64.65	1.87	97.1	51.67	1.19	97.7	60	25
Fósforo total	10.167	3.831	62.3	16.089	3.489	78.3	30	10
pH	6.16	7.38		6.67	7.24		5 -- 10	
Nitratos	0.806	0.252	68.7	0.147	0.073	50.3	N/A	N/A
Nitritos	<0.001	<0.001	0	<0.001	<0.001	0	N/A	N/A
Grasas y aceites	100.11	12.61	87.4	197.44	12.61	93.6	25	25
DQO	1981.493	48.279	97.6	898.069	34.791	96.1	N/A	N/A
Nitrógeno total Kjeldahl	63.84	1.62	97.5	51.52	1.12	97.8	N/A	N/A
Colif. fecales UFC/100ml		1600			9200		2000	
Sólidos sedimentables ml/L	5	<0.1	98	6	<0.1	98.3	2	2
Sólidos suspendidos totales	280	<5	98.2	760	<5	99.3	200	60
DBO	641.6	19.58	96.9	345.41	14.62	95.8	200	60

*: Promedio Diario; N/A: No es aplicable
(A) y (C) Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos
A: Uso en riego agrícola; C: Protección de vida acuática
El número sombreado rebasa el límite máximo permitido según la NOM-001-ECOL-1996.

En los dos muestreos realizados (Cuadro 4.6), la eficiencia de la planta es buena en general, el único parámetro rebasado en el agua tratada fue el de coliformes fecales en el mes de octubre. Resalta también la DQO del agua tratada en el mes de junio, que según la clasificación de la CNA (2011) se encuentra “Contaminada”, pero comparando el influente con el efluente, la eficiencia para tratar el agua es de 97.6% en promedio.

Como antecedente se tiene que la descarga municipal de Tonaya para el 2001 era de 382 m^3 por día (equivalente a 4.42 l/s) (CNA y Montgomery, 2001). Téngase en cuenta que para el gasto en los meses de abril y junio 2013 (Figura 4.5), la planta no estaba en funcionamiento, por lo que el agua del Efluente en el mes de junio 2013 se tomó directamente de la desviación que va a dar al río, por eso es el incremento en la cantidad del agua, además de que no estaba almacenada en la planta como en todos los demás muestreos.

El oxígeno en el Efluente (Figura 4.5c) muestra una mejoría en relación al Influente. Siguiendo la caracterización de Jiménez (2001), la DQO del Influente (Figura 4.5d) presenta una concentración *máxima* en los meses de octubre a enero, que es similar a la composición típica de las aguas residuales de origen doméstico en México.

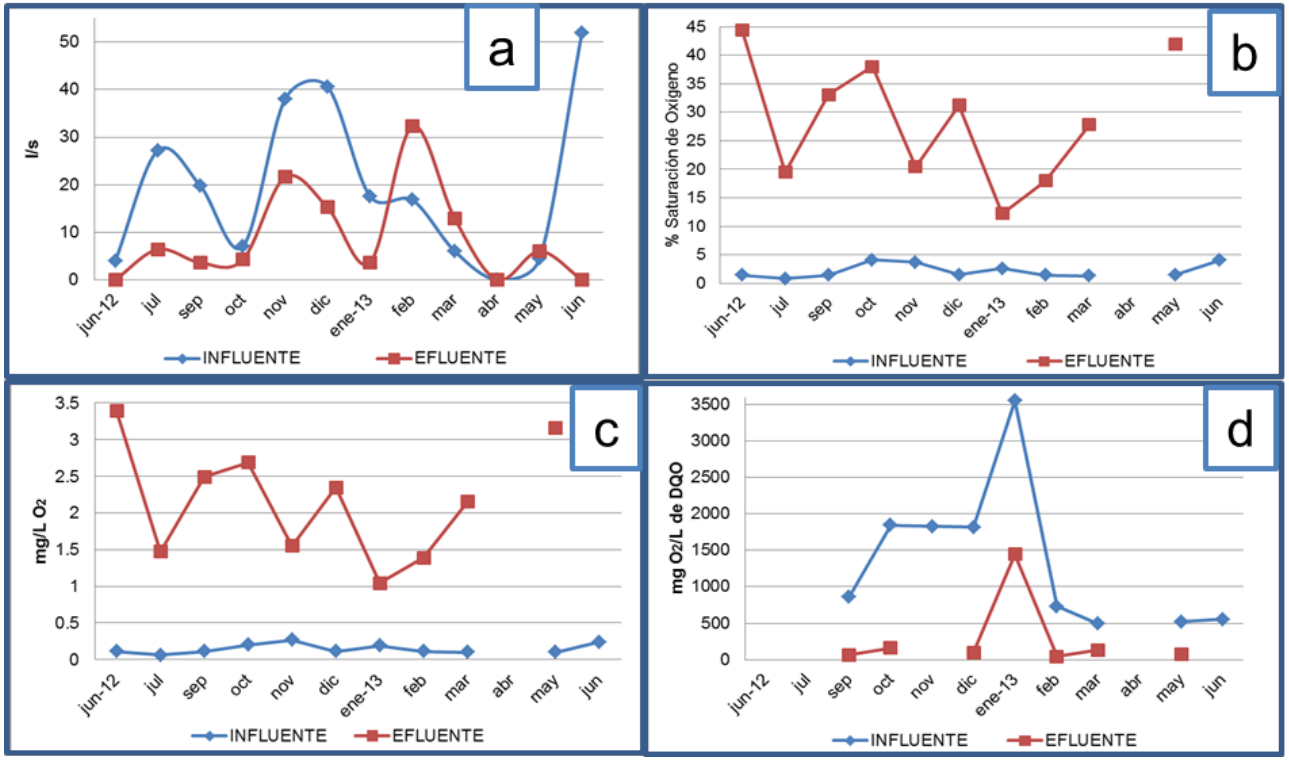


Figura 4. 5 (a) Gasto, (b) % de Saturación de Oxígeno, (c) OD y (d) DQO de la PTAR Tonaya.

La conductividad eléctrica y la salinidad se comportan de una manera similar dependiendo de la cantidad de partículas disueltas en el agua, es por eso que estos parámetros se analizan juntos en la Figura 4.6. La conductividad eléctrica en el Efluente presenta una mejoría de un 9.3% en promedio, en relación al Influente (Figura 4.6a). Los datos arrojados de la conductividad eléctrica son muy altos (en comparación con otros ríos de la región) en ambos puntos de muestreo, lo que coincide con el análisis realizado en el año 2007, que alcanza los 1600 µ*S*/cm.

La salinidad aumenta en un 12% en promedio, en el Efluente, lo que representa que disminuye la calidad (Figura 4.6b). La salinidad se clasifica como agua salobre oligohalina. Cabe mencionar que el proceso de la PTAR no está diseñado para mejorar estas variables.

La turbiedad (Figura 4.6c) del Efluente presenta una remoción de un 98%, en relación con el Influente. Esto permite que el agua pueda conducir los rayos del sol al fondo del agua y se lleven a cabo funciones como la fotosíntesis.

En la temperatura no hay variaciones entre el Influente y el Efluente, prácticamente tienen un mismo patrón. Además se encuentra dentro de los límites máximos permitidos en todos los meses muestreados, y sin afectar algún otro parámetro medido (Figura 4.6d).

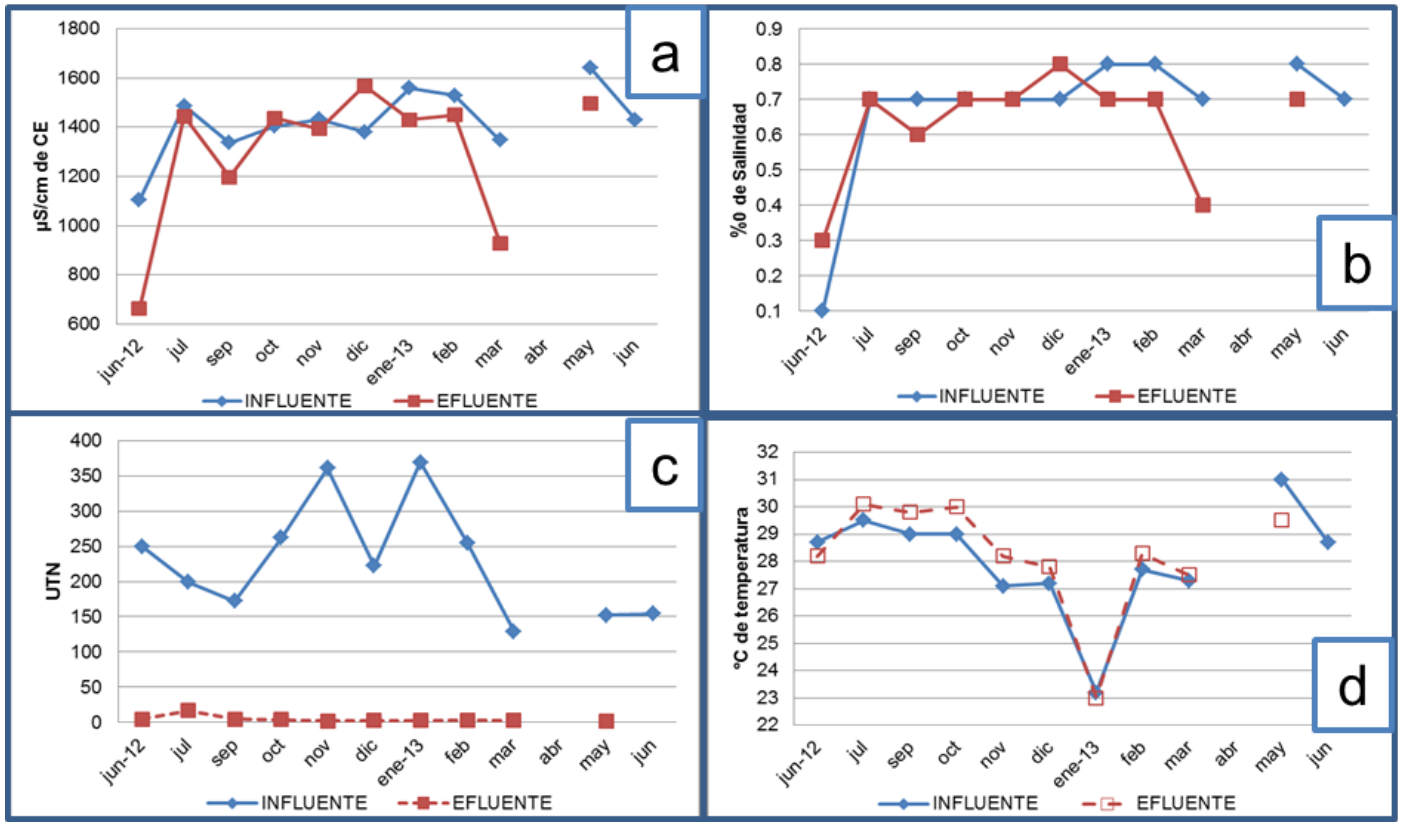


Figura 4. 6 (a) Conductividad eléctrica, (b) Salinidad, (c) Turbiedad y (d) Temperatura de la PTAR Tonaya.

Los nitratos son residuos en el tratamiento de aguas residuales (DEQ, 2014), en un 50% del total de los muestreos el sitio del Efluente supera al del Influente (Figura 4.7a). En promedio se incrementan en un 27% en el agua tratada, por el proceso de descomposición de la materia orgánica.

En cambio, el amonio (Figura 4.7b) en el agua tratada presenta un 93% en promedio de eficacia de remoción en todos los meses. El agua del Efluente se clasifica en concentración *mínima*, según Jiménez (2001).

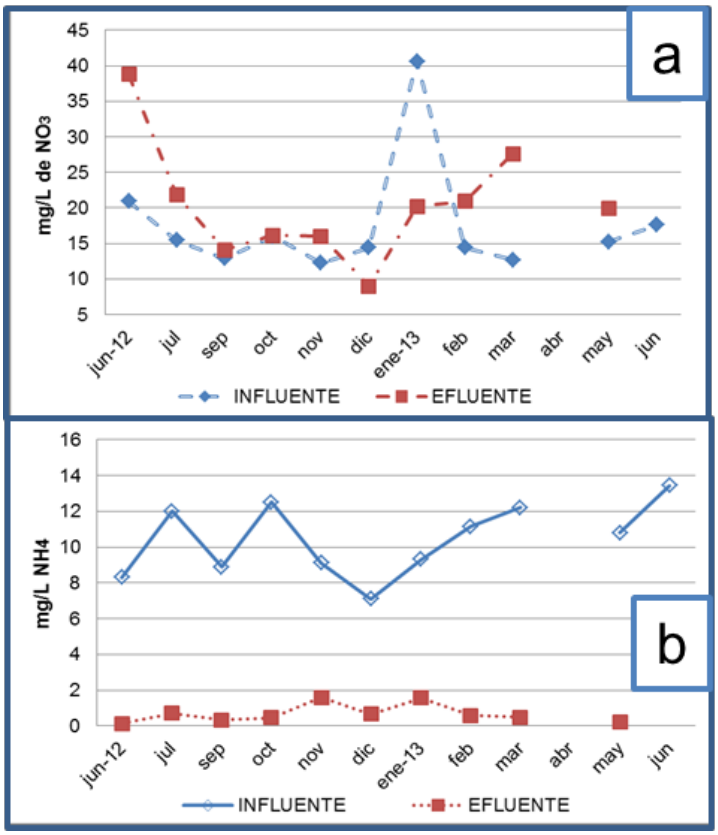


Figura 4. 7 (a) NO_3 y (b) NH_4, de la PTAR Tonaya.

Los fosfatos son residuos del tratamiento de aguas residuales (Osmond *et al.,* 1995), así que en el Efluente se tiene un incremento del 97% en comparación con el agua del Influente (Figura 4.8a).

Para el caso del hierro (Figura 4.8b) no hay un límite máximo permitido u óptimo para la vida acuática. Sin embargo, se observa una remoción en el Efluente.

Los sulfatos en todos los meses muestreados en el Efluente presentaron un incremento del 70% en promedio, en relación al Influente. Al igual que los nitratos y fosfatos, los sulfatos son residuos generados durante el tratamiento de aguas residuales (Figura 4.8c).

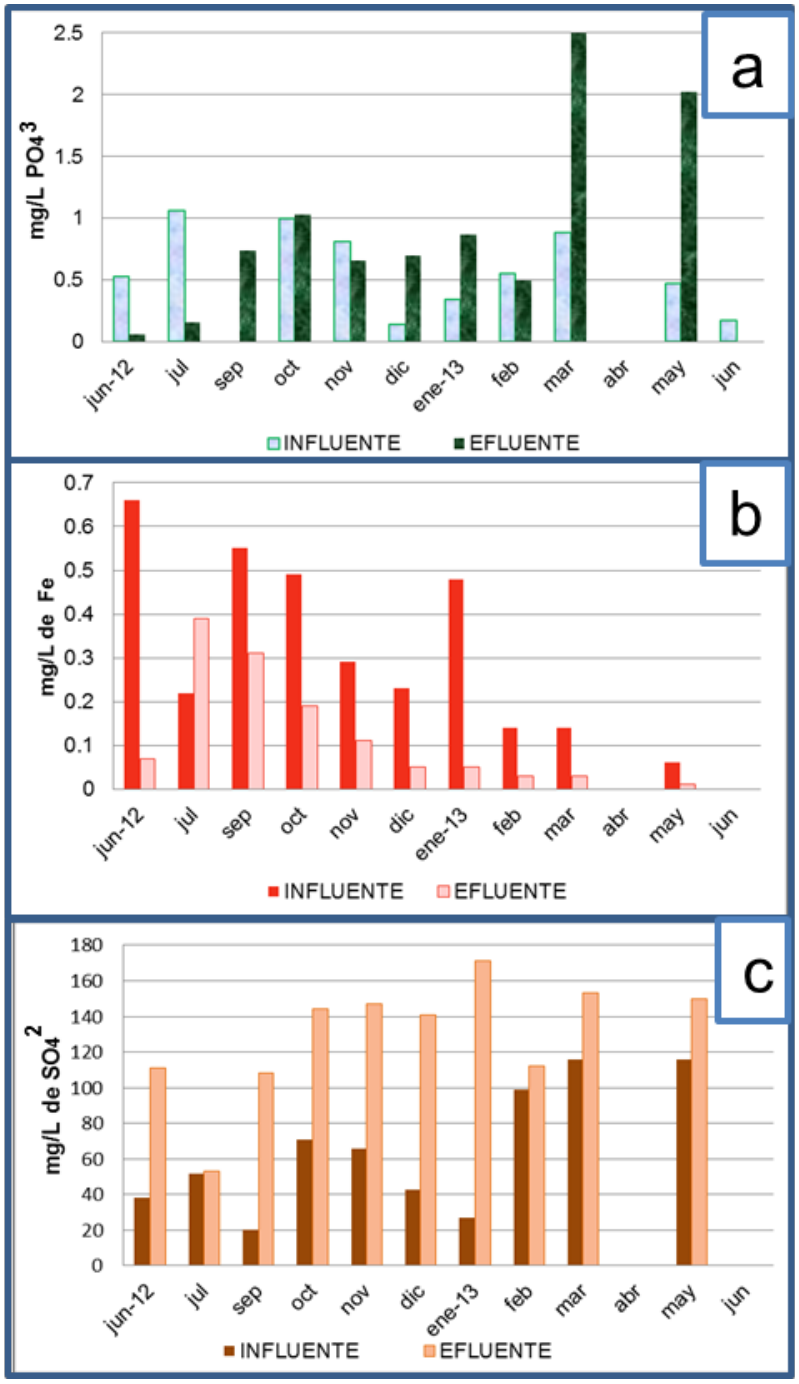


Figura 4. 8 (a) PO_4^{3-}, (b) Fe y (c) SO_4^{2-} de la PTAR Tonaya.

4.5.2 Calidad del agua del río Tonaya

En el Cuadro 4.7 se presentan los resultados de los análisis estadísticos para corroborar si las variables medidas entre cada sitio son diferentes significativamente. Posteriormente se hará referencia a estos resultados.

Cuadro 4. 7 Estadísticos de contraste con la prueba de Kruskal-Wallis del río Tonaya.

Variable	La Cofradía y Tonaya	Probabilidad α=0.05
Porcentaje de Oxígeno	0.522	NS
Oxígeno Disuelto	0.396	NS
DQO	0.354	NS
Conductividad Eléctrica	0.005	*
Salinidad	0.004	*
Turbiedad	1	NS
Nitratos	0.375	NS
Amonio	0.181	NS
Fosfatos	0.462	NS
Hierro	0.134	NS
Sulfatos	0.011	*

NS: No son significativamente diferentes. *: Significativamente diferentes

En los Cuadros 4.8 y 4.9 se presentan los resultados proporcionados por la JIRA, junto con los resultados de los muestreos realizados en esta investigación (enero, febrero y marzo de 2012). Se unieron los datos a manera de mostrar un seguimiento en el análisis.

Analizando los resultados, resaltan la DBO_5 y la DQO, en el sitio Tonaya, del 09 de febrero de 2012. Estos parámetros están muy altos en relación al primer sitio; clasificándose la DBO_5 como agua “contaminada” y la DQO en “fuertemente contaminada” (CNA, 2011a). En cambio, después de la instalación de la PTAR baja la concentración. Los Coliformes fecales y totales, en relación al sitio de referencia muestran un aumento en el sitio Tonaya, en casi la totalidad de los muestreos, impacto generado por la descarga de aguas residuales urbanas. Los Coliformes totales presentan una diferencia significativa estadísticamente.

Los resultados de los metales pesados (Cuadro 4.7) presentan al arsénico con valores que rebasan el límite máximo permisible de 0.2 mg/L, con 0.328 mg/L. El zinc se aumenta en enero y febrero en relación al sitio de referencia, sin embargo, se encuentra muy por debajo del límite permisible, por lo que no representa un riesgo aparente. Sin embargo, aunque en los análisis del agua no se reflejen altos valores, no se puede descartar la posibilidad de acumulación de metales pesados en el sedimento o en los organismos acuáticos.

Cuadro 4. 8 Resultados de parámetros de los sitios (Cofra) La Cofradía y (Ton) Tonaya y su comparativo con la NOM-001-ECOL-1996. Fuente: Ayuntamiento de Tonaya y JIRA, así como datos con * realizados en esta investigación.

Sitio	*Cofra**	*Ton**	Cofra	Ton	*Cofra**	*Ton**	*Cofra**	*Ton**	Cofra	Ton	Cofra	Ton	Cofra	Ton	Cofra	Ton	Nom-001-ECOL-1996	
mg/L	**26-ene-12**		**09-feb-12**		**28-feb-12**		**26-mar-12**		**05-jul-12**		**09-oct-12**		**12-dic-12**		**10-jul-13**		**A**	**C**
Cianuros totales	<0.05	<0.05	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3	2
DBO5	<10	<10	<1.98	109.6	<10	<10	<10	<10	12.23	10.42	<1.98	<1.98	<1.98	<1.98	5.8	12.1	200	60
DQO			< 5	329.97					22.13	55.28	<5	<5	6.45	7.66	170.86	100.96	N/A	N/A
Grasas y Aceites			< 5	<5.00					7.75	7.97	<5	<5	<5	<5	<5	<5	25	25
Nitritos			0.0043	0.0086					0.0155	0.041	0.008	<0.001	0.0155	0.0051	0.032	0.0725	N/A	N/A
Nitratos	1.1993	1.2129	0.993	0.09					0.422	0.029	0.109	<0.07	0.714	0.213	0.699	0.849	N/A	N/A
N Total	<0.1	<0.1	1	38.57	0.22	0.11	0.11	<0.1	1.91	N/A	0.93	<0.5	2.11	1	6.42	6.61	60	25
N Total Kjeldahl			< 5	38.47					1.47	N/A	0.81	<0.5	1.38	0.78	5.69	5.69	N/A	N/A
P Total			<0.25	<0.25					<0.25	0.094	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	1.564	2.702	30	10
SS ml/L			< 0.1	0.6					<0.1	N/A	< 0.1	<0.1	0.1	<0.1	20	3	2	2
SST			< 5	110					163.33	14.25	<5	28	27	<5	1780	1842.9	200	60
coliformes fecales NMPmL/100			210	110000					24000	24000	1100	1200	460	4600	46000	mayor o igual 240000	2000	N/A
coliformes totales NMPmL/100			1100	mayor o igual 240000					46000	mayor o igual 240000	1500	2100	2400	4600	110000	mayor o igual 240000		
conductividad electrolítica µS/cm	944	1534	1454.3	982.8	888	1515	999	1422	333	377	570	497	776	936	359	366		
pH			8.16	7.88					8.32	8.48	8.25	8.81	7.95	8.13	8.3	8.32	5--10	

N/A: No es aplicable. (A) y (C) Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos. A: Uso en riego agrícola; C: Protección de vida acuática.

*: Se muestrearon directamente.

Los recuadros sombreados significan que esas variables rebasan el límite establecido para la protección de vida acuática. En el caso de la DQO, que no está considerado para la NOM-001-ECOL-1996, se toma de referencia el criterio que establece la CNA, 2011.

Cuadro 4. 9 Resultados de metales pesados (Cofra) La Cofradía, (Ton) Tonaya y comparativo con los límites máximos permisibles de la NOM-001-ECOL-1996. Fuente: Ayuntamiento de Tonaya y JIRA, así como datos* realizados en esta investigación.

Sitio	**Cofra**	**Ton**	***Cofra****	***Ton****	**Cofra**	**Ton**	***Cofra****	***Ton****	***Cofra****	***Ton****	**Cofra**	**Ton**	**Cofra**	**Ton**	**Cofra**	**Ton**	**Cofra**	**Ton**	**Nom-001-ECOL-1996**	
mg/L	**27-nov-11**		**26-ene-12**		**09-feb-12**		**28-feb-12**		**26-mar-12**		**05-jul-12**		**09-oct-12**		**12-dic-12**		**10-jul-13**		**A**	**C**
As	**0.328**	0.0308	0.0573	0.0269	0.0755	0.0172	<0.0042	<0.0042	<0.0042	<0.0042	0.0111	0.011	0.0231	**0.236**	0.1037	0.0514	0.0329	0.0387	0.4	0.2
Cd	<0.0001	<0.0001	0.0002	0.0002	<0.02	<0.020	<0.0001	<0.0001	0.0003	0.0002	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.4	0.2
Cu	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.05	<0.050	0.0043	0.0037	0.0118	0.0127	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.202	0.274	6	6
Cr	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.1	<0.100	0.0418	0.013	<0.0035	<0.0035	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.5	1
Hg	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.002	<0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.02	0.01
Pb	<0.0014	<0.0014	<0.0014	0.0401	<0.1	<0.1	<0.0014	<0.0014	<0.0014	<0.0014	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1	0.4
Zn	<0.0001	<0.0001	0.452	0.5793	<0.1	<0.1	0.4381	0.5076	0.0862	0.0257	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.275	0.306	20	20
Ni	<0.0019	<0.0019	<0.0017	<0.0017	<0.05	<0.05	<0.0019	<0.0019	0.0026	<0.0019	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	4	4

(A) y (C) Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos. A: Uso en riego agrícola; C: Protección de vida acuática.
*: Se muestrearon directamente.
Los recuadros sombreados significan que esas variables rebasan el límite establecido para la protección de vida acuática.

El río Tonaya tiene un flujo de acuerdo al periodo de lluvias, porque no está influenciado por ninguna presa. Presenta un histograma con la elevación en los meses de julio y septiembre. En los demás meses, tiene un flujo muy bajo (Figura 4.9a).

La temperatura del agua se comporta en base a la temperatura ambiental, presenta una elevación en marzo y abril, porque en esos meses la temperatura del ambiente es también más alta (Figura 4.9b).

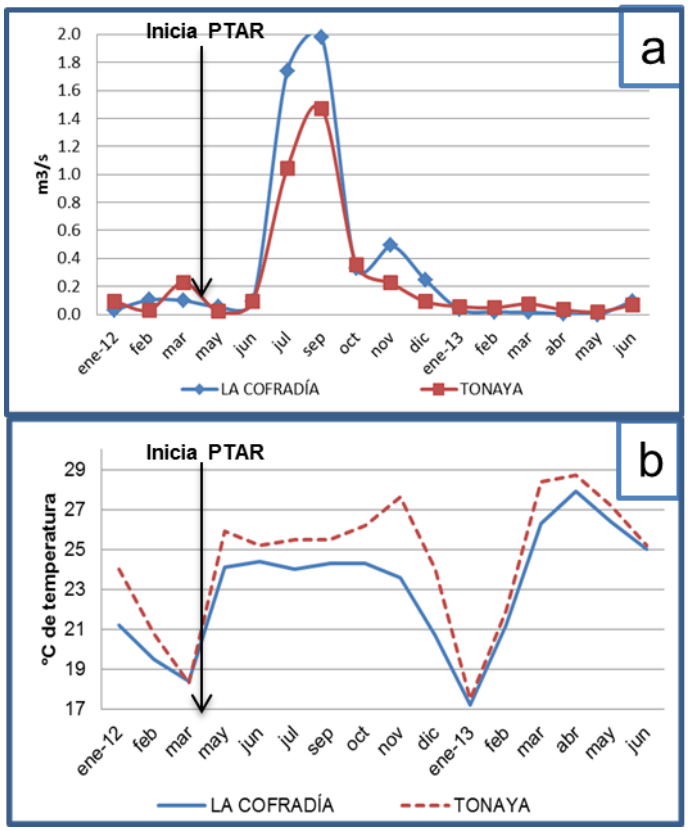


Figura 4. 9 (a) Gasto y (b) Temperatura del río Tonaya.

El nivel de oxígeno, se comporta en relación a la temperatura ambiental. No presenta una diferencia significativa durante los meses muestreados entre ambos sitios (Cuadro 4.7). En el mes de mayo de 2012 y 2013, el sitio La Cofradía, presentó un nivel de oxígeno inferior a 5mg/L O_2 donde casi no pueden sobrevivir los peces (Figura 4.10a y b).

La DQO presenta un aumento en el mes de diciembre que puede estar relacionado con el periodo vacacional y la feria taurina de la localidad. Representándose en las aguas residuales urbanas, y clasificadas como “agua fuertemente contaminada” (CNA,

2011) pues rebasa los 200 mg O_2/L (Figura 4.10c). El oxígeno entre estos dos sitios no presenta una diferencia significativa durante los meses muestreados (Cuadro 4.7 y Figura 4.10).

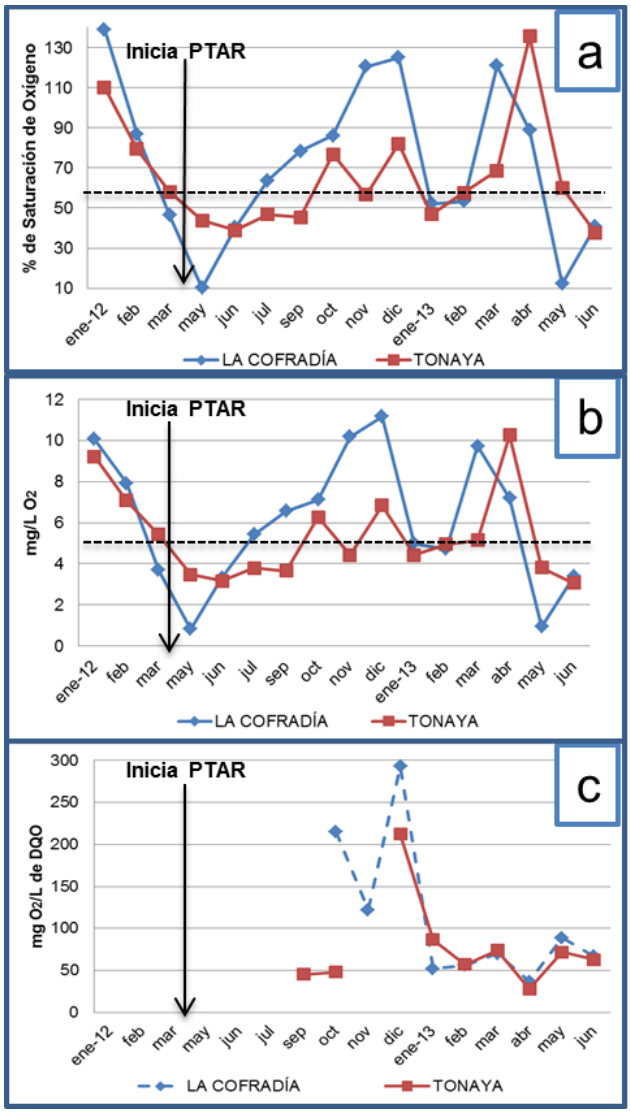


Figura 4. 10 (a) % de Saturación de Oxígeno, (b) OD y (c) la DQO del río Tonaya. La línea punteada horizontal significa el límite mínimo para la sobrevivencia de peces.

La conductividad y salinidad (que están relacionados con los sólidos suspendidos) muestran una tendencia inversamente proporcional al gasto, ya que al traer menos agua se concentran más las sales. La conductividad y salinidad del sitio Tonaya están por encima de La Cofradía. Estadísticamente ambas variables son significativamente diferentes entre los sitios (Cuadro 4.7). Lo que indica un impacto de las aguas

residuales urbanas tratadas o sin tratar. Además, la conductividad es una de las variables que, comparadas con otros municipios de la cuenca baja del río Ayuquila, se encontró muy por encima y aún sigue manifestando una alta conductividad que alcanza los 1600 µS/cm (Figura 4.11a y b).

La turbiedad (Figura 4.11c) se tornó más elevada en época de lluvias por el arrastre de sedimento. Las variables medidas no representan una diferencia significativa entre sitio y sitio (Figura 4.11 y Cuadro 4.7).

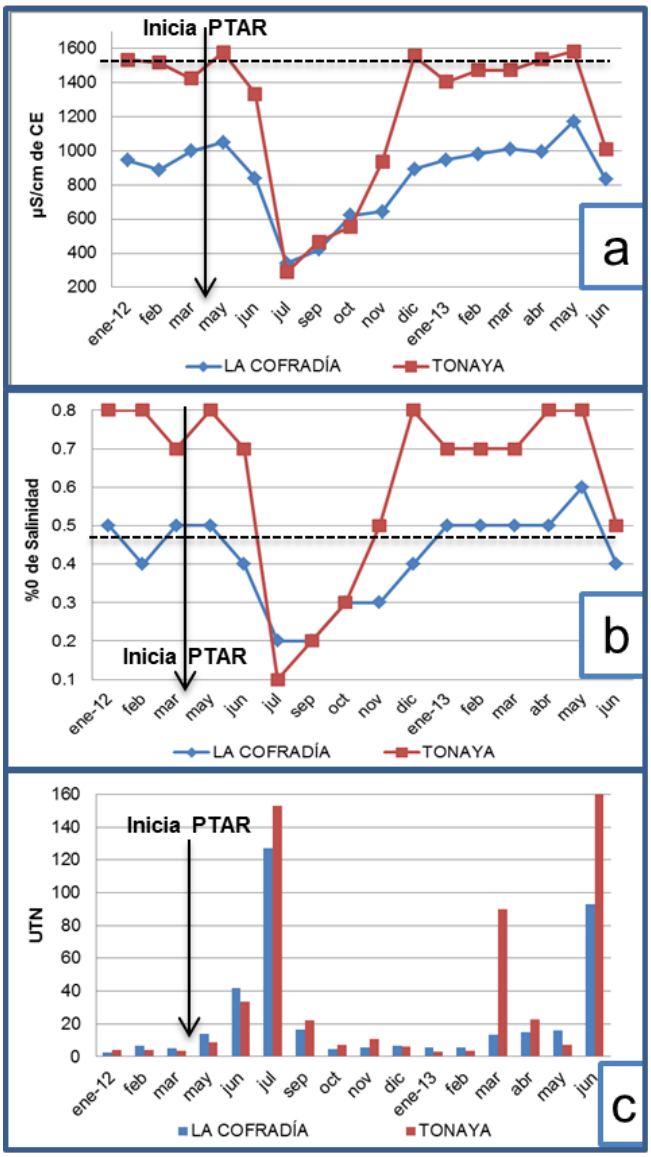


Figura 4. 11 (a) CE, (b) Salinidad y (c) Turb. del río Tonaya.
La línea horizontal puntada en la CE indica el límite máximo para algunas especies; para la salinidad arriba de ese límite ya no es agua dulce.

El nitrato y el amonio, presentan una tendencia similar, aparentemente no se ven influenciados por la descarga de la PTAR, porque en los meses donde la PTAR libera mayor nitrato, no se ven reflejados con los picos en el sitio Tonaya, excepto en el mes de marzo de 2013. Estadísticamente, ni el nitrato ni el amonio representan una diferencia significativa entre el sitio Tonaya y sitio La Cofradía (Cuadro 4.7 y Figura 4.12a y b).

En el fosfato estadísticamente no es significativa la diferencia entre sitio y sitio (Cuadro 4.7). Sin embargo, se aprecia un incremento en el sitio Tonaya, en relación al sitio La Cofradía, a partir de la construcción de la PTAR (Figura 4.12c).

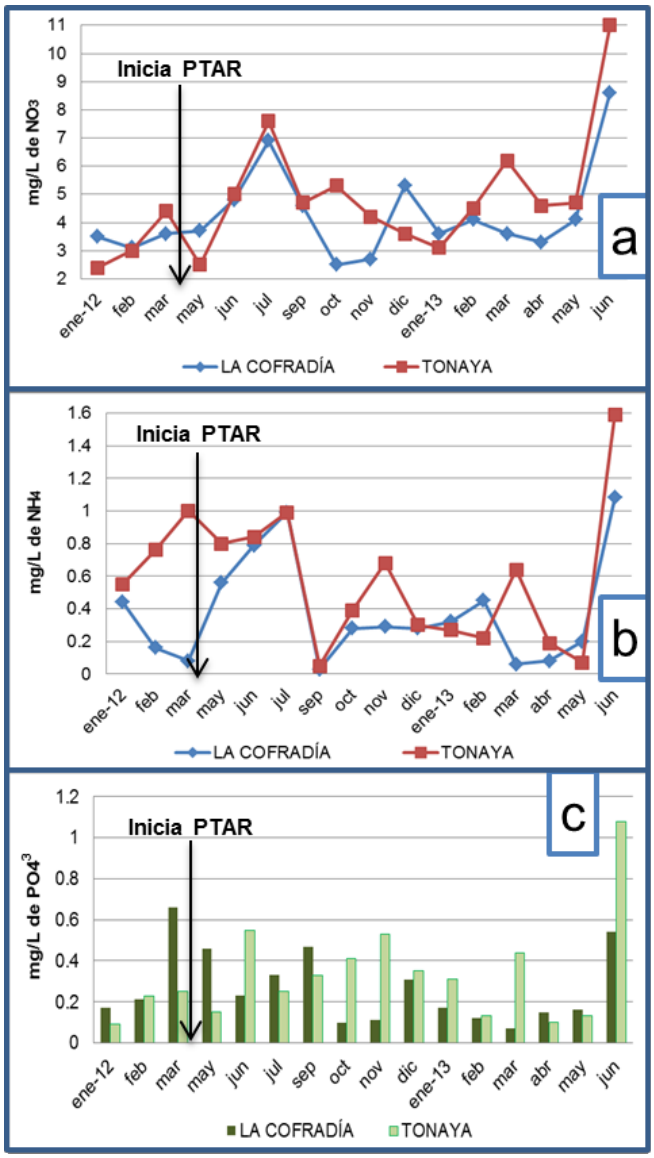


Figura 4. 12 (a) NO_3-, (b) NH_4 y (c) PO_4^{3-} del río Tonaya.

El hierro presente en todo el estudio es mínimo y no representa ningún riesgo para la vida acuática. Los meses de julio a octubre para el sitio de referencia, que resultan mayores que el sitio Tonaya, y estos meses son los que presentan mayor flujo de agua en La Cofradía, por lo que puede deberse al efecto de la temporada de lluvias. Estadísticamente no presentan diferencia significativa los dos sitios (Cuadro 4.7 y Figura 4.13a).

De manera general, los sulfatos presentan una tendencia de manera inversamente proporcional al gasto. A su vez el sitio Tonaya, presenta un aumento a partir de la presencia de la PTAR con relación al sitio de referencia. Estadísticamente, los dos sitios si presentan diferencia significativa, siendo mayor el sulfato en el sitio Tonaya (Cuadro 4.7 y Figura 4.13b).

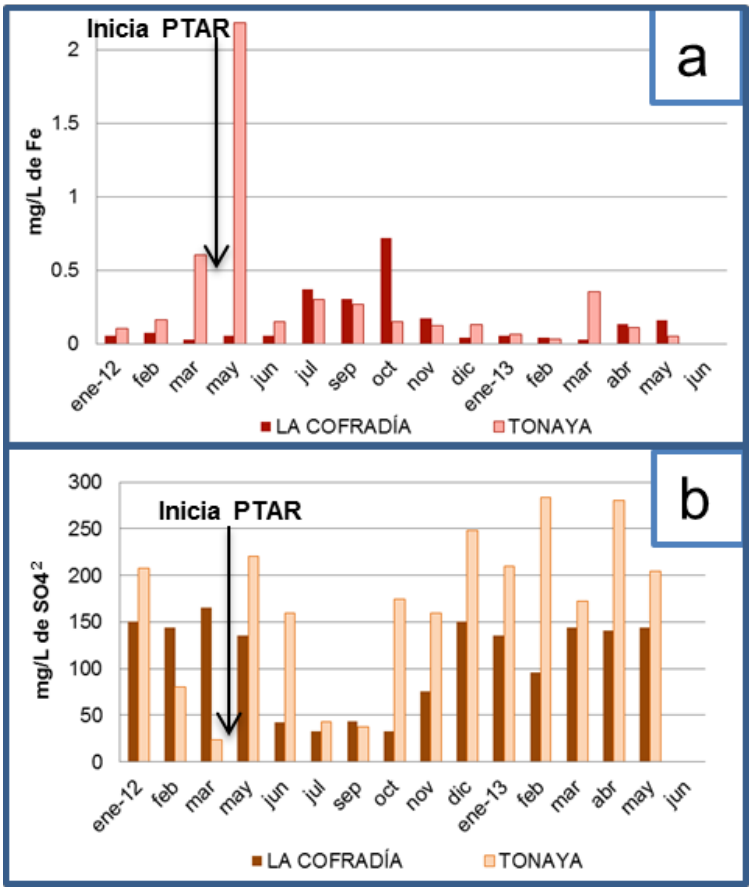


Figura 4. 13 (a) Fe y (b) SO_4^{2-} del río Tonaya.

4.5.3 Calidad del agua del río Tuxcacuesco

Respecto a la presencia de metales pesados en el río Tuxcacuesco, solo el cromo (enero) y el zinc (marzo) presentan un ligero aumento del sitio San Buenaventura al sitio Tuxcacuesco. De manera general, no se encontraron resultados mayores a los límites máximos permisibles de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996 (Cuadro 4.10).

Cuadro 4. 10 Análisis de metales pesados, cianuros y DBO5 en los meses de enero, febrero y marzo 2012 en el río Tuxcacuesco.

Sitio	San Buenaventura	Tuxcacuesco	San Buenaventura	Tuxcacuesco	San Buenaventura	Tuxcacuesco	Nom-001-ECOL-1996*	
mg/L	ene-12		feb-12		mar-12		A	C
As	<0.0042	<0.0042	<0.0042	<0.0042	<0.0042	<0.0043	0.4	0.2
Cd	0.0002	<0.0001	0.0003	0.0002	0.0004	0.0006	0.4	0.2
Cu	<0.0035	<0.0035	0.0088	0.0115	0.0655	0.399	6	6
Cr	<0.0035	0.593	0.57	0.0593	<0.0035	<0.0035	1.5	1
Hg	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.02	0.01
Pb	<0.0014	<0.0014	<0.0014	<0.0014	0.005	0.0055	1	0.4
Zn	0.5533	0.5078	0.5288	0.5004	0.0803	0.1076	20	20
Ni	0.0019	0.0018	0.0031	0.0027	0.008	0.0059	4	4
Cianuros	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	3	2
DBO5	<10	<10	<10	<10	<10	<10	200	60

* Promedio Diario
(A) y (C) Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos
A: Uso en riego agrícola; C: Protección de vida acuática

En el Cuadro 4.11 se presentan los resultados de la diferencia significativa entre los sitios medidos del río Tuxcacuesco. En los que mostraron normalidad en la distribución de los datos se utilizó la prueba t de Student, los que no mostraron normalidad se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis.

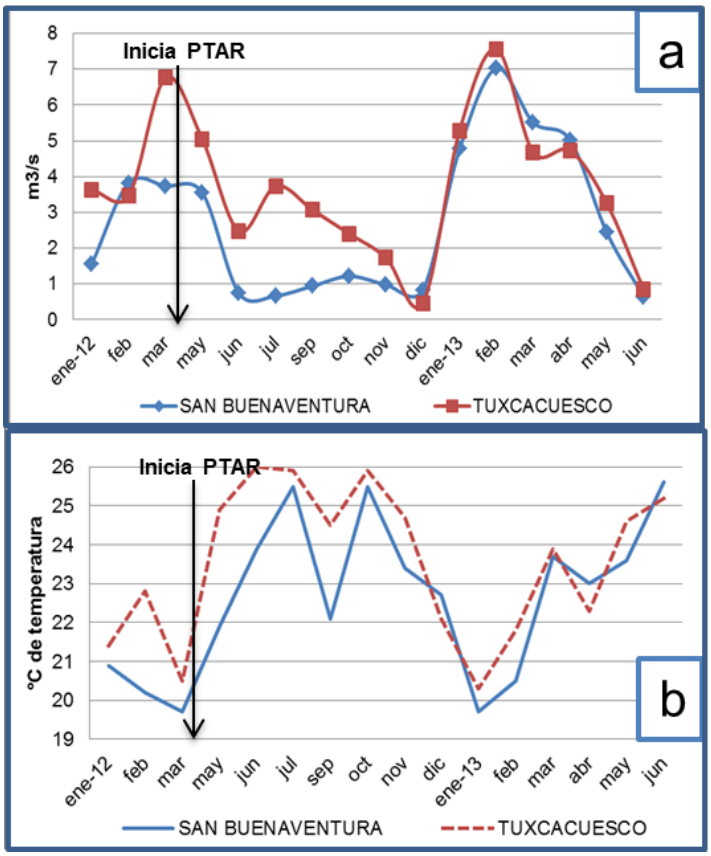
Cuadro 4. 11 Estadísticos de contraste con la prueba t de Student (t) y Kruskal-Wallis (k) del río Tuxcacuesco.

Variable	San Buenaventura y Tuxcacuesco	Probabilidad α=0.05
Porcentaje de Oxígeno	0.157	NS (t)
Oxígeno Disuelto	0.188	NS (t)
DQO	0.269	NS (t)
Conductividad Eléctrica	0.033	* (k)
Salinidad	0.037	* (k)
Turbiedad	0.026	* (k)
Nitratos	0.485	NS (t)
Amonio	0.036	* (k)
Fosfatos	0.418	NS (k)
Hierro	0.023	* (t)
Sulfatos	0.836	NS (t)

NS: No son significativamente diferentes. *: Significativamente diferentes

Al ser un río represado, el caudal se comporta de manera contraria al río Tonaya, es decir, en época de lluvias trae menos agua y en secas el río trae más agua. El pico más alto se presentó en septiembre, porque coincidió con una tormenta días antes del muestreo de ese mes, lo que no permitió medir esta variable en ningún sitio (Figura 4.14a).

La temperatura del agua se relaciona con la del ambiente, pues en la época de lluvias se eleva de manera general en ambos sitios (Figura 4.14b).



Nota: En el mes de septiembre se promedió el caudal base para darle continuidad a la gráfica, porque no se pudo medir el gasto.

Figura 4. 14 (a) Gasto y (b) Temperatura del río Tuxcacuesco.

El oxígeno presenta un patrón irregular en el periodo muestreado. Sin embargo, si se puede apreciar que el sitio Tuxcacuesco tiene menor calidad de oxígeno que el sitio de referencia en los meses antes de construcción de la PTAR. Resalta una mejoría del sitio Tuxcacuesco al comenzar operaciones la PTAR en relación al sitio San Buenaventura (Figura 4.15a y b).

La DQO de manera general se comporta parecida en ambos sitios. El mes de diciembre presenta una elevación, que puede estar relacionada con el periodo vacacional. Esta variable no se ve influenciada por el río Tonaya (Figura 4.15c).

Las variables del oxígeno estadísticamente, no presentan diferencia significativa entre el sitio San Buenaventura y el sitio Tuxcacuesco (Figura 4.15 y Cuadro 4.11).

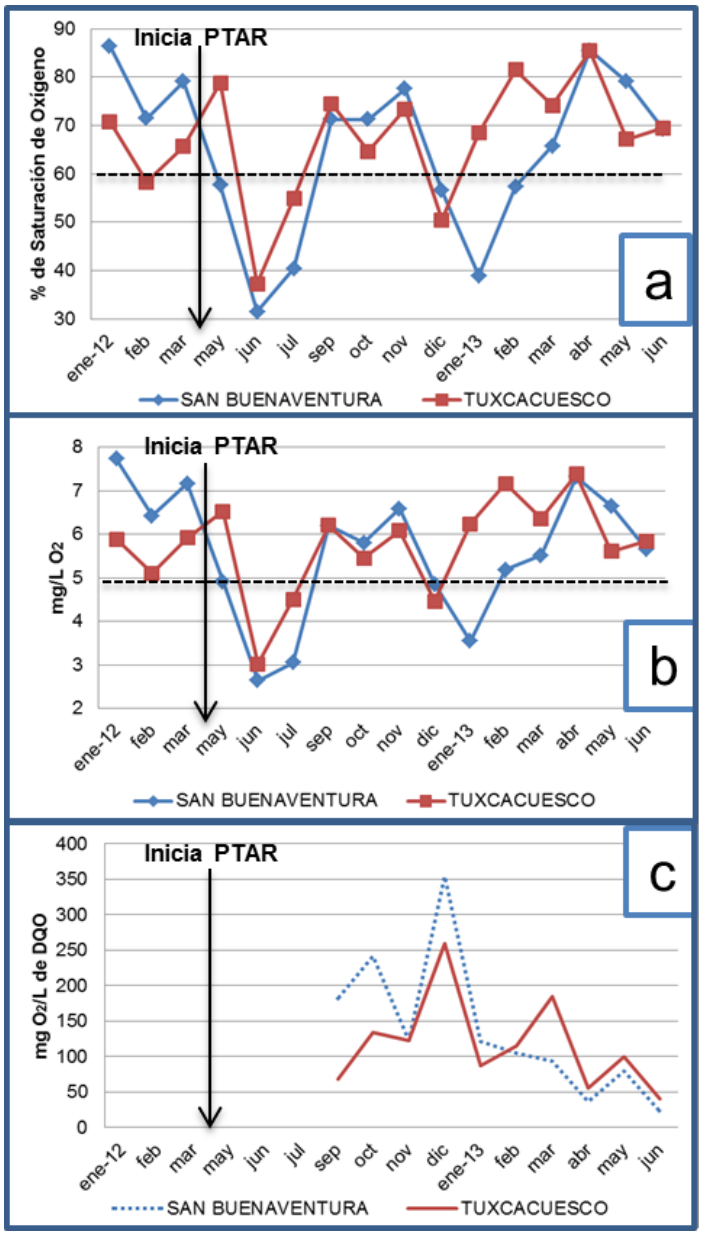


Figura 4. 15 (a) % de Saturación de Oxígeno, (b) OD y (c) la DQO del río Tuxcacuesco.
La línea punteada horizontal significa el límite mínimo para la sobrevivencia de peces

En el sitio Tuxcacuesco si hay un ligero aumento en la conductividad eléctrica (Figura 4.16a) del sitio de referencia. Estadísticamente las variables conductividad eléctrica y salinidad si son diferentes significativamente entre ambos sitios (Cuadro 4.11).

La turbiedad muestra una diferencia estadísticamente significativa (Cuadro 4.11) entre el sitio Tuxcacuesco, y el sitio de referencia. Los meses en que se presenta más turbiedad en el sitio Tuxcacuesco, coinciden con los meses de lluvias (Figura 4.16c).

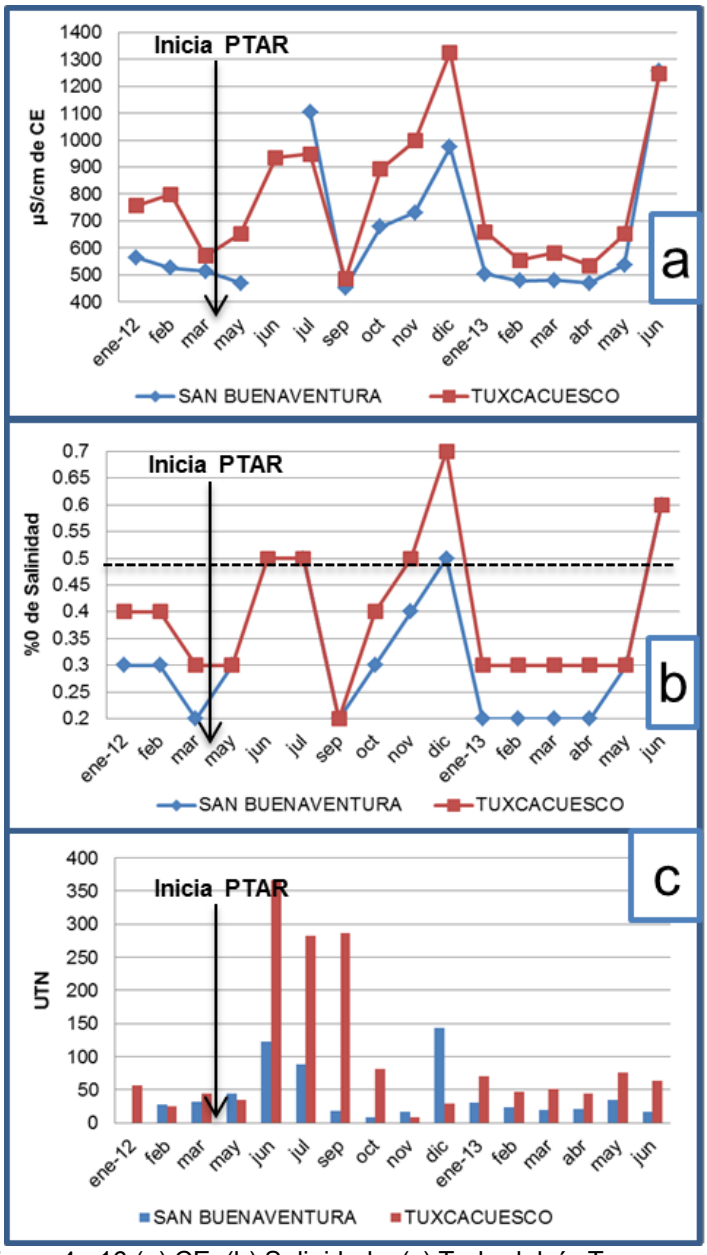


Figura 4. 16 (a) CE, (b) Salinidad y (c) Turb. del río Tuxcacuesco.
La línea horizontal puntada en la CE indica el límite máximo para algunas especies; y para la salinidad arriba de ese límite ya no es agua dulce.

La tendencia que presentan el nitrato y el amonio está relacionada con la época de lluvias, ya que éstos aumentan en ese periodo. El nitrato no presenta una diferencia estadísticamente significativa entre los sitios San Buenaventura y Tuxcacuesco. El amonio en cambio si presenta diferencia significativa entre sitios. Para los fosfatos, se aprecia que a partir de la construcción de la PTAR, el sitio Tuxcacuesco en la mayoría de los meses muestreados, es mayor en relación al sitio de referencia. Sin embargo, estadísticamente no hay diferencia significativa entre los sitios (Figura 4.17 y Cuadro 4.11).

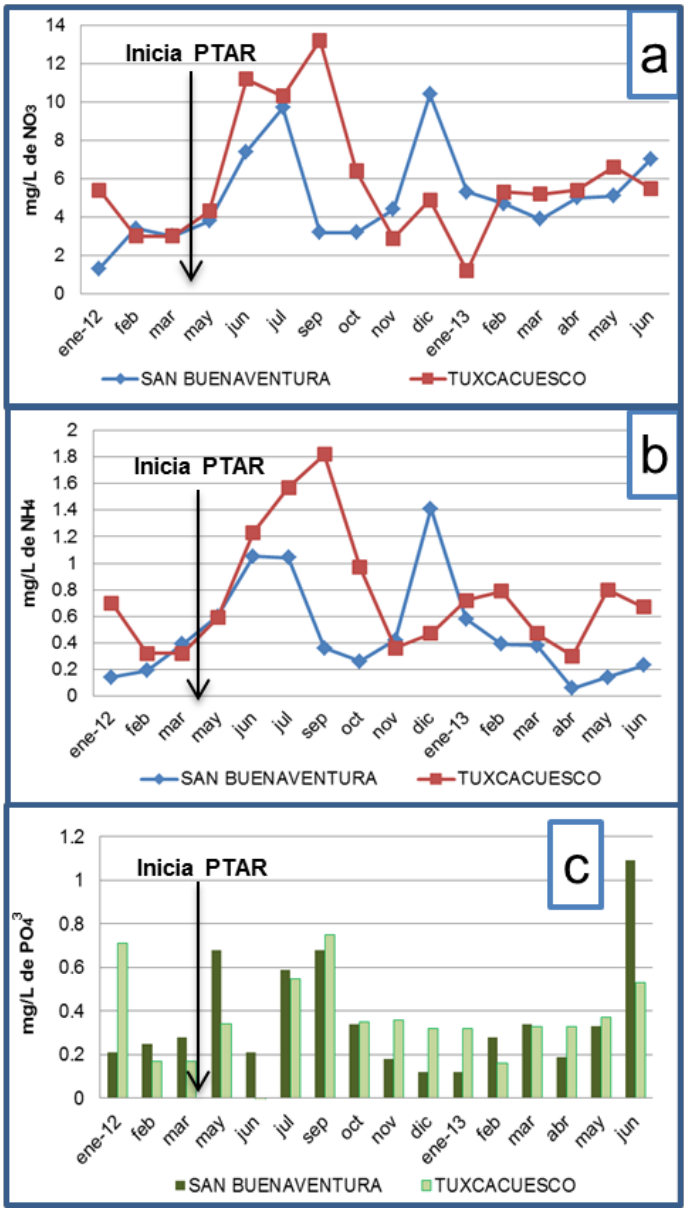


Figura 4. 17 (a) NO_3-, (b) NH_4 y (c) PO_4^{3-} del río Tuxcacuesco.

El hierro es diferente significativamente entre sitio y sitio. Presenta un patrón irregular en el periodo muestreado, sin embargo, en el sitio Tuxcacuesco resulta con más concentración en la mayoría de los meses muestreados (Cuadro 4.11 y Figura 4.18a). Los sulfatos no presentan una diferencia significativa entre ambos sitios (Cuadro 4.11 y Figura 4.18b).

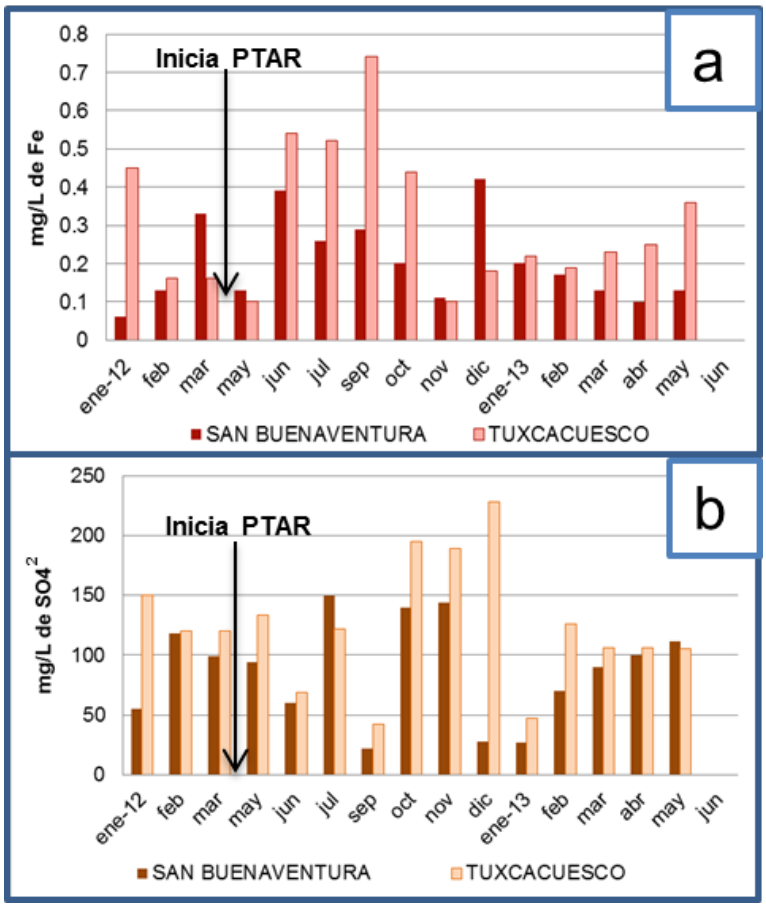


Figura 4. 18 (a) Fe y (b) SO_4^{2-} del río Tuxcacuesco.

4.6 Discusión

El flujo natural de un río es muy variable en todas las escalas de tiempo, desde horas, días, estaciones e incluso cada año (Poff *et al.,* 1997). Esto hace que el estudio de un río sea complejo si se quiere comparar a través del tiempo. La variabilidad presente en un río, hace que las variables fisicoquímicas lo sean también. Partiendo de este principio, se discute el comportamiento de las variables medidas.

Las condiciones iniciales al plantear la investigación eran, en primer lugar, la descarga de vinazas tequileras crudas a las aguas residuales urbanas y estas a su vez se vertían al río Tonaya sin previo tratamiento, ocasionando la contaminación en el río Tuxcacuesco. El segundo factor es el caudal del río Tuxcacuesco, que está regulado por la presa Las Piedras. En temporada de lluvias, a la presa se le cierran las compuertas, lo que ocasiona que disminuya el flujo del río. La combinación de estos dos factores en temporada de lluvias en el río Tuxcacuesco ocasiona una concentración de materia orgánica proveniente de las vinazas y aguas residuales urbanas de Tonaya, lo que llegó a ocasionar mortandad de peces por la falta de oxígeno en el agua.

En el trascurso del planteamiento de la investigación ocurrieron hechos que cambiaron las condiciones iniciales; la investigación estaba diseñada para evaluar los impactos negativos que ocasionaban las vinazas. Sin embargo, antes de iniciar el muestreo, se les prohibió a las empresas descargar las vinazas a las aguas residuales urbanas y las empezaron a verter en campos de cultivos. Así que no se alcanzó a muestrear el impacto real que tuvieron las vinazas en las aguas del río Tonaya, a excepción de los tres primeros meses muestreados. Otro hecho que modificó los resultados esperados fue la construcción de la planta tratadora de aguas residuales Tonaya. Por tanto se decidió agregar a la investigación el impacto de esta planta en la calidad del agua. Por lo que, el rumbo de esta investigación se encausó a evaluar las acciones llevadas a cabo para mitigar el problema de la descarga de vinazas al río.

El límite máximo permitido de temperatura para descargas a cuerpos de agua de acuerdo a la protección de la vida acuática es de 40 °C y en ningún caso se encuentra superado (Figuras 4.9b y 4.14b). La temperatura del agua de un río está relacionada con la actividad de la vida acuática; influye directamente sobre su metabolismo, fisiología y ciclo de vida, así como en el tiempo de descomposición de la materia orgánica presente (Poole y Berman, 2001). Por otro lado, si el nivel del agua es bajo, las altas temperaturas pueden contribuir a su evaporación y hacer que se concentre más la materia orgánica presente.

Respecto al oxígeno (Figura 4.5) en el Efluente de la PTAR Tonaya, aunque mostró una mejoría, esta no es suficiente para la conservación de las especies acuáticas, porque se necesitan aproximadamente 8 mg/L como mínimo (Goyenola, 2007). En el río Tonaya, en los meses más cálidos hubo una disminución, probablemente intervinieron dos factores, el bajo nivel del agua que llevaba el río y la alta temperatura del ambiente de esas fechas, lo que ocasionó liberación del oxígeno. Por otro lado, lo que puede explicar las altas concentraciones de oxígeno (Figura 4.10a y b) en el sito La Cofradía, en los meses de enero, noviembre y diciembre del año 2012 serían el bajo nivel del agua, una temperatura ambiental no tan cálida y una baja turbiedad. El bajo nivel de agua permite que la poca agua adquiera el oxígeno del aire y la claridad del agua que permite que se lleve a cabo la fotosíntesis.

A partir de mayo de 2012 en el sitio Tuxcacuesco, el oxígeno tuvo una mejoría en relación al sitio de referencia, que podría atribuirse a que se dejó de descargar vinazas al río y a la construcción de la PTAR Tonaya. Sin embargo, en el mes de junio de 2012 el río Tuxcacuesco alcanzó un nivel inferior de oxígeno al que pueden sobrevivir los peces que es de 5 mg/L O_2. Por el histograma (Figura 4.14a), se puede probar que coincide con la disminución del flujo del agua. Esto indica que se cerró la presa, para amortiguar el periodo de lluvias. Así que esa disminución de flujo puede ser la causa de la disminución del oxígeno en este mes en ambos sitios (Figura 4.15a y b). En los meses de abril, mayo y junio de 2013, el oxígeno presenta una disminución en relación al patrón que presentaba, es decir, disminuyó en relación a la calidad del oxígeno del sitio San Buenaventura. Estos meses coinciden con los días en que la PTAR no estaba operando, por lo que las aguas residuales del municipio de Tonaya fueron descargadas al río sin previo tratamiento (Figura 4.15a y b). Lo que puede influir en la disminución del oxígeno en el sitio Tuxcacuesco. Esto es un ejemplo de lo que puede pasar si se vuelve a combinar, la descarga de aguas residuales sin tratamiento y el bajo caudal del río Tuxcacuesco.

La DQO (Cuadro 4.10c) de los sitios Cofradía y Tonaya, mostró una disminución, lo que se considera positivo. Para el sitio Tonaya, se muestra una mejoría después de la construcción de la PTAR, en los análisis proporcionados (Cuadro 4.7) y en los realizados en este estudio. Se tiene el dato de febrero de 2012 (Cuadro 4.7), con una diferencia de casi 330 mg/L de DQO para el sitio Tonaya y >5 para La Cofradía. Por lo que la diferencia entre ambos es bastante. En los últimos seis meses del muestreo no hubo un incremento similar. La PTAR disminuye la materia orgánica, por lo tanto disminuye la DQO. Como referencia se tiene que la Organización Panamericana de la Salud (OPS) maneja criterios diferentes a los de la Norma Oficial Mexicana para

clasificar los ríos. Una DQO mayor a 7 mg/L se considera un río en malas condiciones (Londono, 2013a), por lo que si se compara con los resultados, la calidad de los ríos Tuxcacuesco y Tonaya se clasifican en malas condiciones durante todos los meses de muestreo.

Para la conductividad eléctrica, en México no existe actualmente una Norma que la regule. Sin embargo, se usaba como referencia la NOM-CCA/032-ECOL/1993, en donde se establecía como límite permitido para agua de riego de 2000 micromhos/cm. Por tanto, usando esta norma para los resultados, la conductividad eléctrica, no rebasa este límite. Cabe mencionar que en los resultados, hay un aumento significativo de conductividad eléctrica y salinidad en el sitio Tonaya con relación al sitio La Cofradía. En estas dos variables, la PTAR no representa ningún impacto aparente. El aumento que presenta el sitio Tuxcacuesco de la conductividad y salinidad en relación al sitio San Buenaventura, probablemente se deba al aporte del río Tonaya (Figuras 4.11 y 4.16).

La turbiedad para ambos ríos presenta sus picos más altos en los meses de las primeras lluvias (Figuras 4.11c y 4.16c), que es cuando el arrastre de sedimento va a dar directo al río. Sin embargo, para el sitio Tuxcacuesco presenta un incremento que casi duplica al sitio San Buenaventura. Este aumento no se puede atribuir al río Tonaya, porque el aporte es mínimo. La razón de este hecho muy probablemente sea porque la zona de Tuxcacuesco tiene un clima muy árido y su vegetación es de chaparral. Es decir, es una zona propensa al arrastre de sedimentos (Meza, 2006), a diferencia de los otros tres sitios, donde la vegetación es un poco más densa. La turbiedad puede afectar a la vida acuática si es muy elevada, pero no hay lineamientos que indiquen un límite permisible para la protección de la vida acuática. Sin embargo, si hay demasiadas partículas en el agua, se puede ocasionar que disminuya el oxígeno disponible para la fauna acuática y también puede impedir la fotosíntesis (Londono, 2013a).

Los nutrientes nitrato y fósforo son los más importantes para el crecimiento de algas y plantas acuáticas, y como consecuencia son los principales causantes de la eutrofización. El crecimiento de algas provoca un empobrecimiento de oxígeno en el lugar, y eso sí afecta directamente a los organismos. Las fuentes del nitrato son los fertilizantes, la oxidación del amoniaco, aguas residuales industriales y municipales, tratamiento de aguas residuales, así como residuos animales (DEQ, 2014). De manera general, los peces se empiezan a morir cuando en el agua se detectan niveles de 90 mg/L de nitrato (Sánchez *et al.,* 2007). Para este mismo parámetro la Organización

Mundial de la Salud (2006) establece que en agua potable el límite máximo permitido es de 50 mg/L N, valor que está basado en la enfermedad metahemoglobinemia; aunque esta Organización también establece que para otros países el límite es de 10 mg/L N (OMS, 2006; WHO, 2011).

El nitrato en el río Tuxcacuesco (Figura 4.17a) se relaciona más bien con la época de lluvias, muy probablemente por el arrastre de sedimentos que contienen fertilizantes. No se observa un impacto del aporte del río Tonaya al río Tuxcacuesco.

El amonio se relaciona con los desechos urbanos por la descomposición de la urea. En los resultados obtenidos, la PTAR no impacta en la cantidad de amonio en el río Tonaya porque el Efluente descarga una mínima cantidad de amonio al río (Figura 4.12b). Sin embargo, el incremento de amonio en los sitios Tonaya y Tuxcacuesco, en relación a La Cofradía y San Buenaventura, respectivamente, puede deberse a la amonificación del nitrato en el trayecto del río.

Para el caso del fósforo, se considera que 1 gramo de fosfato puede provocar el crecimiento de hasta 100 g de algas, pero la eutrofización incipiente se encuentra entre 0.1 y 0.2 mg/L de fosfato en el agua corriente (Sánchez *et al.,* 2007; Interempresas, 2010). A la fecha, según la United States Environmental Protection Agency (EPA), el fósforo no representa un contaminante principal. Sin embargo, esta misma entidad en el año de 1986 también considera que un rango mayor a 0.1 mg/L ya puede influir en la eutrofización (EPA, 1986; Osmond *et al.,* 1995; EPA, 2013). Por otra parte, la SEMARNAT (2008) especifica que los fosfatos no deberían exceder 0.05 mg/L para prevenir la eutrofización. De acuerdo con lo anterior, todos los sitios rebasan estos límites (Figuras 4.12c y 4.17c), por lo que se pueden presentar problemas de eutrofización. En el sitio Tonaya (Figura 4.12c) se observa un incremento en la mayoría de los meses, a partir de la construcción de la PTAR, pues es residuo del tratamiento de aguas residuales. Al aumento de fosfato que tiene el sitio Tuxcacuesco (Figura 4.17), no se le puede atribuir al aporte del río Tonaya, porque no se aprecia una relación en los meses que el sitio Tonaya aumenta esta variable.

Para el hierro y sulfatos no existen normas mexicanas que regulen los límites máximos permitidos respecto a la protección de la vida acuática. El hierro, micronutriente esencial para las plantas terrestres, es bioacumulado por éstas en niveles bajos y frecuentemente es tóxico en niveles altos (Guerrero, 2012). Según la NOM-127-SSA1-1994 el hierro no se considera un parámetro de importante contaminación de ríos,

pero si se incrementa la concentración puede causar problemas de salud en las personas (Graniel y Carrillo, 2006; UAC, 2012b). No se aprecia que el río Tonaya impacte en esta variable al río Tuxcacuesco.

Los sulfatos provienen de la oxidación de menas de sulfato, de aguas residuales industriales y de las minas. Desde el punto de vista ambiental, Avelar *et al.,* (2008) recomiendan concentraciones no mayores a 20 mg/L debido a su elevada toxicidad. Como antecedente se tiene que en 1986 se publicó en el Acuerdo 50 del Diario Oficial de la Federación como límite máximo permitido para la protección de la vida acuática en agua dulce 0.005 mg/L (CCA, 1986). Pero este Acuerdo ya no está vigente. Según Avelar *et al.,* (2008) los sulfatos rebasan el límite ambiental. Para el sitio Tonaya (Figura 4.13b), se observa un incremento a partir de la construcción de la PTAR. El incremento del río Tuxcacuesco puede deberse al aporte del sulfato del río Tonaya (Figura 4.18b).

Desde enero de 2008 a la fecha, de las variables estudiadas, las únicas que manifestaron un ligero aumento en el río Tuxcacuesco a partir de la PTAR Tonaya, son los nitratos, amonios y fosfatos (com. pers. Martínez, 2013 [5]). Aunque la conductividad eléctrica en el sitio Tonaya no tuvo una mejoría, si hubo una disminución notoria en el río a partir de junio de 2012 tomando de referencia desde el 2009. Esta mejoría se pudiera atribuir a que se dejó de descargar el gran volumen de vinazas al río.

4.7 Conclusión

Al no estar represado, el río Tonaya contribuye de manera importante en temporada de lluvias al caudal del río Tuxcacuesco, aunque, por ser un río intermitente, en temporada de secas casi no le aporta agua. Respecto a la calidad del agua del río Tuxcacuesco, en el periodo muestreado, se refleja una mejora gradual, porque se empezaron a tratar las aguas residuales urbanas de la ciudad de Tonaya y se dejaron de descargar vinazas al río (ver capítulo 2). Así que el impacto que tiene río Tonaya en la calidad del río Tuxcacuesco, durante el periodo muestreado es favorable. Esto no quiere decir que el problema de la descarga de vinazas al río esté resuelto. Primero, porque la disposición final de las vinazas aún no se ha verificado como mejor opción, y segundo, porque desde junio 2013 la PTAR Tonaya ha estado fallando y prácticamente está fuera de servicio. Esta es una situación negativa por dos

[5]Comunicación personal. 2013. Monitoreo del río Ayuquila-Armería. Dr. Luis Manuel Martínez Rivera. Jefe del Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara

cuestiones: la primera, que las aguas residuales urbanas se vierten sin previo tratamiento al río, y la segunda, que las empresas tequileras por la falta de control vuelvan a verter las vinazas a las tuberías del drenaje y por lo tanto al río. De aquí, que las autoridades tengan que intervenir para que la PTAR esté en funcionamiento los 365 días del año, y así no retroceder en el avance que se ha logrado para resolver este problema de contaminación del río.

Se puede concluir que, aunque no se resolvió el problema de las vinazas de manera definitiva, las estrategias utilizadas en el municipio de Tonaya sí fueron efectivas para solucionar la problemática de la contaminación del río Tuxcacuesco. Sin embargo, se debe trabajar en una alternativa viable a largo plazo para la disposición adecuada de las vinazas. Es importante que, para evitar la contaminación, se mantenga funcionando la PTAR, porque además de tratar las aguas residuales urbanas, sirve de referencia para evitar que vuelvan a verter vinazas. De otra manera, no se tendría un control diario y no habría evidencias de que se esté cumpliendo con el acuerdo de no verter vinazas al río. Se recomienda darle seguimiento a las estrategias de tratamiento de vinazas para buscar una solución definitiva.

4.8 Literatura citada

Avelar G. F. J., F. J. Flores T. y I. E. Medina R. 2008. Contaminación del Agua. Cap. 4 en Jaramillo J. F., A. R. Rincón S. y R. Rico M. 2008. Toxicología ambiental. Textos universitarios. Ciencias Básicas. Universidad de Guadalajara y Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Briones S. G. y I. García C. 1997. Aforo del agua en canales y tuberías. Trillas: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

CCA Centro de Calidad Ambiental. 1986. Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89. UNINET. Acuerdo 50. Diario Oficial de la Federación.

CEAJ Comisión Estatal del Agua de Jalisco. 2013a. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Consultado en línea el 09 de abril de 2013 en http://www.ceajalisco.gob.mx/ptarjal.php

CEAJ Comisión Estatal del Agua Jalisco. 2013b. Resolución Unidad de Transparencia/CEA. Oficio UT/GJ/081/2013

CEAJ Comisión Estatal del Agua Jalisco. 2013c. Resolución Unidad de Transparencia/CEA. Oficio UT/GJ/163/2013

CNA Comisión Nacional del Agua. 2009a. Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Jalisco. Serie Planeación Hidráulica en México. Componente: Planeación Regional y Estatal. SEMARNAT. Gobierno Federal.

CNA Comisión Nacional del Agua. 2009b. Ley Federal de Derechos. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales. Gobierno Federal. SEMARNAT. Estados Unidos Mexicanos.

CNA Comisión Nacional del Agua. 2011. Estadísticas del agua en México, edición 2011. SEMARNAT.

CNA Comisión Nacional del Agua. 2011b. Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. SEMARNAT. Gobierno Federal. Estados Unidos Mexicanos.

CNA y Montgomery W. 2001. Estudio de la calidad del agua del río Ayuquila en una longitud de 240km, en los estados de Jalisco y Colima. Comisión Nacional del Agua. CD-ROM. Diciembre.

COEPO Consejo Estatal de Población. 2010. Municipio de Tuxcacuesco, Jalisco. Región Sierra de Amula. SEIJAL-SIEG.

COEPO Consejo Estatal de Población. 2013. Municipio de Tonaya. Región Sierra de Amula.

Covarrubias, J. 2011. Minera Metalúrgica Tapalpa, enemiga de nuestro río: el clamor de un pueblo. En Tonaya contra minera Tapalpa: el enemigo en casa. En la Jornada, publicada el 23 de julio de 2011. Consultada en línea el 09 de abril de 2013 en http://archivo.lajornadajalisco.com.mx/2011/07/23/index.php?section=politica&article=002n1pol

Dahl, E. 1956. Límites ecológicos de la salinidad en aguas poiquilohalinas. Oikos. 7(I): 1–21 en Rosell V., L. 2009. Evaluación de la calidad de las aguas de la Bahía de Bluefields (Raas, Nicaragua). Escola Superior D'enginyeria Tècnica Agrària de Barcelona.

DEQ Department of Environmental Quality. 2014. Nitratos en agua de uso doméstico. Hoja informativa. Environmental Solutions Division Drinking Water Protection Program. State of Oregon.

Durán J., J. M. y A. Hernández G. 2010. Cambios en los ríos y cuencas de México en el siglo XX: la cuenca Sabinos-Zula en Jalisco. Agricultura, Sociedad y Desarrollo, Enero-abril. Vol 7, num 1.

El Occidental. 2008. Contaminados 80% de los ríos en Jalisco. Organización Editorial Mexicana S. A. de C. V. en línea 22 de marzo de 2008. Consultado en línea el 11 de abril de 2013. http://www.oem.com.mx/eloccidental/notas/n636802.htm

EPA Environmental Protection Agency. 1986. Quality Criteria for water. United Stater Environmental Protection Agency. May 1. EPA 440/5-86-001.

EPA Environmental Protection Agency. 2012a. ¿Qué es el pH?. Consultado en línea el 07 de mayo de 2013 en www.epa.gov/acidrain/spanish/measure/ph.html

EPA Environmental Protection Agency. 2012b. Glosario. Consultado en línea el 07 de mayo de 2013 en http://www.epa.gov/espanol/glosario/terminos_s.html

EPA Environmental Protection Agency. 2013. National Recommended Water Quality Criteria. Acuatic life criteria table. Consultado en línea el 11 de junio de 2013 en http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/current/index.cfm#altable

EPA United States Environmental Protection Agency. 1996. Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. Method 6010B. CD-ROM.

EPA. 2013. Agencia Norteamericana de Protección del Medio Ambiente. Método colorimétrico de dicromato para DQO.

Goyenola G. 2007. Cartillas temáticas. Guía para la utilización de Valijas Viajeras. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos (Red MAPSA). Consultado en línea el 20 de abril de 2013 en http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/cartillas_redMAPSA.htm

Graniel, C. E y Carrillo, C. M. 2006. Calidad del agua del río Zanatenco en el estado de Chiapas. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 10-3, pp.35-42, ISSN: 1665-529X consultada en línea el 01 de enero de 2013 http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen10/calidad.pdf

Guerrero G., N.S. 2012. Contaminantes metálicos en sedimentos y suelos agrícolas generados por actividades mineras en la cuenca del Rio Rimac. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú. Consultado en línea el 12 de marzo de 2013 en http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/ecuador10/neli.pdf

Henne L. J., D. W. Schneider and L. M. Martínez R. 2002. Rapid Assessment of Organic Pollition in a West-central Mexican River Using a Family-level Biotic Index. Journal of Environmental Planning and Management 45 (5) 613-632. Carfax Publishing. Taylor and Francis Group.

Interempresas. 2010. Eliminación y determinación del fosfato. Revista digital Química. 16 de febrero de 2010. España. Consultado en línea el 30 de mayo de 2013 en http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/37743-Eliminacion-y-determinacion-de-fosfato.html

Jiménez C. B. E. 2001. La contaminación ambiental en México. Causas, efectos y tecnología apropiada. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A. C., FEMISCA, Instituto de Ingeniería UNAM, LIMUSA Noriega Editores. Consultado en línea el 3 de mayo de 2013 en http://books.google.com.mx/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA163&lpg=PA163&dq=COMPOSICI%C3%93N+T%C3%8DPICA+DE+AGUAS+RESIDUALES+URBANAS+mexico&source=bl&ots=lSBGZHGBAD&sig=1Qmr9PMGmJeI10LXoc6iyXDsbNE&hl=es&sa=X&ei=s_mDUenuD-GviQKt9oDwAQ&ved=0CEQQ6AEwAw#v=onepage&q=COMPOSICI%C3%93N%20T%C3%8DPICA%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20URBANAS%20mexico&f=false

JIRA Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila. 2011. Gobernanza para la gestión integral del territorio. Foro sobre Cooperación Intermunicipal para el Desarrollo Sustentable. Experiencias y Retos.

Letra Fría. 2012. Por contaminación, prohíben nadar en el Río Ayuquila y Tuxcacuesco. Las noticias de la región del 11 de Abril de 2013, consultado en línea el 11 de abril de 2013 en http://letrafria.com/index.php?option=com_content&view=article&id=243%3Apor-contaminacion-prohiben-nadar-en-el-rio-ayuquila-y-tuxcacuesco&Itemid=21

Londono C., A. 2013a. Fundamentos sobre química ambiental. Cap. 1. El Agua. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Consultado en línea el 15 de agosto de 2013. http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090020/html/contenido.html

Londono C.l, A. 2013b. Fundamentos sobre química ambiental. Cap. 3 Conceptos básicos de análisis cuantitativo. El Agua. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Consultado en línea el 15 de agosto de 2013. http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090020/html/contenido.html

Martínez R., L. M., A. Carranza M. and M. García. 2000. Aquatic ecosystem pollution of the Ayuquila River, Sierra de Manantlan Biosphere Reserve, Mexico. Pages 165-181 In M. Munawar, S.G. Lawrence, I.F. Munawar, and D.F. Malley, eds. Aquatic Ecosystems of Mexico: status and scope. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.

Martínez R., L. M., J. L. Olguín L., D. Meza R., A. Aguirre G., B. Castillo y S. García. 2007a. Diagnóstico de la condiciones de abastecimiento de agua y saneamiento en los municipios de la Iniciativa Intermunicipal para la Gestión Integral de la cuenca del río Ayuquila.

Martínez R., L. M., P. Gerritsen, J. J. Rosales A., A. Moreno H., S. Contreras M., A. Solís M., L. E. Rivera C., O. G. Cárdenas H., L. I. Iñiguez D. R. Cuevas G., C. Palomera G., E. García R., A. Aguirre G. y J. L. Olguín L. 2007b. Implicaciones socioambientales de la expansión del cultivo de agave azul (1995-2002) en el municipio de Tonaya, Jalisco, México. En Colunga-García M. P., A. Larqué S., L. E. Eguiarte y D. Zizumbo-Villarreal. 2007. En lo ancestral hay un futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves. México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, CONACYT, CONABIO, SEMARTAT e Instituto Nacional de Ecología.

Martínez R., L.M. y D. Meza. 2011. Diagnóstico Preliminar del Siniestro Ambiental Río Tuxcacuesco. Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Costa Sur. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Junio.

Meza R, D. 2006. Caracterización hidrográfica de la cuenca Ayuquila-Armería mediante la aplicación de un sistema de información geográfico. Tesis para obtener el grado de I. R. N. A. CUCSUR. Universidad de Guadalajara.

Meza R., D. 2010. Planeación del territorio de la cuenca del río Tuxcacuesco en base al análisis multicriterio. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Costa Sur. División de Desarrollo Regional. Departamento de Recursos Naturales. Tesis para Maestro en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales. Autlán de Navarro, Jalisco.

Milenio. 2012. Río Ayuquila, en contingencia por contaminación. Impreso ciudad y región. Noticia del 05 de abril de 2012. Consultado en línea en http://www.milenio.com/cdb/doc/impreso/9141612

Navarra. 2013. El agua en Navarra. Parámetros físico químicos. Oxígeno disuelto. Departamento de Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Administración Local. Gobierno de Navarra. España. Consultado en línea el 05 de enero de 2013. http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Parametros/OxigenoDisuelto.htm

NMX-AA-007-SCFI-2000. Análisis de agua - Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. DGN.

NMX-AA-008-SCFI-2000. Análisis de agua - Determinación del pH - Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. DGN.

NMX-AA-012-SCFI-2001. Análisis de agua - Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Secretaría de Economía. DGN.

NMX-AA-026-SCFI-2001. Análisis de agua - Determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Secretaría de Economía. DGN.

NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de agua - Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO5) y residuales tratadas - Método de prueba. Secretaría de Economía DGN

NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de aguas - Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Secretaría de Economía. DGN.

NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de agua - Determinación de la Demanda Química de oxígeno en aguas naturales, residuales Y residuales tratadas - Método de prueba. Secretaría de Economía. DGN.

NMX-AA-038-SCFI-2001. Análisis de agua - Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Secretaría de Economía.

NMX-AA-058-SCFI-2001. Análisis de aguas - Determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Secretaría de Economía.

NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de aguas - Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Secretaría de Economía.

NMX-AA-093-SCFI-2000. Análisis de agua - Determinación de la conductividad electrolítica - Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. DGN.

NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Consultada el 14 de septiembre de 2011 en: http://www.pnuma.org/deramb/compendio_legislacion/LegislacionNacionalMexicana/Normas/Areas/NormasSEMARNAT/LIMITES%20MAXIMOS%20PERMISIBLES%20DE%20CONTAMINANTES%20EN%20LAS%20DESCARGA.pdf

NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Consultada en línea el 01 de enero de 2013 http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html

NOM-CCA/032-ECOL/1993. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola. Secretaría de Desarrollo Social. Estados Unidos Mexicanos.

Ortiz A., C., P. R. W. Gerritsen y J. C. Bolay. 2005. Análisis integral del impacto de la urbanización sobre el manejo de los recursos naturales. Estudio de caso: la cuenca baja del río Ayuquila, en el occidente de México. DERN-IMECBIO CUCSUR Universidad de Guadalajara, México y Laboratoire de Sociologie Urbaine, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Suiza.

OMS Organización Mundial de la Salud. 2006. Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Volumen 1 Recomendaciones. Tercera edición.

Osmond, D.L., D.E. Line, J.A. Gale, R.W. Gannon, C.B. Knott, K.A. Bartenhagen, M.H. Turner, S.W. Coffey, J. Spooner, J. Wells, J.C. Walker, L.L. Hargrove, M.A. Foster, P.D. Robillard, and D.W. Lehning. 1995. WATERSHEDSS: Water, Soil and Hydro-Environmental Decision Support System. Water Shedss Phosphorus. NCSU Water Quality Group. NC State University. Consultado en linea el 11 de junio de 2013 en http://www.water.ncsu.edu/watershedss/info/phos.html

Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegaard, B.D. Richter, R.E. Sparks y J.C. Stromberg (1997). The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration. BioScience, vol. 47, nº11: 769-784.

Poole G. C. and C. H. Berman. 2001. An Ecological Perspective on In-Stream Temperature: Natural Heat Dynamics and Mechanisms of Human-Caused Thermal Degradation. Environmental Management Vol. 27, No. 6, pp. 787-802. Springer-Verlag New York Inc.

PROY-NMX-AA-074-SCFI-2010. Análisis de agua – Medición del ion sulfato, en aguas naturales, potables y residuales – Método de prueba. Proyecto de Norma Mexicana.

PTAR. 2007. Proyecto Ejecutivo para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Cabecera Municipal de Tonaya, Jalisco. Contrato No. CEA-SC-ZU-LP-049/2007. Ayuntamiento de Tonaya, Estado de Jalisco, AyMA Ingeniería y Consultoría, S. A. de C. V. y Comisión Estatal del Agua Jalisco.

Romero R., J. A. 2005. Calidad del Agua. 2da Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sánchez O., M. Herzig, E. Peters, R. Márquez y L. Zambrano. 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. United States Fish & Wildfile Service. Unidos para la Conservación A. C. Escuela de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Santana. C. E, S. Navarro, L. M. Martínez, A. Aguirre, P. Figueroa y C. C. Aguilar. 1993. Contaminación, Aprovechamiento y Conservación de los recursos acuáticos del río Ayuquila, Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. Tiempos de ciencia (30) enero-junio: pp. 29-38. Universidad de Guadalajara.

Scheiner, B., Doyle F, Kamatra S. 1989. Biotechnology in Minerals and Metal processing. Society o9f Minion Engineers. Inc., Littleton. 209.

SEDESOL Secretaría de Desarrollo Social. 2012. Catálogo de Localidades. Municipio de Tuxcacuesco. Unidad de microrregiones. Dirección General Adjunta de Planeación Microrregional. Estados Unidos Mexicanos.

SEMADES. 2011. Minutas proporcionadas por la Secretaría Estatal del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable.

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2008. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua en México. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. CCE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación 1989. Consultado en línea el 17 de junio de 2013 en http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/Compendio_2012/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/approot/dgeia_mce/html/RECUADROS_INT_GLOS/D3_AGUA/D3_AGUA04/D3_R_AGUA04_01.htm

Steel., R. y J. Torrie. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. Mc Graw Hill. Seg. Ed.

Tuxcacuesco. 1995. Plan de Desarrollo Urbano. H. Ayuntamiento de Tuxcacuesco, Jalisco.

Tuxcacuesco. 2007-2009. Plan de Desarrollo Municipal. H. Ayuntamiento de Tuxcacuesco, Jalisco.

UAC Universidad Autónoma de Chihuahua. 2012. Caracterización de aguas residuales por DBO y DQO. Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales. Facultad de Ciencias Químicas. Consultado en línea el 01 de octubre de 2012 http://www.oocities.org/edrochac/residuales/dboydqo2.pdf

UAC Universidad Autónoma de Chihuahua. 2012b. Fierro y manganeso como contaminantes del agua potable. Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas. Facultad de Ciencias Químicas. Consultada en línea el 02 de enero de 2013 http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/fierromanganeso10.pdf

Vernier Software & Technology. 2013. Oxígeno disuelto. Ciencias con lo mejor de Vernier. Experimento 41. Consultado en línea el 05 de enero de 2013. http://www2.vernier.com/sample_labs/CMV-41-oxigeno_disuelto.pdf

WHO World Healt Organization. 2011. Nitrate and nitrite in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Tonaya es productor de licor de agave desde 1845, se inició con el agave verde (*Agave angustifolia* Haw.) pero con el incremento en la demanda de esta bebida, desde 1997 aumentó su producción, añadiendo a sus procesos y cultivos en la región el agave azul (*Agave tequilana Weber* var. Azul). Estos cambios fueron demandando el aumento de zonas destinadas al cultivo de agave azul, que tiene la característica de requerir de más insumos para su cultivo. En temporada de lluvias los fertilizantes o pesticidas que no se incorporaron totalmente al cultivo son arrastrados como sedimento a los cuerpos de agua, generando un problema de contaminación de ríos. A esta contaminación se le denomina no puntual, porque no se puede ubicar un punto de descarga específico, sino que el sedimento es depositado de manera irregular en los ríos. Por otro lado, el aumento de la producción llevó a una industrialización del proceso y, en consecuencia, aumentaron los residuos generados por la destilación de agave, desechos sólidos o bagazo y líquidos denominadas vinazas. En este estudio, las vinazas son la parte central de la investigación. Cuando las fábricas introdujeron nueva tecnología en su proceso de producción, no se llevó un adecuado manejo de las vinazas, sino que éstas fueron vertidas al drenaje urbano y posteriormente al río Tonaya sin previo tratamiento hasta iniciada esta investigación. Las vinazas tienen características particulares como alta carga orgánica, temperatura y conductividad eléctrica elevadas y un pH muy ácido. Estas características en el agua representaron una fuerte contaminación en el sitio donde eran descargadas y en el río Tuxcacuesco aguas abajo.

Esta creciente cantidad de descargas de vinazas en el río Tonaya contribuyeron al deterioro de la calidad del agua del río Tuxcacuesco, ocasionando mortandades de peces. Esto generó una problemática para el uso del agua por los agricultores y ganaderos y una perturbación en la recreación de los visitantes del río Tuxcacuesco, que en Semana Santa es una considerable cantidad de personas (13 mil promedio) (Pérez, 2007). Esto se tradujo en la concientización de las autoridades correspondientes para solucionar estos conflictos.

Las acciones que se llevaron a cabo por parte de las autoridades fueron, la creación de una planta tratadora de aguas residuales (PTAR) en Tonaya y, por otra parte, las empresas se harían cargo de sus vinazas, irrigándolas en parcelas propias previo enfriamiento y neutralización. Así se presentó la oportunidad de evaluar algunas variables de los suelos donde fueron depositadas las vinazas y monitorear las condiciones de la calidad del agua de los ríos Tonaya y Tuxcacuesco para determinar el efecto de estas acciones.

Esta investigación no pretendió inducir a que se disminuyera la destilación de agave, puesto que se reconoce la tradición que esta producción conlleva, y los beneficios económicos que representan para la localidad y la región. Así entonces, el propósito fue evaluar algunas variables fisicoquímicas del suelo y agua y dar propuestas para un mejor manejo y disposición de las vinazas.

Al iniciarse la presente investigación, los dueños de las destiladoras tenían aproximadamente 5 meses descargando vinazas en las parcelas destinadas a ello. Se muestrearon algunas variables en el suelo durante dos temporadas de secas y una de lluvias. En este periodo muestreado se pudo notar un incremento en los macronutrientes nitrato y fosfato del suelo, lo que es favorable para los cultivos en general. Sin embargo, se sugiere que se realice una rotación de las parcelas irrigadas para no sobresaturar con las vinazas el suelo y que se incorpore a la tierra ocasionalmente para que puedan ser mejor aprovechados la materia orgánica y los nutrientes que contienen las vinazas. Sería conveniente también, llevar un seguimiento de análisis del pH; ya que al inicio del muestreo, éste presentó una tendencia a la disminución. Así mismo, a largo plazo es aconsejable medir la presencia de metales pesados.

En lo referente a la calidad del agua, se comenzaron a monitorear mensualmente los ríos Tonaya y Tuxcacuesco cuando se suponía ya tenían 3 meses sin recibir vinazas, porque según el acuerdo, septiembre de 2011 era el último mes en que descargarían vinazas al drenaje. Este supuesto de cero descargas, no se llevó a cabo en su totalidad, porque algunas empresas continuaron vertiendo vinazas al drenaje urbano; y no se identificó a la empresa responsable. En abril de 2012 se construyó la PTAR Tonaya y en junio de 2012 se agregó al muestreo mensual. Así se tuvo la oportunidad de muestrear durante seis meses el efecto sobre la calidad del agua del río sin la incorporación del total de las vinazas producidas en Tonaya y un año con la presencia de la PTAR Tonaya.

Respecto a la calidad del agua del río Tuxcacuesco, se puede concluir que durante el periodo de muestreo, se observó una mejoría inmediata a partir de la construcción de la PTAR. Lo que se puede atribuir a dos cosas, la primera, que se comenzaron a tratar las aguas residuales urbanas de Tonaya y la segunda, y más importante, que con la presencia de la PTAR se pudo monitorear la descarga de vinazas al drenaje. De esta manera se pudo verificar el cumplimiento del acuerdo de cero descargas al drenaje. La PTAR cumplió con otra función además de tratar las aguas residuales urbanas, sirvió de monitoreo para cuidar que no se descargaran vinazas. El problema que se encontró es que en los últimos meses del muestreo de esta investigación, la PTAR estaba en decaimiento, porque en ocasiones se encontraba sin funcionar por una semana o por un mes completo. Esta situación puede resultar contraproducente porque se perdería el control de que no se viertan vinazas al drenaje urbano.

Con este estudio se puede concluir que definitivamente la decisión de no verter más las vinazas a cuerpos de agua fue una acción adecuada para resolver los problemas que se estaban presentando. Durante el periodo muestreado, estas acciones mejoraron visiblemente la calidad del agua del río Tuxcacuesco, lo que es benéfico para los usuarios del río. Pero se hace mucho hincapié en mantener funcionando la planta tratadora de aguas residuales, para evitar la incidencia de verter las vinazas al drenaje y volver al punto de inicio de la problemática.

La solución de la disposición de las vinazas para los fines que se especificaron no es la definitiva todavía, se requieren más estudios para evitar una contaminación a largo plazo. A continuación se proponen algunas recomendaciones para mejorar esta técnica y se agregan otras alternativas de tratamiento de vinazas que pueden ser acordes a las condiciones y cantidades que presentan los residuos de la producción de licor de agave.

5.2 Recomendaciones

Existe otro tipo de vinazas que son residuos de la industria azucarera de la producción de caña y que tienen una composición parecida a las vinazas tequileras. De tal manera, la industria azucarera ha presentado también un problema ambiental similar al caso de Tonaya y en otros lugares donde se produce tequila. Sin embargo, las vinazas de la caña han sido estudiadas con antelación a las vinazas tequileras y en estas últimas se han observado propuestas de tratamiento similares a las vinazas de

caña (Bautista y Durán, 1998; García y Rojas, 2006). Por lo que se pueden tomar como ejemplo para su tratamiento. Además se realizaron entrevistas a distintos productores de agave en la zona de Los Altos durante el Foro de Sustentabilidad Ambiental de la Industria Tequilera en 2013, que se adoptaron como ejemplos para las recomendaciones porque tienen características similares en cuanto a la cantidad de desechos generados. Estas recomendaciones son para el municipio de Tonaya, sin embargo, deberán ser estudiadas y adaptadas con más detalle según convenga a los interesados.

Descarga en parcelas. Se recomienda seguir con esta alternativa, pero bajo ciertas condiciones. Se debe continuar con el enfriamiento y la neutralización. Se recomienda ampliamente realizar un análisis previo a las parcelas donde se descargarán las vinazas. Si es un suelo muy permeable y está cerca de un cuerpo de agua, o sobre un manto freático, definitivamente esta alternativa no es viable en ese sitio. Dado que en los resultados el suelo mostró una tendencia a la acidificación, se debe adecuar la cantidad de cal utilizada en la neutralización según el requerimiento de los suelos. Así mismo, se recomienda alternar las parcelas para evitar una sobresaturación en el suelo y, dependiendo el cultivo, cuidar que no resulte contraproducente por el exceso de humedad. También se sugiere remover la tierra con cierta periodicidad para lograr una incorporación de los nutrientes y materia orgánica y sean así mejor aprovechados estos aportes. Además, se deberán llevar a cabo estudios a largo plazo de metales pesados y otros nutrientes para que se puedan destinar a cultivos que requieran de los nutrientes y tengan cierta tolerancia si se acumularan metales.

Digestión anaerobia. Es un proceso biológico que se basa en la transformación, a través de una serie de reacciones bioquímicas, de la materia contaminante en un gas cuyos componentes principales son metano y dióxido de carbono. Se deben estabilizar el pH y la temperatura. El reactor con mayor éxito es el UASB (Anaeróbico de Flujo Ascendente y Manto de Lodos), pues acepta elevadas cargas orgánicas. Una adecuada gestión permitiría obtener energía ya sea calórica o eléctrica, porque el biogás producido puede ser utilizado en las calderas (Chamy y Aroca, 2014). La empresa tequilera SAUZA comenzó con un proceso anaerobio en el año 2001, pero fue una mala experiencia por el costo de las membranas, además de que se deterioraban constantemente. Así que si se optara por esta alternativa, para ahorrar energía y aprovechar el biogás como combustible, debería estudiarse más a fondo de acuerdo a la experiencia mencionada de SAUZA.

Producción de composta. Se establecen pilas de bagazo que son regadas con vinazas para mantenerlas húmedas y ayudar a su descomposición y evitar un incendio. Las vinazas deben estar a temperatura ambiente para poder ser regadas, en este caso no es necesario neutralizarlas. Esta alternativa puede ser empleada como un método complementario debido a que, proporcionalmente, la cantidad generada de vinazas rebasa la cantidad de bagazo producido, así que la desventaja de esta alternativa es que habrá un excedente de vinazas. El manejo que requieren las pilas de bagazo con vinazas es una medición constante de la temperatura y una constante rotación para evitar un incendio por el calor que se produce. Se deberá analizar también el producto final, es decir la composta ya terminada y medir los nutrientes resultantes, así como los metales pesados presentes para evaluar a qué tipo de cultivo se pueden agregar. Como complemento, las vinazas excedentes se pueden descargar en parcelas, previas recomendaciones mencionadas. Se debe tomar en cuenta que se requiere de una cantidad de terreno para acomodar el bagazo así como la lejanía de la población por el riesgo de incendio y olores que puedan presentarse en el proceso de descomposición.

Evaporación Atmosférica. Este sistema de tratamiento es tomado de la empresa La Madrileña, donde primero se vierten las vinazas en tanques para que se decanten y se enfríen; después se trasladan a una laguna de vinazas donde se evaporan con aspersores (a través de microgotas) en un radio aproximado de 10 m. El tamaño de la laguna es de una hectárea, los factores que influyen en este proceso es el viento y la humedad, que se están midiendo constantemente de manera automatizada. Para la creación de la laguna es necesario poner una membrana en la parte de abajo para que funcione como impermeabilizante. El equipo es hidráulico, por lo tanto, no ocupa electricidad. Es recomendable para la cantidad total de vinazas producidas en Tonaya. Además es de bajo costo, comparado con otros tipos de tratamiento de aguas residuales. En esta alternativa, lo ideal sería que reunieran las vinazas de todas las destiladoras y así se haría una sola inversión. El terreno no tendría que estar ubicado cerca de la población, porque la dirección de las microgotas está sujeta a la velocidad y dirección del viento. Para evitar algún inconveniente, se recomienda que sea en una parcela donde no haya urbanización. Cabe aclarar que en La Madrileña, aledaño a la laguna se encontraban parcelas con cultivos de maíz y no se han observado contrariedades por la aspersión.

5.3 Literatura citada

Bautista Z., F. y M. del C. Durán de B. 1998. Análisis del beneficio y riesgo potenciales de la aplicación al suelo de vinazas crudas y tratadas biológicamente. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, año/vol. 14, núm. 001. Universidad Nacional Autónoma de México.

Chamy, R. y G. Aroca A. 2014. Tratamiento de vinaza por digestión anaerobia. Escuela de Ingeniería Bioquímica P. Universidad Católica de Valparaíso. CYTED Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Consultada en línea el 20 de agosto de 2014 en www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.nest.unifei.edu.br%2Fportugues%2Fpags%2Fnovidades%2Fseminario_internacional_2009%2Ffiles%2FBiogas_vinazas_CYTED.pdf&ei=srs0VLboKND_yQSxo4KgCg&usg=AFQjCNFZPjnq8IGdnFg0AyQKp6_RGccE7w&sig2=-CVf11umj4xg_DjlRaW0kA&bvm=bv.76943099,d.aWw

García O., A. y C. A. Rojas C. 2005. Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos. Revista Tecnicaña No. 17. Vol. 9. Pp. 3-13.

Pérez C., G. 2007. Los alcances de la educación ambiental en la gestión integral de los desechos sólidos municipales. Tesis de Maestría en Ciencias de la Educación Ambiental. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. México.

CONTAMINACIÓN Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL POR VINAZAS EN EL RIO TONAYA Y SU IMPACTO EN EL RÍO TUXCACUESCO

FRANCIA ELIZABETH RODRÍGUEZ CONTRERAS

RESUMEN

Palabras clave: vinazas, calidad de agua, río Tonaya, río Tuxcacuesco, río Ayuquila.

El río Ayuquila-Armería es el segundo más grande en Jalisco y ha estado siendo impactado por descargas de aguas residuales sin tratar provenientes de sus afluentes. El río Tonaya es un río intermitente, afluente del río Tuxcacuesco y este a su vez descarga en el río Ayuquila. El río Tuxcacuesco está represado y disminuye su caudal al iniciar la época de lluvias.

Esta investigación se enfocó en tres aspectos, el primero, realizar un análisis histórico de la destilación de agave y su impacto socioambiental; el segundo aspecto, consistió en una evaluación del impacto que tiene la descarga de vinazas sobre parcelas agrícolas; y el tercero, en la evaluación del impacto sobre la calidad de las vinazas en el río Tonaya y su efecto en el río Tuxcacuesco.

El municipio de Tonaya, por tradición es productor de licor de agave, sin embargo, esta producción, genera vinazas las cuales eran descargadas sin tratar, al drenaje urbano y posteriormente al río Tonaya. Esta situación se convirtió en un problema ambiental al descargarse en el río Tuxcacuesco ocasionando mortandad de peces en 2005 y 2011 y daños en cultivos agrícolas reportados por los campesinos. Para mitigar estos siniestros, las autoridades ambientales en conjunto con las empresas involucradas, acordaron no verter más vinazas al drenaje y construir una planta tratadora de aguas residuales urbanas. Cada empresa se hizo cargo de sus vinazas, descargándolas en parcelas privadas previo tratamiento.

En la evaluación del impacto en la parcela agrícola se encontró un incremento en macronutrientes (nitrato y fosfato) y materia orgánica, lo que es un efecto positivo para los suelos agrícolas. Sin embargo, si no son bien manejadas las vinazas en la parcela puede representar un riesgo ambiental por el arrastre de sedimentos o la infiltración a cuerpos de agua.

La no descarga de vinazas al río y la construcción de la planta tratadora de aguas residuales urbanas influyeron de manera diferente en las variables. En términos de nutrientes se incrementó la concentración de amonio y fosfato, estos incrementos pueden influir de manera negativa por el enriquecimiento de nutrientes en el agua. Sin embargo, la carga orgánica se redujo y el oxígeno presentó una mejoría, estos cambios son positivos en la calidad del agua.

POLLUTION AND ENVIRONMENTAL DEGRADATION BY VINASSES IN THE TONAYA RIVER AND ITS IMPACT ON THE TUXCACUESCO RIVER

FRANCIA ELIZABETH RODRÍGUEZ CONTRERAS

ABSTRACT

Keywords: vinasse, quality water, Tonaya river, Tuxcacuesco river and Ayuquila river.

The Ayuquila-Armeria river is the second largest in Jalisco and has been being impacted by discharges of untreated wastewater from its tributaries. The Tonaya river is an intermittent river, a tributary of Tuxcacuesco river and this in turn discharges into the Ayuquila river. The Tuxcacuesco river is dammed and decreases its volume when start the rainy season.

This research focused on three aspects, first, make a historical analysis of the distillation of agave and its social and environmental impact; the second aspect, consisted of an evaluation of the impact of the discharge of vinasses on agricultural parcels; and the third, evaluating the impact on the quality of vinasses in Tonaya river and its effect on Tuxcacuesco river.

The town of Tonaya traditionally is agave liquor producer, however, this production generates vinasses that were discharged untreated urban sewage and Tonaya river later. This situation became an environmental problem to be discharged into the Tuxcacuesco river causing fish kills in 2005 and 2011 and reported damage to agricultural crops by farmers. To mitigate these losses, environmental authorities in conjunction with the companies involved, agreed do not discharge vinasses into the drainage and build a treatment plant of urban waste water. Each company took over their vinasses pretreatment, and discharging into private plots.

In the assessment of impact on agricultural plots macronutrients (nitrate and phosphate) and organic matter increased, this is a positive effect on agricultural soils. However, if is not well managed in the plot, vinasses may represent an environmental risk by skidding of sediments or infiltration to water bodies.

Do not discharging vinasses to the river and the construction of the treatment plant of urban wastewater been influenced differently in the variables. In terms of nutrient concentration, ammonium and phosphate increased, these increases may reflect negatively by nutrient enrichment in the water. However, the organic load is reduced and oxygen showed an improvement, these changes are positive in water quality.

Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi gratitud a mi Poder Superior por ponerme a las personas indicadas en este trayecto profesional y permitirme concluir este trabajo.

Al apoyo económico brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, al Instituto Jalisciense de la Juventud, al Departamento de Ecología y Recursos Naturales y a mi asesor el Dr. Carlos Palomera García.

A mi director de tesis el Dr. Luis Manuel Martínez Rivera por haberme aceptado como tesista, por su paciencia y tiempo para guiarme en este proceso.

A mis asesores el Dr. Carlos Palomera García y el Dr. Walter Ramírez Meda, por su apoyo e instrucción en el trabajo de campo y laboratorio. Así como por sus asesorías en la redacción.

A los revisores el Dr. Norman Mercado y el Dr. Diego González Eguiarte por sus críticas constructivas que ayudaron a mejorar mi trabajo.

A Demetrio Meza Rodríguez y Ángel Aguirre G. por su apoyo y acompañamiento en el trabajo de campo.

A mis queridos maestros de la Maestría por su formación y enseñanzas brindadas.

A mis compañeros por esa solidaridad y amistad brindada.

En especial a toda mi familia por estar siempre ahí para mí y apoyarme en todas mis decisiones incondicionalmente. Gracias por su amor, comprensión y paciencia en esta etapa de mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN..... 1

1.5 Literatura citada.....9

CAPÍTULO 2. CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA DEL AGAVE EN TONAYA Y SU PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 12

2.1 Introducción.....12

2.2 Métodos.....15

2.3 Resultados.....15

2.4 Discusión.....27

2.5 Conclusión.....28

2.6 Literatura citada.....29

CAPÍTULO 3. EFECTO DE LA DESCARGA DE VINAZAS EN UNA PARCELA AGRÍCOLA CON CULTIVO DE AGAVE 33

3.1 Introducción.....33

3.2 Justificación.....34

3.3 Métodos.....36

3.4 Resultados.....51

3.5 Discusión.....57

3.6 Conclusión.....59

3.7 Literatura citada.....61

CAPÍTULO 4. CONTAMINANTES DEL RÍO TONAYA Y SU IMPACTO EN EL RÍO TUXCACUESCO 66

4.1 Introducción.....66

4.2 Justificación 67

4.3 Antecedentes.....70

4.4 Métodos.....75

4.5 Resultados 81

4.6 Discusión 103

4.7 Conclusión.....107

4.8 Literatura citada.....109

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 116

5.1 Conclusiones.....116

5.2 Recomendaciones.....118

5.3 Literatura citada.....121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 Localización del río Ayuquila-Armería. 6
Figura 1. 2 Mapa de la cuenca Tuxcacuesco. 7
Figura 1. 3 Flujos corriente abajo y flujos corriente arriba del río Tonaya. 7

Figura 2. 1 El agave y algunas de sus características. En la imagen del centro se muestra la Diosa del Mezcal “Mayahuel”. 12
Figura 2. 2 Escudo de armas del municipio de Tonaya 18
Figura 2. 3 Variaciones del precio del agave azul en la región Sierra de Amula. 21
Figura 2. 4 Superficie sembrada de maíz y agave azul por año en Tonaya, Jalisco. 22

Figura 3. 1 Municipio de Tonaya, Jalisco. 37
Figura 3. 2 Tanque de Geomembrana en el cultivo de agave. 38
Figura 3. 3 Ubicación de los sitios de muestreo. 39
Figura 3. 4 Ubicación de sitios de muestreo en distancia y altura en relación con tanque de distribución. 40
Figura 3. 5 Ejemplo de las muestras tomadas del sitio de estudio. 41
Figura 3. 6 Clases texturales del suelo según el USDA (United States Department of Agriculture) 1999. Clasificación utilizada para separar los diferentes tipos de suelo de la parcela analizada. 44
Figura 3. 7 Tanque de enfriado y neutralizado de las vinazas. 48
Figura 3. 8 Vertido de vinazas al tanque de geomembrana para ser irrigadas. 48
Figura 3. 9 Mangueras conectadas al tanque de geomembrana para irrigar la parcela con las vinazas. 49
Figura 3. 10 Vista panorámica del cultivo de agave irrigado con vinazas. 49
Figura 3. 11 Área del cultivo un año después de ser irrigado con vinazas. 52
Figura 3. 12 Suelo blancuzco y agave marchito, 2012. 52
Figura 3. 13 Conductividad eléctrica periodo 2012-2013. 53
Figura 3. 14 pH periodo 2012-2013. 54
Figura 3. 15 Nitratos (NO_3-) periodo 2012-2013. 55
Figura 3. 16 Fósforo (P) periodo 2012-2013. 56
Figura 3. 17 Fósforo asimilable (P_2O_5) periodo 2012-2013. 56
Figura 3. 18 Materia orgánica periodo 2012-2013. 57

Figura 4. 1 Cuenca del río Tuxcacuesco 76
Figura 4. 2 Municipios que conforman la cuenca del río Tuxcacuesco. 77
Figura 4. 3 Sitios de muestreo. 78
Figura 4. 4 Número de días por mes de la entrada de vinazas a la PTAR Tonaya 2012 y 2013. Fuente: Ayuntamiento de Tonaya, 2013. 81
Figura 4. 5 (a) Gasto, (b) % de Saturación de Oxígeno, (c) OD y (d) DQO de la PTAR Tonaya. 84
Figura 4. 6 (a) Conductividad eléctrica, (b) Salinidad, (c) Turbiedad y (d) Temperatura de la PTAR Tonaya. 86
Figura 4. 7 (a) NO_3 y (b) NH_4, de la PTAR Tonaya. 87
Figura 4. 8 (a) PO_4^{3-}, (b) Fe y (c) SO_4^{2-} de la PTAR Tonaya. 88
Figura 4. 9 (a) Gasto y (b) Temperatura del río Tonaya. 92
Figura 4. 10 (a) % de Saturación de Oxígeno, (b) OD y (c) la DQO del río Tonaya. 93
Figura 4. 11 (a) CE, (b) Salinidad y (c) Turb. del río Tonaya. 94
Figura 4. 12 (a) NO_3-, (b) NH_4 y (c) PO_4^{3-} del río Tonaya. 95
Figura 4. 13 (a) Fe y (b) SO_4^{2-} del río Tonaya. 96
Figura 4. 14 (a) Gasto y (b) Temperatura del río Tuxcacuesco. 98
Figura 4. 15 (a) % de Saturación de Oxígeno, (b) OD y (c) la DQO del río Tuxcacuesco. 99
Figura 4. 16 (a) CE, (b) Salinidad y (c) Turb. del río Tuxcacuesco. 100
Figura 4. 17 (a) NO_3-, (b) NH_4 y (c) PO_4^{3-} del río Tuxcacuesco. 101
Figura 4. 18 (a) Fe y (b) SO_4^{2-} del río Tuxcacuesco. 102

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. 1 Calificación de la Región Hidrológica Armería-Coahuayana con base en su importancia ecológica y su presión de uso. 2

Cuadro 2. 1 Hipótesis sobre la existencia de la destilación en México en tiempos precolombinos. 14
Cuadro 2. 2 Datos de las entrevistas a actores clave. 15
Cuadro 2. 3 Características de algunas fábricas de destilados de mezcal de Tonaya, Jalisco. 19
Cuadro 2. 4 Eventos que dieron pauta al mejoramiento de la Cuenca del río Tonaya.. ... 26

Cuadro 3.1 Distribución de los muestreos en un periodo anual. 41
Cuadro 3. 2 Métodos utilizados en los análisis de las muestras. 42
Cuadro 3. 3 Conductividad eléctrica. 43
Cuadro 3. 4 Clasificación del pH 43
Cuadro 3. 5 Clasificación de la materia orgánica en suelo 45
Cuadro 3. 6 Clasificación de fertilidad de suelos en función del nitrógeno inorgánico..... 46
Cuadro 3. 7 Clasificación del P disponible en el suelo. 46
Cuadro 3. 8 Interpretación de resultados de Fósforo Bry y Kurtz 1 46
Cuadro 3. 9 Composición de vinazas sin tratar según Chávez, 1997 y Madrigal, 2000. .. 50
Cuadro 3. 10 Características de las aguas residuales de cuatro destiladoras de Tonaya, Jalisco en 2007 50
Cuadro 3. 11 Composición de las vinazas sin tratar y neutralizadas con cal de una empresa destiladora de agave del municipio de Tonaya (2012). 51
Cuadro 3. 12 Estadísticos de contraste con la prueba t de Student (t) y Kruskal-Wallis (k) para las variables. 53

Cuadro 4. 1 Resumen de determinaciones de laboratorio a partir de una muestra compuesta de la descarga municipal de Tonaya. 71
Cuadro 4. 2 Determinaciones de laboratorio de dos Mezcaleras. 72
Cuadro 4. 3 Variables utilizadas para evaluar la calidad del agua, su clasificación y límites máximos permitidos. 74
Cuadro 4. 4 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos 75
Cuadro 4. 5 Características de las variables y los métodos utilizados en este estudio. ... 80

Cuadro 4. 6 Parámetros de calidad de agua de la PTAR Tonaya, % de eficiencia del tratamiento y comparativo con los límites máximos permisibles según la NOM-001-ECOL-1996.. 82
Cuadro 4. 7 Estadísticos de contraste con la prueba de Kruskal-Wallis del río Tonaya. .. 89
Cuadro 4. 8 Resultados de parámetros de los sitios (Cofra) La Cofradía y (Ton) Tonaya y su comparativo con la NOM-001-ECOL-1996.. 90
Cuadro 4. 9 Resultados de metales pesados (Cofra) La Cofradía, (Ton) Tonaya y comparativo con los límites máximos permisibles de la NOM-001-ECOL-1996.. 91
Cuadro 4. 10 Análisis de metales pesados, cianuros y DBO5 en los meses de enero, febrero y marzo 2012 en el río Tuxcacuesco. 97
Cuadro 4. 11 Estadísticos de contraste con la prueba t de Student (t) y Kruskal-Wallis (k) del río Tuxcacuesco. 97