



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

TESINA

**“ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA DESCARGA
DEL RASTRO MUNICIPAL DE VILLA VICTORIA, ESTADO
DE MÉXICO”**

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN INGENIERÍA SANITARIA Y
AMBIENTAL**

PRESENTA:

ING. MARÍA EUGENIA HOYO DE LEGARRETA

TUTOR:

M. I. RODRIGO TAKASHI SEPÚLVEDA HIROSE



2015

Agradecimientos

A Dios, por dejarme llegar hasta aquí y por haber puesto en mi camino a tantas personas que han estado siempre dispuestas a hacerme sonreír.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme dado la oportunidad de crecer como estudiante, como persona y como mexicana.

A mi tutor, Rodrigo Sepúlveda, por todas las enseñanzas, consejos y paciencia que siempre me tuviste.

A mi mamá, que ha estado conmigo día con día y que me ha enseñado lo que significan amor, paciencia, dedicación y entrega, siempre indispensables para seguir andando. ¡Gracias por hacerme feliz!

A mi papá que me resolvió las dudas escolares cuantas veces lo necesité, que no ha dejado de alentarme a llegar más alto y que me ha demostrado que ser feliz es lo más importante. ¡Gracias por confiar siempre en mí!

A Maqui por haber vivido a mi lado todo lo que cualquier hermana puede desear y por enseñarme a ser mejor persona. ¡Gracias por compartir tu vida conmigo!

A Rodrigo por acompañarme en todo este proceso, por ayudarme a obtener hasta la última muestra, y por haber llegado a mi vida en el momento perfecto para hacerla mejor.

A mi familia y amigos que han hecho de este mundo un lugar increíble.

Contenido

Introducción	1
Objetivos	3
1. Antecedentes	4
1.1 Legislación ambiental en México	4
1.2 Calidad del agua	6
1.3 Descarga de aguas residuales	11
1.4 Enfermedades relacionadas con el agua.....	11
2. Marco Teórico	13
2.1 Evaluación de la calidad del agua.....	13
2.2 Ventajas y limitaciones del uso del ICA.....	15
2.3 Obtención de parámetros	16
2.4 Muestreo según Normas Mexicanas.....	19
3. Descripción del sitio de estudio	21
3.1 Cuenca Villa Victoria – San José del Rincón	21
3.2 Presa Villa Victoria.....	22
3.3 Municipio Villa Victoria	24
3.4 Rastro Municipal	25
4. Metodología para la adquisición de muestras	26
4.1 Visitas de inspección	26
4.2 Elaboración del plan de muestreo	35
4.3 Muestreo.....	36
5. Resultados	38
5.1 Resultados en laboratorio	38
5.2 Cálculo del ICA.....	41
5.3 Análisis de resultados.....	42
Conclusiones y recomendaciones	45
Definición de términos	47
Índice de tablas	48
Índice de figuras	49
Referencias	51

Introducción

El agua es un elemento muy importante para que haya vida en nuestro planeta, ya que muchas de las especies requieren el consumo de este líquido para poder subsistir e incluso una gran variedad de organismos habitan en ella desarrollando grandes ecosistemas. En particular, el ser humano utiliza agua para muchas de sus actividades diarias. Al año se extraen alrededor de 4,430 km³ alrededor del mundo (incluyendo las pérdidas por evaporación), siendo la agricultura a la que más agua se le destina (70 %) y se cree que la demanda de agua para esta actividad seguirá aumentando debido al crecimiento de la población que demandará una mayor producción de alimentos (RAMOS FRANCO, 2013).

Si bien es cierto que existe una gran cantidad de agua en el planeta, estimada en 1 400 millones de km³, sólo el 2.5% es agua dulce y la mayor parte de ésta se encuentra en forma de hielo o en depósitos subterráneos de difícil acceso. Así, el agua disponible para las actividades humanas se reduce, en teoría y en el mejor de los casos, al 0.01% del total. Hay que añadir que esta mínima porción de agua frecuentemente se localiza en lugares inaccesibles o está contaminada, lo que dificulta su aprovechamiento.

En la actualidad, más de 780 millones de personas utilizan fuentes de abastecimiento no aptas para su consumo, lo que provoca un gran número de enfermedades e incluso la muerte, afectando principalmente a niños y ancianos (RAMOS FRANCO, 2013).

La calidad de las aguas superficiales y subterráneas se afecta negativamente debido a la descarga continua de aguas residuales domésticas e industriales sin un tratamiento previo que elimine los contaminantes que contienen.

Con base en estos hechos, el ser humano se ha visto en la necesidad de realizar estudios de calidad del agua que permitan conocer las características del agua y así, determinar sus posibles usos.

En este trabajo se presenta el análisis de calidad del agua de la descarga del rastro municipal de Villa Victoria al embalse con el mismo nombre, la cual, a pesar de tener una planta de tratamiento a su disposición, no está controlada.

En el capítulo 1 se hace mención de la historia de la legislación ambiental en México, de lo que significa “calidad del agua” y de las enfermedades relacionadas con la misma. En el capítulo 2 se explica la obtención del Índice de Calidad del Agua, los parámetros que toma en cuenta y la forma de evaluarlos. En el capítulo 3 se describe el sitio de estudio. En el capítulo 4 se menciona la metodología que se llevó a cabo para la adquisición de las muestras. En el capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos durante los análisis de

laboratorio y el cálculo del ICA. El último capítulo habla de las conclusiones y recomendaciones en relación al objetivo planteado al principio de la tesina.

Objetivos

Objetivo general

- Obtener la calidad del agua de la descarga del rastro municipal de Villa Victoria en el embalse del mismo nombre.

Objetivos específicos

- Analizar la importancia de un estudio de calidad del agua.
- Encontrar la metodología adecuada para la obtención de muestras representativas en la descarga del rastro municipal.
- Determinar los parámetros que permitan evaluar el Índice de Calidad del Agua en la descarga.
- Obtener el Índice de Calidad del Agua.

1. Antecedentes

La mayoría de los grandes desarrollos urbanos hoy tienen presente la relación que existe entre preservar en buen estado los ecosistemas naturales y su propio bienestar, sin embargo, el tema ambiental no fue objeto de atención gubernamental hasta muy recientemente, cuando los efectos de deterioro se hicieron evidentes y pusieron en riesgo el desarrollo futuro de muchos países.

En México, al igual que en muchos otros países, el interés y reclamo de la sociedad por atender y solucionar los problemas ambientales confrontó al gobierno con la preocupante realidad de la insuficiencia de conocimiento e información sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas naturales que permitiera evaluar objetivamente tanto los factores de presión, como la respuesta de éstos a las acciones implementadas para detener y revertir su deterioro.

Así, uno de los pasos necesarios para formular estrategias y políticas de gobierno que conjunten armónicamente el desarrollo económico y la conservación del ambiente es contar con información suficiente y confiable sobre la situación actual del medio ambiente, de los componentes que lo afectan y de los que intentan mejorar su condición.

1.1 Legislación ambiental en México

En todo el mundo y México no es la excepción, la legislación ambiental surge con el objetivo de frenar las aceleradas tendencias de deterioro del medio ambiente. Antes de los años 70 las sanciones en términos de contaminación atmosférica y generación de residuos eran casi nulas.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, documento jurídico más importante a nivel nacional, indica que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar y que el Estado garantizará el respeto a este derecho, también menciona que el daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.

La primera ley de carácter ambiental que se publicó en el país fue la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental (1971), la cual tenía un carácter antropocéntrico y solamente buscaba la regulación en el sector industrial. Posteriormente se publicó la Ley Federal de Protección al Ambiente (1982), cuyo corte era más bien

biocéntrico. Así, se llega finalmente a la publicación Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) 1988 por la ahora extinta Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), ésta fue la primera ley de carácter ambiental integradora y hoy la más importante en este tema.

En 1994, se crea la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), con la cual se integran los recursos naturales, la biodiversidad, la atención de los residuos peligrosos y de los problemas ambientales urbano-industriales. La ahora SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, antes SEMARNAP), publicó en 1995 el Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 1995-2000, cuyo objetivo era la promoción del desarrollo económico y social con criterios de sustentabilidad. La operatividad de dicho programa sugería políticas ambientales, lo cual le hizo un espacio en el Plan Nacional de Desarrollo. Posteriormente se incorporan los programas operativos de los órganos desconcentrados de la SEMARNAT: la Comisión Nacional del Agua (CNA), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). La principal innovación de la política ambiental tuvo que ver con la incorporación de programas de sustentabilidad en las diferentes secretarías de estado e instituciones del gobierno federal.

Según la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), la política ambiental y el manejo de recursos naturales se pueden agrupar en tres etapas principales:

1. Enfoque correctivo (década de los años setenta). Implica el combate a la contaminación y al deterioro de los recursos naturales.
2. Enfoque de gestión de recursos naturales y de sistemas naturales (década de los años 80).
3. Política preventiva. Mantiene y relaciona estrategias de los dos enfoques anteriores.

La LGEEPA se ha modificado de acuerdo a los cambios en la Ley de Administración Pública y tiene 4 reglamentos: de Impacto Ambiental, de Residuos Peligrosos, de Evaluación de Impacto Ambiental, y de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica. La PROFEPA es la encargada del cumplimiento de la LGEEPA, las procuradurías estatales se encargan de las leyes ecológicas estatales y en el caso del agua, la encargada es la CONAGUA.

Además de la LGEEPA, existen otras leyes federales y nacionales importantes en materia ambiental, tal es el caso de la Ley General de Salud (1984), la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (1991), la Ley de Aguas Nacionales (1992), la Ley Federal de Metrología y Normalización (1992), entre otras.

En 1994, la Secretaría de Salud publicó la NOM-127-SSA1-1994 que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, ya que el abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras. Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas hasta la entrega al consumidor, en 1999 se propuso una modificación a esta norma y actualmente sigue vigente. En 1996, queriendo proteger la calidad de las aguas y los bienes nacionales y posibilitar sus usos, se aprobó la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, se indican los métodos de prueba y la verificación, así como el grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales; dicha norma es de observancia obligatoria. Así mismo, si se desea reusar el agua en servicios públicos se deben seguir los lineamientos de la NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas tratadas que se reúsen en servicios al público.

1.2 Calidad del agua

La calidad del agua no es una característica absoluta, sino que es más un atributo definido socialmente en función del uso que se le piense dar al líquido (SEMARNAT, 2005); cada uso requiere un estándar de calidad.

La Comisión Nacional del Agua realiza la medición sistemática de la calidad del líquido a través de su Red Nacional de Monitoreo (RNM). En 2010 la RNM contaba con 1 627 sitios distribuidos en todo el país según la Tabla 1.1. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos son llevados a cabo en la Red Nacional de Laboratorios, constituida por 13 laboratorios ubicados en organismos de cuenca y 15 en direcciones locales.

Tabla 1.1. Sitios de la Red Nacional de Monitoreo, 2010.

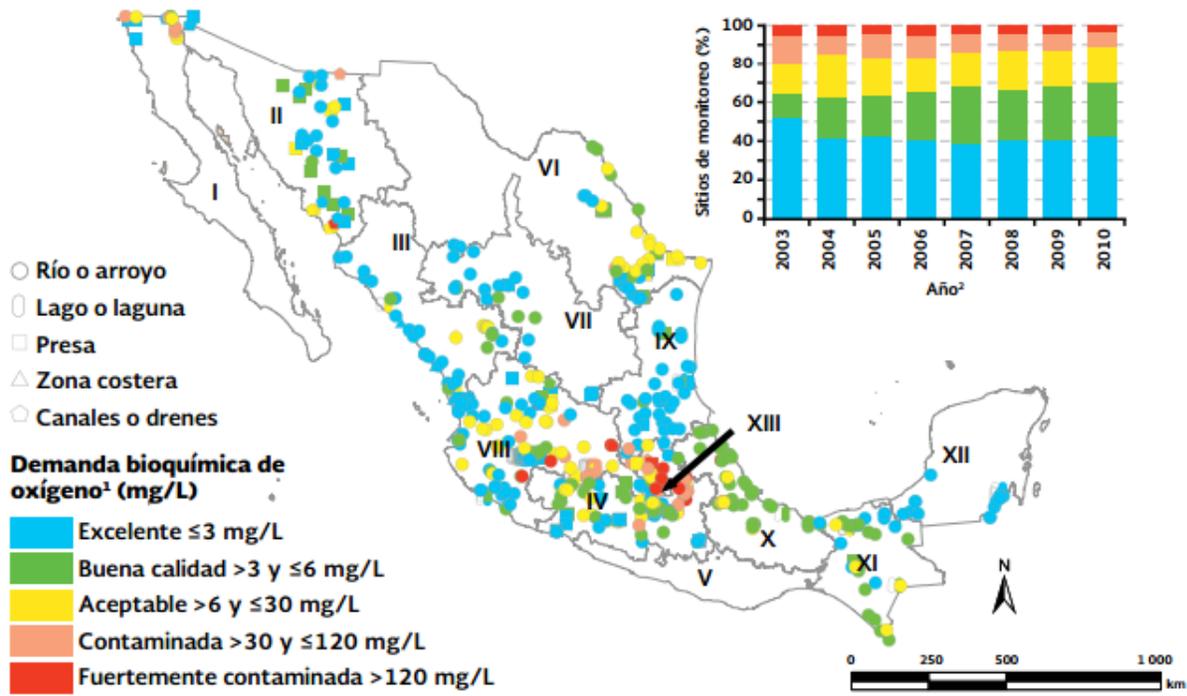
Red	Área	Número de sitios
Red Primaria	Cuerpos superficiales	226
	Zonas costeras	113
	Aguas subterráneas	156
Red Secundaria	Cuerpos superficiales	282
	Zonas costeras	23
	Aguas subterráneas	41
Estudios Especiales	Cuerpos superficiales	235
	Zonas costeras	50
	Aguas subterráneas	416
Red de Referencia de Agua Subterránea		85
TOTAL		1627

Fuente: CONAGUA. Subdirección General Técnica.

Para la evaluación de la calidad del agua se utilizan tres indicadores principales: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO₅), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST).

La DBO₅ mide la materia orgánica biodegradable. Su incremento provoca la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, lo cual crea condiciones de anoxia (falta casi total de oxígeno) y produce efectos negativos en las comunidades biológicas de los ecosistemas acuáticos. En 2010, cerca del 11.3% de los sitios monitoreados en los cuerpos de agua registró valores de DBO₅ mayores a 30 miligramos por litro, valor considerado como el límite máximo permisible para la vida acuática en ríos (figura 1.1).

Figura 1.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2010.



Región hidrológico-administrativa:

I Península de Baja California; II Noroeste; III Pacífico Norte; IV Balsas; V Pacífico Sur; VI Río Bravo; VII Cuencas Centrales del Norte; VIII Lerma-Santiago-Pacífico; IX Golfo Norte; X Golfo Centro; XI Frontera Sur; XII Península de Yucatán; XIII Aguas del Valle de México.

Notas:

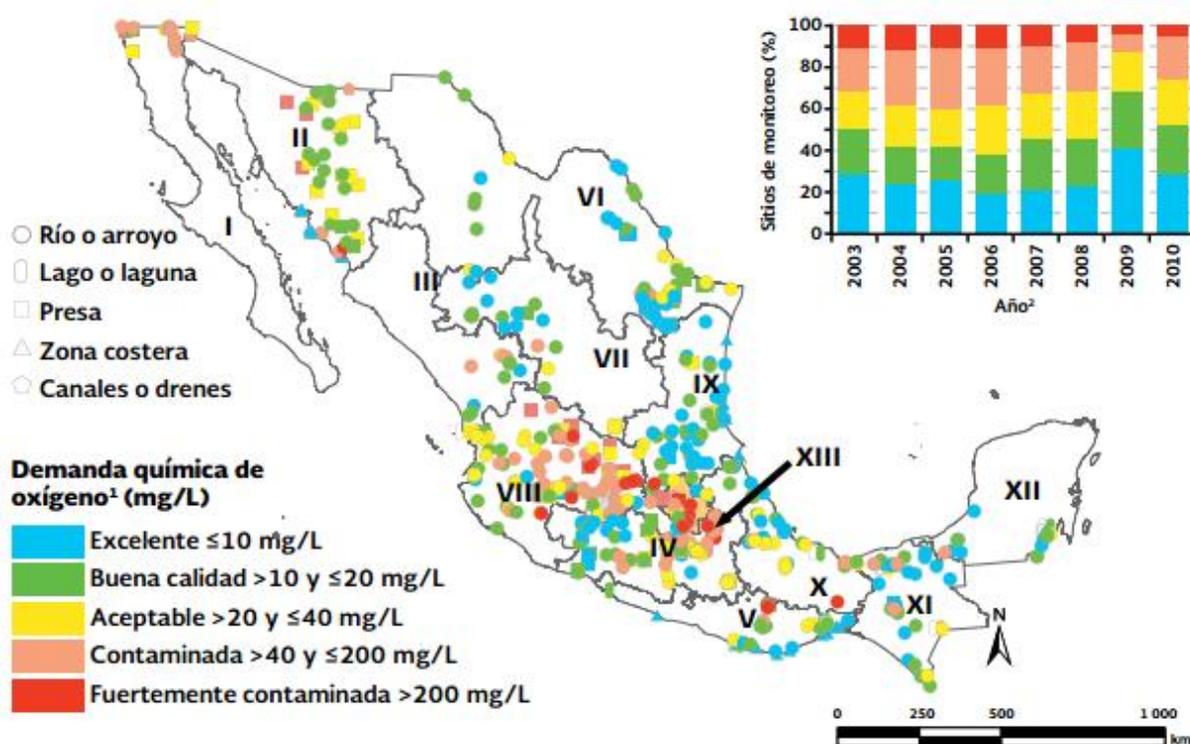
¹ Excelente (no contaminada) ≤ 3 mg/L; Buena (bajo contenido de materia orgánica) > 3 y ≤ 6 mg/L; Aceptable (con indicio de contaminación pero con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente) > 6 y ≤ 30 mg/L; Contaminada (con descargas de aguas residuales crudas principalmente de origen municipal) > 30 y ≤ 120 mg/L y Fuertemente contaminada (con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales) > 120 mg/L.

² La comparación entre años debe hacerse con cautela debido a que el número de sitios de monitoreo puede diferir de manera importante entre años.

Fuente: Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2012.

La DQO mide la cantidad de materia orgánica degradada por métodos químicos. Se utiliza frecuentemente como un indicador de la presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales. Los valores superiores a 40 miligramos por litro sugieren la presencia de descargas de aguas residuales crudas. En 2010, de los 714 sitios de monitoreo, el 26.5% superó este límite (figura 1.2).

Figura 1.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2010.



Región hidrológico-administrativa:

I Península de Baja California; II Noroeste; III Pacífico Norte; IV Balsas; V Pacífico Sur; VI Río Bravo; VII Cuencas Centrales del Norte; VIII Lerma-Santiago-Pacífico; IX Golfo Norte; X Golfo Centro; XI Frontera Sur; XII Península de Yucatán; XIII Aguas del Valle de México.

Notas:

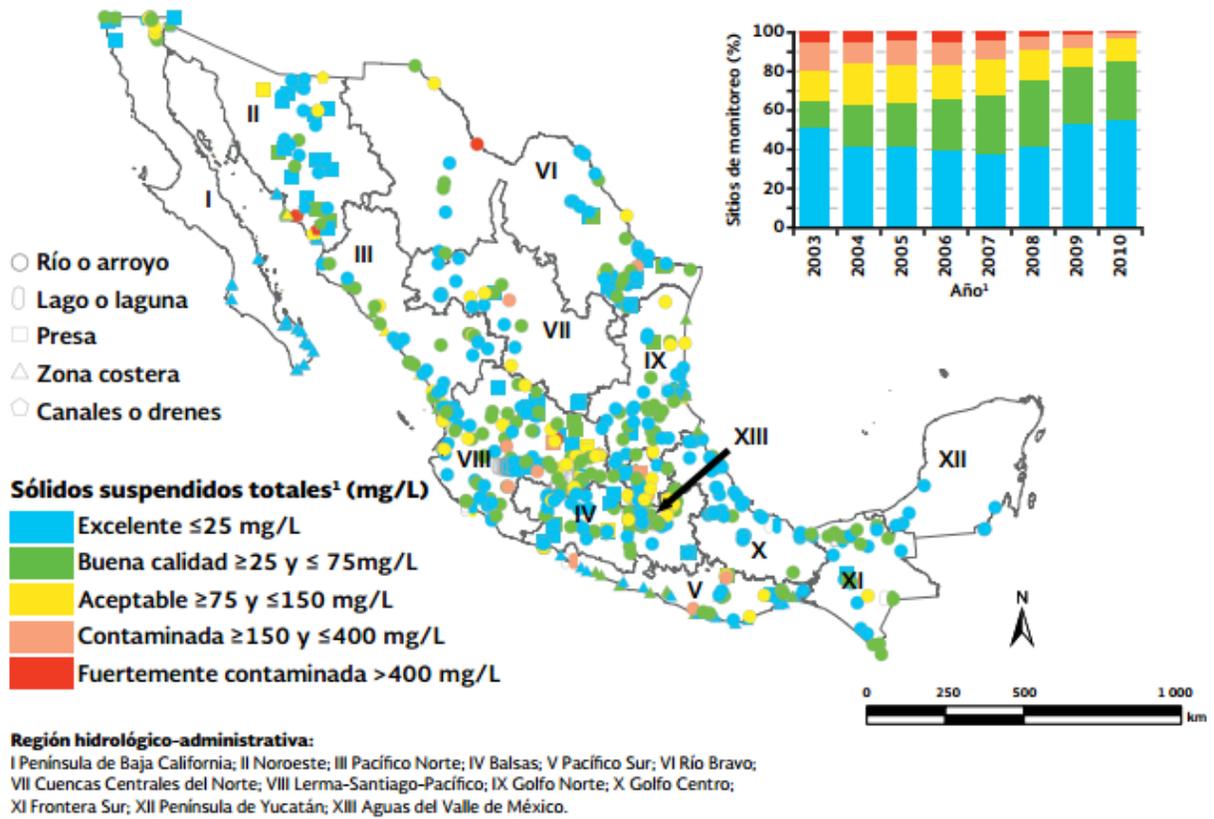
¹ Excelente (no contaminada) ≤10 mg/L; Buena (bajo contenido de materia orgánica) >10 y ≤20 mg/L; Aceptable (indicio de contaminación pero con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente) >20 y ≤40 mg/L; Contaminada (descargas de aguas residuales crudas principalmente de origen municipal) >40 y ≤200 mg/L y Fuertemente contaminada (fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales) >200 mg/L.

² La comparación entre años debe hacerse con cautela debido a que el número de sitios de monitoreo puede diferir de manera importante entre años.

Fuente: Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2012.

Los SST miden aquellos sólidos que no se disuelven en el agua y quedan suspendidos, provienen de las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de los niveles de SST en los cuerpos de agua afecta la diversidad de la vida acuática ya que causan turbiedad en el agua y reducen la penetración de la luz solar, impidiendo el desarrollo de la vegetación acuática natural. En 2010, el 2.5% de estaciones de monitoreo se consideraron contaminadas y el 0.6% fuertemente contaminadas (Figura 1.3).

Figura 1.3. Sólidos Suspendidos Totales (SST) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2010.



Nota:

¹ La comparación entre años debe hacerse con cautela debido a que el número de sitios de monitoreo puede diferir de manera importante entre años.

Fuente: Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2012.

Otros contaminantes frecuentes en los cuerpos de agua son los fosfatos y nitratos, provenientes de fertilizantes, detergentes y otras fuentes presentes en restos orgánicos.

Las mediciones constantes de dichos parámetros son muy importantes para monitorear los niveles de contaminación por aguas residuales tanto domésticas e industriales, así como desechos agrícolas y procesos erosivos en tierras de cultivo y zonas deforestadas.

1.3 Descarga de aguas residuales

A nivel mundial, en los países en desarrollo se da tratamiento a menos del 10% del agua residual, esto significa que la inmensa mayoría del líquido se vierte a ríos, lagos o mares sin ningún tratamiento previo, ocasionando la contaminación de éstos y, por consecuencia, la reducción de la cantidad disponible de agua para uso y consumo humano.

Las aguas residuales de origen urbano provienen de las viviendas, edificios públicos y de la escorrentía urbana que se colecta en el drenaje. Sus principales contaminantes son nutrimentos (nitrógeno y fósforo), organismos patógenos (bacterias y virus, entre otros), materia orgánica, detergentes, metales pesados, sustancias químicas orgánicas sintéticas, hormonas y productos farmacéuticos.

En México en 2011, el volumen de aguas residuales provenientes de los centros urbanos fue de aproximadamente 7.5 km³ (cerca de 236.3 m³/s), mientras que las descargas de aguas residuales no municipales en 2009 fueron alrededor de 6.01 km³ (equivalentes a 190.4 m³/s).

Según el Atlas del agua en México 2012, en 2010 se trataron 2.95 km³ de descargas municipales y no municipales, esto representa aproximadamente el 40% del total de las aguas residuales generadas en el país. Se generaron 13.05 millones de toneladas de DBO₅ (10.5 millones en fuentes no municipales y 3 millones en industria), de los cuales solamente se removieron 1.35 millones de toneladas, es decir, el 10% de la DBO₅ generada.

1.4 Enfermedades relacionadas con el agua

El agua, el saneamiento y la higiene tienen consecuencias importantes sobre la salud y la enfermedad, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), quien también afirma que las enfermedades relacionadas con el agua incluyen aquellas causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua potable ; enfermedades como la esquistosomiasis, que tiene parte de su ciclo de vida en el agua; la malaria, cuyos vectores están relacionados con el agua; el ahogamiento y otros daños, y enfermedades como la legionelosis transmitida por aerosoles que contienen microorganismos.

Alrededor de 1 100 millones de personas en el mundo carecen de acceso a fuentes de agua mejoradas y 2 500 millones no tienen acceso a instalaciones básicas de saneamiento. En países en desarrollo, es común que se presenten enfermedades y muertes relacionadas con el uso y consumo de aguas contaminadas, tal es el caso de la diarrea, causada por agentes

virales, bacterianos y parásitos, que es una causa principal de morbilidad, mortalidad y un factor importante de desnutrición en la niñez alrededor del mundo, según la OMS, cada año se presentan 2 000 millones de casos de diarrea. En México, genera el 20% de la demanda de consulta en los servicios de salud y el 10% de las hospitalizaciones pediátricas.

Las enfermedades relacionadas con el agua son causadas por microorganismos patógenos como bacterias, protozoarios, helmintos, algas, hongos y, aunque los virus no son considerados microorganismos, pueden habitar y reproducirse dentro de otros organismos, por lo que el agua resulta un medio de transmisión.

2. Marco Teórico

Para evaluar la calidad del agua es necesario considerar el uso probable que tendrá. A continuación se presentan algunos puntos importantes en la evaluación de la calidad del agua de un cuerpo superficial.

2.1 Evaluación de la calidad del agua

En el mundo existen diferentes índices cuya finalidad es evaluar la calidad del agua. En Estados Unidos existe el de la Fundación Nacional de Saneamiento (NFS), en Canadá el del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME) y en México existen dos principales: el Índice de Calidad del Agua (ICA) que considera técnicas aditivas para valorar la situación del agua y el Índice de Calidad del Agua Instituto Mexicano de Tecnología del Agua en colaboración con el Instituto de Ingeniería de la UNAM (ICA IMTA-II UNAM) el cual considera técnicas multiplicativas.

Índice de calidad del agua

En México se ha utilizado por algunos años el Índice de Calidad del Agua (ICA), el cual pondera 18 parámetros diferentes y determina el grado de contaminación del agua, expresándolo en porcentaje. El agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0% y de 100% para el agua en excelentes condiciones.

Cada parámetro está asociado a un modelo matemático, el cual convierte el dato en índices de calidad (I_i). Debido a que ciertos parámetros son más importantes que otros en su influencia en la calidad del agua, se han establecido factores de ponderación (W_i) que se muestran en la Tabla 2.1. Finalmente, los índices por parámetro son promediados (Ecuación 1) para obtener el ICA de la muestra de agua.

Ecuación 1

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Tabla 2.1. Importancias relativas y fórmulas para el cálculo de cada parámetro que interviene en el cálculo del ICA.

Parámetros	W _i	Fórmulas para cada parámetro (I _i)	Unidades
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	5	$I_{DBO} = 120 * DBO^{-0.673}$	mg/L
Oxígeno disuelto (OD)	5	$I_{OD} = 100 * \frac{OD}{OD_{sat}}$	mg/L
Coliformes fecales (CF)	4	$I_{CF} = 97.5 * (5 * CF)^{-0.27}$	NMP/ml
Coliformes totales (CT)	3	$I_{CT} = 97.5 * CT^{-0.27}$	NMP/ml
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	3	$I_{SAAM} = 100 - 16.678 * SAAM + 0.1587 * SAAM^2$	mg/L
Conductividad eléctrica (CE)	2	$I_{CE} = 540 * CE^{-0.379}$	μohms/cm
Fosfatos totales (PO ₄ ⁻³)	2	$I_{PO_4} = 34.215 * PO_4^{-0.46}$	mg/L
Grasas y aceites	2	$I_{GyA} = 87.25 * GyA^{-0.298}$	mg/L
Nitrógeno amoniacal (NH ₃)	2	$I_{NH_3} = 45.8 * NH_3^{-0.343}$	mg/L
Nitrógeno en nitratos (NO ₃ ⁻¹)	2	$I_{NO_3} = 162.2 * NO_3^{-0.343}$	mg/L
Alcalinidad (A)	1	$I_A = 105 * A^{-0.186}$	mg/L
Color	1	$I_C = 123 * C^{-0.295}$	Platino – cobalto
Dureza total	1	$I_{DT} = 10^{1.974 - 0.00174 * DT}$	mg/L
Potencial hidrógeno (pH)	1	$\begin{aligned} \text{Si } pH < 6.7 &\rightarrow I_{pH} = 10^{0.2335 pH + 0.440} \\ \text{Si } 6.7 < pH < 7.3 &\rightarrow I_{pH} = 100 \\ \text{Si } pH > 7.3 &\rightarrow I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293 pH} \end{aligned}$	Unidades de pH
Sólidos suspendidos (SS)	1	$I_{SS} = 266.5 * SS^{-0.37}$	mg/L
Cloruros (Cl ⁻¹)	0.5	$I_{Cl} = 121 * Cl^{-0.223}$	mg/L
Sólidos disueltos (SD)	0.5	$I_{SD} = 109.1 - 0.0175 * SD$	mg/L
Turbiedad (T)	0.5	$I_T = 108 * \left(\frac{T}{19}\right)^{-0.178}$	UTN

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, 1999.

En la figura 2.1 se muestra la escala de clasificación de la calidad del agua según su ICA, así según el valor obtenido se puede conocer el uso adecuado que el agua analizada podría tener.

Figura 2.1. Escala de clasificación de la calidad del agua, según su ICA.

ICA		USOS DEL AGUA					
Valor (%)	Criterio general	Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y vida acuática	Industrial y agrícola	Navegación	
100	No contaminado	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación	A c e p t a b l e	
90		Requiere purificación ligera			Requiere purificación ligera para algunos procesos		
80	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable más no recomendable	Aceptable, excepto para especies muy sensibles Dudoso para especies sensibles	No requiere tratamiento para uso en la industria		
70							
60	Poco contaminado	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable más no recomendable	Aceptable, excepto para especies muy sensibles Dudoso para especies sensibles	No requiere tratamiento para uso en la industria		
50							
40	Contaminado	Dudoso	Dudoso	Sólo organismos muy resistentes	Requiere tratamiento para uso en la mayor parte de la industria		
30		Inaceptable	Evitar contacto con el agua				
20	Altamente contaminado		Inaceptable	Señal de contaminación	Inaceptable		Uso muy restringido
10		Inaceptable		Inaceptable			Inaceptable
0							

Nota: Los intervalos de las categorías del ICA son: 0-29 %, Altamente contaminado; 30%-49%, Contaminado; 50%-69%, Poco contaminado; 70%-84%, Aceptable; 85%-100%, No contaminado. La escala actual incluye diferencias tanto en algunos intervalos como en las denominaciones de algunas categorías respecto de las que se publicaron en la edición anterior de esta obra, lo cual obedece a que se busca tanto describir técnicamente de mejor manera lo que en la naturaleza ocurre, como lograr una mejor interpretación de la calidad del agua en el ámbito nacional.

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, 2002.

2.2 Ventajas y limitaciones del uso del ICA

Dado que el Índice de Calidad del Agua se ha utilizado como una de las herramientas más importantes para el análisis de un cuerpo de agua, a continuación se presentan algunas de las ventajas y limitaciones que se deben tomar en cuenta al trabajar con esta herramienta.

➤ Ventajas:

- Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio.
- Útil en la evaluación de la calidad del agua para uso general.
- Permite a los usuarios una fácil interpretación de los datos.
- Mejora la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones ambientales, en especial la referida a la calidad del agua.

- Ayuda en la definición de prioridades con fines de gestión ambiental.
- Limitaciones:
 - Proporciona un resumen de los datos.
 - No proporciona información completa sobre la calidad del agua.
 - No muestra la variación espacial y temporal de la calidad del agua.
 - No evalúa todos los riesgos presentes en el agua, tales como los metales pesados.
 - Puede ser subjetivo en su formulación.
 - Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta la credibilidad del ICA como una herramienta para la gestión ambiental.

2.3 Obtención de parámetros

Los métodos para la obtención de los parámetros se encuentran en las normas mexicanas en materia de agua que establece la SEMARNAT.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es una medida de la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias, en un periodo de 5 días y a 20°C.

El ensayo de DBO es un proceso de oxidación húmeda en la cual los microorganismos son el medio para oxidar la materia orgánica en dióxido de carbono y agua. En la realización de la prueba debe considerarse que la solubilidad del oxígeno en el agua es muy limitada, por lo que para valores altos de DBO deben hacerse diluciones. El agua de dilución se prepara conteniendo los nutrientes necesarios para la actividad biológica, además se airea para saturarla de oxígeno, antes de mezclarla con el agua residual.

La DBO_5 se obtiene como el cociente de la diferencia de oxígeno disuelto en el agua de muestra en el primer día ($OD_{inicial}$) menos el oxígeno disuelto al quinto día (OD_{final}), sobre el porcentaje de dilución (en forma decimal) al cual se realiza la prueba.

Procedimiento:

1. Para la preparación del agua de dilución se requiere airearla hasta la saturación y agregar 1ml de cada uno de los siguientes compuestos por cada litro de agua de dilución:
 - Solución amortiguadora
 - Sulfato de Magnesio
 - Cloruro de Calcio
 - Cloruro FérricoMezclar perfectamente.
2. Hacer las diferentes diluciones con agua de muestra y agua de dilución
3. Llenar 2 frascos Winkler de 300ml con cada una de las diferentes diluciones, rotular (con fecha y %de dilución)
4. Guardar un frasco de cada dilución en la incubadora a 20°C, para su análisis posterior. Con el frasco Winkler restante se determinará el oxígeno disuelto inicial.
5. Agregar a cada frasco Winkler:
 - 2ml de Sulfato Manganoso
 - 2ml de Álcali – Yoduro – Nitruro
6. Tapar el frasco, verter el excedente y mezclar invirtiéndolo 15 veces. Se formará un precipitado.
7. Esperar a que sedimente el precipitado hasta el hombro de la botella, y vuelva a mezclar nuevamente.
8. Añadir 2ml de Ácido Sulfúrico 0.2N tapar y mezclar. El precipitado se disolverá y el oxígeno quedará fijado.
9. Con ayuda de una probeta medir 200 ml de la muestra y colocarlos en un matraz Erlenmeyer.
10. Agregar 2 gotas de Almidón que actuará como indicador.
11. Llenar una bureta con Tiosulfato de Sodio 0.025N hasta la marca de cero.
12. Colocar el matraz en el agitador (debajo de la bureta) y añadir una pastilla agitadora y encender el agitador.
13. Dosificar el Tiosulfato de Sodio hasta que la muestra regrese al color original, (frasco Winkler), cuantificar la cantidad necesaria de Tiosulfato para el cambio de color.

La cantidad en mililitros de Tiosulfato utilizado corresponde directamente a los miligramos por litro de oxígeno disuelto en dicha muestra. El valor obtenido con este procedimiento corresponde al valor de OD inicial.

14. Repetir este procedimiento a los 5 días de incubación de las muestras para obtener el valor de OD final.

El método mencionado se encuentra en la Norma Mexicana 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.

Otros parámetros químicos

Para obtener los compuestos de nitrógeno, fósforo o azufre contenidos en la muestra necesario un estuche de campo. El estuche contiene los reactivos e indicaciones de tiempo y cantidad para cada prueba. El procedimiento es el siguiente:

1. Colocar en dos frascos los mililitros indicados de muestra o dilución. Un frasco servirá como patrón de comparación y al otro se le agregarán los reactivos.
2. Agregar el reactivo.
3. Agitar o esperar la reacción según sea el caso.
4. Esperar el tiempo indicado.
5. Comparar con el frasco patrón en el espectrómetro.
6. El espectrómetro indica los miligramos por litro del compuesto a determinar que tiene la muestra. Si se hizo una dilución, será necesario dividir el resultado entre el porcentaje de dilución.

Sólidos

Todos los contaminantes en el agua, excepto los gases disueltos, contribuyen a la carga de sólidos. Se pueden clasificar por su estado y tamaño, y por sus características químicas.

Totales (STT)

Se define como sólidos totales a la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103°C, durante 1 hora.

Para su determinación, la muestra se evapora en una cápsula previamente puesta a peso constante sobre un baño María, y luego se seca a 103 – 105°C en un horno. El incremento de peso, sobre el peso inicial dividido entre el volumen de la muestra, representa el contenido de sólidos totales en mg/l.

Suspendidos (SST)

También llamados residuo no filtrable, es toda la materia particulada que es retenida por un filtro de microfibra de vidrio con diámetro nominal de poro de 1.2 micrómetros.

Son determinados por filtración, a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch previamente puesto a peso constante. El crisol con su contenido se seca a 103 – 105°C. El incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos suspendidos o no filtrables en miligramos por litro.

Disueltos (SDT)

También llamados residuo filtrable, son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos suspendidos y los sólidos totales.

Si la determinación es directa: se filtra la muestra a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch; el filtrado se evapora en una cápsula de peso conocido sobre un baño María y el residuo de la evaporación se seca a 103 – 105°C. El incremento de peso sobre el de la cápsula vacía dividido entre el volumen de muestra, representa los sólidos disueltos o filtrables en miligramos por litro.

2.4 Muestreo según Normas Mexicanas

NMX-AA-003-1980. Aguas residuales - Muestreo

Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas. Habla de los aparatos y equipos recomendados para el muestreo, de la identificación y registro de las muestras y de las características que deben tener las mismas para que el muestreo sea útil para el análisis posterior, es decir, debe ser una muestra representativa de las condiciones que existan en el punto y hora del muestreo y tener el volumen suficiente para poder efectuar las determinaciones correspondientes.

Una de las principales indicaciones que se deben tomar en cuenta es la de enjuagar el recipiente con el que se va a muestrear repetidas veces antes de efectuar el muestreo. Se debe preservar la muestra durante el transporte por medio de un baño de hielo y conservar las muestras en refrigeración a una temperatura de 277K (4°C).

NMX-AA-014-1980. Cuerpos receptores - Muestreo

Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores de aguas superficiales, excluyendo aguas estuarinas y aguas marinas, con el fin de determinar sus características físicas, químicas y bacteriológicas.

Para el muestreo en corrientes se recomienda que la toma de muestras se realice aguas arriba de la descarga (en donde no se manifieste influencia de ésta), en la descarga y aguas

abajo de la descarga (a una distancia en la que se considere se haya efectuado una mezcla uniforme de la descarga).

3. Descripción del sitio de estudio

3.1 Cuenca Villa Victoria – San José del Rincón

La cuenca Villa Victoria - San José del Rincón forma parte de la región hidrológica 18, cuenca baja del Río Balsas; está ubicada en el occidente del Estado de México, entre las latitudes 100°16' y 99°53' y las longitudes 19°40' y 19°23'. Tiene una extensión de 61,926 hectáreas, de las cuales 24,132 pertenecen al municipio de Villa Victoria y 29,132 al de San José del Rincón, es decir el 86%. El 14% del área restante está dividida por los municipios: Almoloya de Juárez, Villa de Allende, Ixtlahuaca y San Felipe del Progreso en el Estado de México y Zitácuaro, Ocampo y Angangueo en Michoacán. En la figura 3.1 se muestra un croquis con la distribución de los municipios que la integran.

Figura 3.1. Distribución de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón.



El clima en la cuenca se encuentra monitoreado por 5 estaciones climatológicas automatizadas, que permiten clasificarlo en mesotérmico, es decir, estable; el clima predominante es el subhúmedo con lluvias durante el verano. La temperatura media anual oscila entre los 11 y 15°C, mientras que la precipitación media anual es de 1 053 milímetros.

El relieve de la cuenca es diverso, cuenta con planicies, elevaciones orográficas, lagos, valles y tierras de cultivo. En la parte central de la cuenca se identifican Valles de laderas tendidas con pendientes entre 0 y 2%; al noroeste de la cuenca se encuentran Sierras con pendientes de hasta 70% (como la Cañada de Guadarrama y la Cañada del Sauce, por ejemplo); alrededor del embalse se observan Lomeríos de basalto con pendientes hasta del 15%.

La Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón cuenta con aproximadamente 667 kilómetros de corrientes; su hidrología se compone de ríos, mantos acuíferos, manantiales y embalses artificiales. El Río de La Compañía es el más caudaloso, al que le siguen el Río Prieto, el Río de los Coyotes, San José y San Marcos.

3.2 Presa Villa Victoria

Figura 3.2. Embalse de la Presa Villa Victoria, vista desde el muelle.



Es alimentada principalmente por el agua que desciende de las montañas provenientes del Río de La Compañía, manantiales y arroyos. La presa se encuentra a una altitud de 2 545 msnm y tiene una capacidad de 186 millones de metros cúbicos (36% menos de su capacidad original debido al azolvamiento); es una presa de almacenamiento cuya altura del Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME) se encuentra en la cota 2 560.96 msnm.

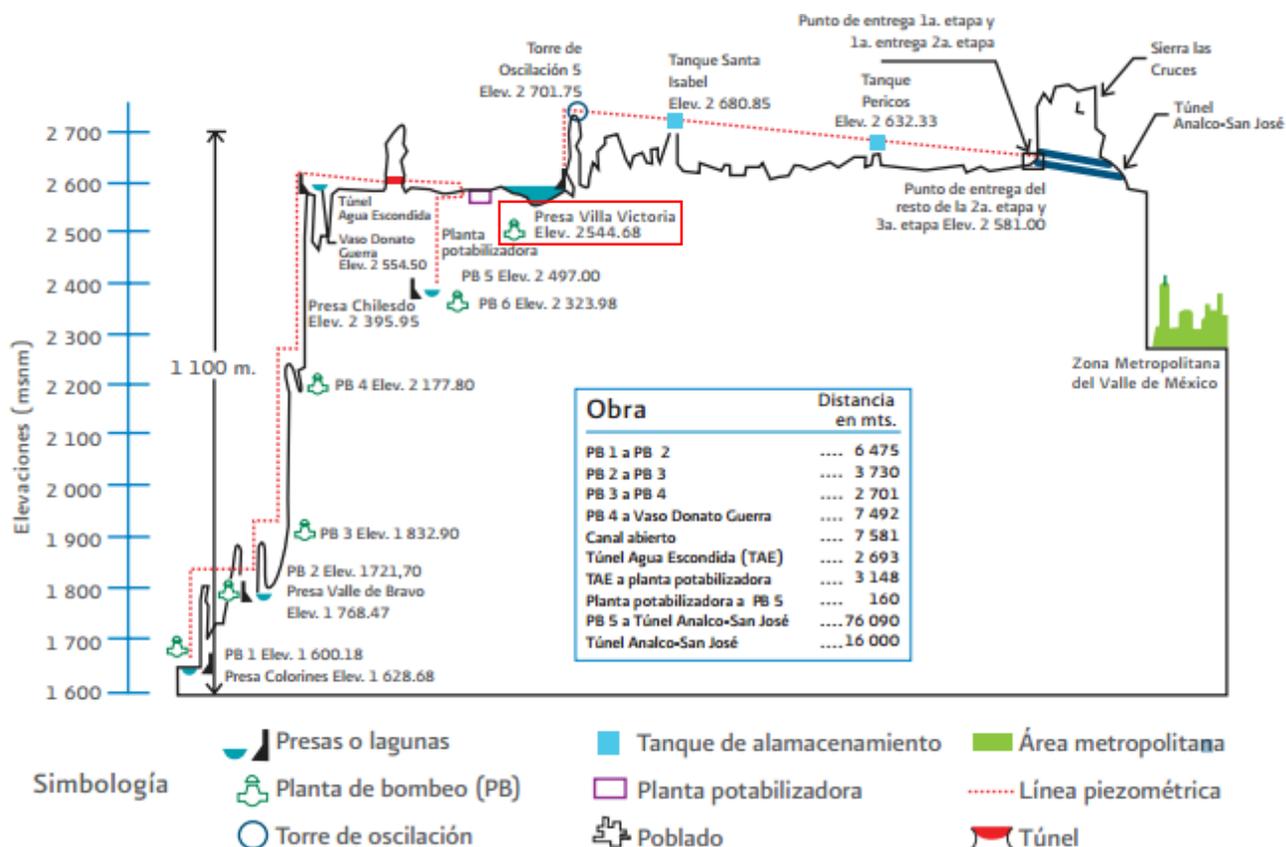
Se construyó originalmente para la generación de energía eléctrica como parte del Sistema Hidroeléctrico de Ixtapantongo, primer gran proyecto hidroeléctrico del país y que después

cambió su nombre por Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán. Debido a la tendencia de agotamiento del recurso hídrico del Valle de México y los hundimientos progresivos del subsuelo de la Ciudad de México, en 1972, la Comisión de Aguas del Valle de México determinó la transformación del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán en un sistema suministrador de agua potable, hecho que dio lugar al megaproyecto Cutzamala.

La presa Villa Victoria se construyó sobre el Río San José Malacatepec y hoy es uno de los cuerpos de agua más importantes del Estado de México y de la Zona Metropolitana del Valle de México, pues abastece con 4.2 m³/s al Sistema Cutzamala (CCVM, 2014).

El Sistema Cutzamala abastece a 11 delegaciones del Distrito Federal y 11 municipios del Estado de México. Es uno de los sistemas de abastecimiento de agua potable más grandes del mundo, tanto por la cantidad de agua que suministra (485 millones de metros cúbicos al año) como por los 1 100 m de desnivel que vence (figura 3.3).

Figura 3.3. Perfil del Sistema Cutzamala.



Fuente: CONAGUA. Estadísticas del agua en México, edición 2011.

La presa Villa Victoria es un centro turístico muy visitado, con paseos familiares en lancha, embarcadero con restaurantes y fondas, entorno rodeado de grandes superficies cubiertas con bosques que constituyen un interesante paisaje que ha influido considerablemente en la organización campirana. De acuerdo a la CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca), Villa Victoria es uno de los sitios donde puede realizarse pesca deportiva de bagre, carpa, lobina y trucha arco iris, aunque también presenta peces del género *Chirostoma* (charales).

3.3 Municipio Villa Victoria

Está constituido por 106 localidades con un alto grado de dispersión habitacional. Desde la década de los 70, la tasa de crecimiento de 2.52% no ha tenido grandes variaciones. Debido a los movimientos de migración que se presentan en el municipio, la población predominante es joven, menor a 30 años. Viven en promedio 5.04 personas por vivienda, es una gran densidad habitacional.

Hablando de salud, el INEGI reporta que el 63% de los 94,369 habitantes de Villa Victoria tienen acceso a algún servicio de salud (IMSS, ISSSTE o seguro popular). Las personas que viven en las localidades fuera de la cabecera municipal tienen que trasladarse a los centros de salud en Valle de Bravo o en Toluca para poder acceder a servicios de salud gratuitos, pues la capacidad instalada en el municipio es insuficiente: por cada 1,049 personas hay un solo médico (2011).

Las principales causas de defunción tienen que ver con enfermedades de los sistemas circulatorio, respiratorio y digestivo; en menor cantidad, con enfermedades endócrinas, nutricionales, metabólicas y tumores.

La mitad de las viviendas de particulares no cuentan con servicio de agua potable y el 55% no cuenta con servicio de alcantarillado. La cabecera municipal y otras 5 localidades vierten sus aguas residuales en la presa Villa Victoria. Hay una planta de tratamiento de aguas residuales con capacidad de 22.5 L/s construida por CONAGUA, sin embargo, aún no opera por falta de colectores (RAMOS FRANCO, 2013).

Las actividades económicas primarias en la cuenca son la agricultura y la ganadería principalmente; se siembran maíz, avena, papa, canola y zanahoria con rendimientos mayores al nivel medio nacional; hablando de cría y explotación de animales, las especies de bovino, porcino, ovino y aves de corral son las principales; en ambos casos la producción es principalmente de autoconsumo a nivel municipal. Las actividades económicas

secundarias tienen que ver con la operación de 33 unidades productivas: 2 maquilan ropa interior, 1 empaca forraje, 1 fabrica anillos de alambón, 2 producen alambre requemado, 11 fabrican block, 7 producen lácteos, 7 dulces regionales, etcétera, produciendo así alrededor de 640 empleos. Las actividades terciarias están relacionadas al turismo (se reciben en promedio 6,700 visitantes cada fin de semana en diferentes sitios de la cuenca) y al transporte, donde predominan los taxis.

3.4 Rastro Municipal

Villa Victoria cuenta con un rastro municipal de 159 metros cuadrados que se construyó de 1973-1975. Según el Directorio Estatal y Nacional de Centros de Sacrificio, el rastro municipal de Villa Victoria tiene una capacidad instalada para sacrificar mensualmente 450 cabezas de ganado bovino y 300 de ganado porcino, sin embargo, solamente se sacrifican el 74% y 80% respectivamente.

4. Metodología para la adquisición de muestras

Las evaluaciones de tipo sanitario – ambiental debido a su gran complejidad y número de datos, no siguen siempre el mismo protocolo, sin embargo se sugiere que cumplan con algunos objetivos, tales como:

- Obtener antecedentes necesarios que lleven a una adecuada planeación en función de preservar la salud humana y ambiental
- Contar con una guía eficiente para poder obtener muestras representativas del lugar a analizar
- Emplear indicadores numéricos que ayuden en la toma de decisiones
- Establecer herramientas teóricas y prácticas para estimar el daño debido a la contaminación del agua y otros factores involucrados

La metodología que se plantea a partir de estos objetivos es un instrumento de evaluación, a continuación se presentan las etapas a seguir.

4.1 Visitas de inspección

Es indispensable realizar visitas de inspección a la zona de estudio con la finalidad de recabar información para iniciar el trabajo, estas visitas permiten tener una visión más amplia de las causas y magnitud del problema. Las visitas de inspección no se limitan a la observación, ya que otra fuente de información muy importante es la comunidad y a través de algunas preguntas se pueden encontrar datos importantes que nos ayuden en la investigación.

Debido a la falta de información acerca del rastro y su descarga, se realizaron dos visitas de inspección previas a la toma de las muestras (6 de mayo de 2014 y 10 de marzo de 2015). De esta manera se pudo conocer el punto y la hora de descarga, la situación actual de la planta de tratamiento que pretende tratar el agua residual del rastro, la descarga en el embalse, etcétera.

Embalse

Desde el mirador se puede ver gran parte del embalse, hay algunos restaurantes y bares para disfrutar la vista, se puede comer pescado fresco o disfrutar de un paseo a bordo de “Venecia”.

Figura 4.1.
Fotografía tomada durante la primera visita (6 de mayo de 2014). El nivel de agua de la presa estaba bajo.



Figura 4.2.
Fotografía tomada durante la segunda visita (10 de marzo de 2015). Nivel de agua mucho mayor.



En los alrededores de la presa de Victoria se pueden ver una especie de fosa séptica como la de la siguiente imagen (figura 4.3). A falta de drenaje municipal, se implementó un sistema en el cual algunos predios descargan sus aguas residuales (tanto domésticas como de agricultura) a la fosa y ésta, poco a poco, las va transfiriendo al embalse, sin ningún otro tipo de tratamiento.

Figura 4.3. Tipo de fosa séptica que se encuentra en el embalse de Villa Victoria



Rastro

Ubicado en la calle Abelardo Rodríguez S/N, justo enfrente de la Unidad Deportiva.

Para conocer los días de matanza en el rastro, se preguntó a dos personas de la comunidad, su respuesta fue que hay de lunes a sábado y de 8.30 a 11.30 de la mañana.

Figura 4.4. Rastro Municipal.

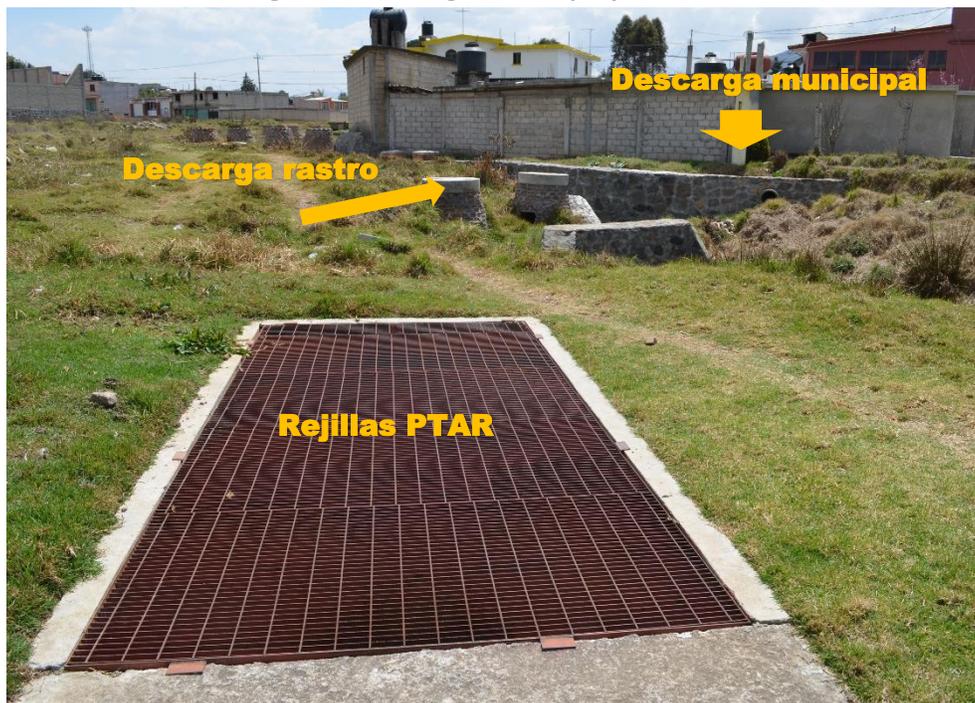


Imagen obtenida de Google Earth

Descarga municipal y del rastro

Siguiendo las vialidades construidas en Villa Victoria del rastro a la presa, se localizó la descarga. El rastro desecha sus residuos junto a una descarga municipal. Al parecer, una parte del agua de desecho del rastro se dirige a unas rejillas y posteriormente se conduce el agua a una planta de tratamiento, la otra parte del agua procedente del rastro se mezcla con la descarga municipal (figura 4.5), ambas en una pequeña corriente de agua que desemboca aguas abajo directo a la presa.

Figura 4.5. Descargas: municipal y del rastro.



Planta de Tratamiento de Agua Residual “Las Peñas”

Antes de las visitas de inspección, no se tenía información de que existiera una planta de tratamiento. La planta (figura 4.6) está construida, existe una caseta de vigilancia, pero no tiene operador ni vigilante, la malla que delimitaba el perímetro de la planta está rota, las rejillas están sucias (figura 4.7), aparentemente se pretende tratar el agua a través de un proceso de lodos activados convencional, sin embargo, no se está llevando a cabo puesto que el olor es muy desagradable y parece existir descomposición anaerobia no controlada (figuras 4.8 y 4.9).



Figura 4.6. PTAR "Las Peñas".



Figura 4.7. Rejillas sucias.



Figura 4.8. Agua estancada en proceso de descomposición anaerobia.



Figura 4.9. Materia orgánica en descomposición anaerobia.

Corriente de agua

En las figuras 4.10 y 4.11 se muestra el camino que sigue la pequeña corriente para llegar al embalse. En el camino se encuentran desechos sólidos de gran tamaño (basura), el agua es turbia y hay mucha vegetación en las orillas (señal de que el agua tiene un alto contenido de nutrientes).



Figura 4.10. Vegetación a los lados de la corriente.

Figura 4.11. Desechos sólidos de gran tamaño (basura).



Desembocadura en el embalse

A menos de 100 metros de llegar al embalse, el estado la corriente superficial es deplorable. En el agua se llevan a cabo procesos de descomposición de materia orgánica. Durante la primera visita, en mayo de 2014, había hasta un animal muerto (figuras 4.12, 4.13 y 4.14).



Figura 4.12. Estado de la corriente: el paso está bloqueado debido al exceso de sólidos de gran tamaño, incluyendo un animal muerto y en estado de descomposición.



Figura 4.13. Paso de la corriente totalmente bloqueado.



Figura 4.14. Agua con procesos de descomposición de materia orgánica.

Junto a la corriente hay un sembradío y muy cerca de la desembocadura se puede ver a los pescadores de la comunidad haciendo su trabajo (figura 4.15).

Figura 4.15. Sembradío y pescadores.



Mapa recorrido

En figura 4.16 se muestra el recorrido que hace el agua residual del rastro desde que se genera en el mismo hasta que desemboca en el embalse de Villa Victoria. El recorrido de la corriente superficial es de aproximadamente 700 metros desde la planta de tratamiento hasta su desembocadura final (distancia obtenida de Google Earth).

Figura 4.16. Recorrido de agua residual: del origen a la descarga en la presa.



4.2 Elaboración del plan de muestreo

Debido a lo encontrado en las visitas de inspección, a las condiciones de la descarga y al horario proporcionado por miembros de la comunidad, se propuso una visita para la recolección de muestras a las 9.00 de la mañana de cualquier día en donde se presente matanza.

Se tomaron 3 muestras: una de la descarga municipal, una de la descarga del rastro antes de ingresar a la planta o ser desviada a la corrientes superficial y una en donde visiblemente existía una mezcla uniforme de las aguas residuales.

Dadas las condiciones del lugar de toma de muestra, se decidió acudir al lugar con otras dos personas de manera que la seguridad en el momento de muestrear fuera adecuada, además de poder documentar y llevar control de las diferentes muestras.

Se acudió en automóvil particular por la autopista México – Toluca – Villa Victoria.

Los materiales que se utilizaron el día del muestreo son:

- ✓ 4 frascos Winkler (1 adicional por cualquier eventualidad no prevista)
- ✓ Envases grandes para tomar muestras (5 envases de PET de capacidad 1.5 L)
- ✓ Hielera para mantener frías las muestras hasta el laboratorio

- ✓ Hielo partido
- ✓ Lápiz para marcar muestras
- ✓ Guantes
- ✓ Tapabocas

Es necesario que todos los materiales con los que se van a determinar los parámetros de calidad del agua se encuentren limpios y listos para usarse.

4.3 Muestreo

El 15 de abril de 2015 de 9.15 – 9.45 de la mañana, se realizó el muestreo. Se tomaron 4 muestras (Tabla 4.1), puesto que al momento de estar tomando la segunda muestra (en la descarga municipal), el agua proveniente del rastro empezó a salir de un color rojo mucho más intenso, por lo que se decidió usar el frasco Winkler extra.

Tabla 4.1. Muestras.

Número de muestra	Muestra	Imágenes
1	Descarga del rastro	
2	Descarga municipal	

<p>3</p>	<p>Descarga del rastro (color rojo intenso)</p>	
<p>4</p>	<p>Mezcla uniforme (aproximadamente 60 metros aguas abajo de las descargas)</p>	

La toma de las muestras se hizo siguiendo las recomendaciones de la NMX-AA-003-1980 y de la NMX-AA-014-1980.

5. Resultados

5.1 Resultados en laboratorio

Figura 5.1. Muestras durante la obtención de parámetros.



Después de realizar los procedimientos correspondientes con las diferentes muestras para obtener los parámetros mencionados en el marco teórico, se obtuvieron los datos mostrados en las tablas 5.1 a 5.8.

Tabla 5.1. Resultado Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅₋₂₀).

Muestra	Dilución [%]	OD _{inicial} [mg/L]	OD _{final} [mg/L]	DBO ₅₋₂₀ [mg/L]
1	0.2	5.6	4.5	550
	0.5	5.8	2.6	640
2	0.2	5.4	5	200
	0.5	6.1	4.9	240
3	0.1	6.2	5.9	300
	0.2	6	4.3	850
	0.5	6.1	1.2	980
4	0.2	6.3	6	150
	0.5	6.4	4.6	360

Tabla 5.2. Sólidos Totales Totales.

Muestra	W _{inicial} Cápsula [g]	W _{final} Cápsula [g]	Vol. Muestra [ml]	STT [mg/L]
1	27.3333	27.3447	10	1140
2	21.8926	21.8986	10	600
3	20.9902	21.0112	10	2100
4	20.7496	20.7584	10	880

Tabla 5.3. Sólidos Suspendedos Totales.

Muestra	W _{inicial} Crisol [g]	W _{final} Crisol [g]	Vol. Muestra [ml]	SST [mg/L]
1	25.5212	25.5241	10	290
2	25.0188	25.0204	10	160
3	26.0623	26.0671	10	480
4	25.4390	25.4413	10	230

Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) se obtuvieron por la diferencia entre los STT y los SST (tabla 5.4).

Tabla 5.4. Sólidos Disueltos Totales.

Muestra	STT [mg/L]	SST [mg/L]	SDT [mg/L]
1	1140	290	850
2	600	160	440
3	2100	480	1620
4	880	230	650

Tabla 5.5. Resultado Nitratos (NO₃).

Muestra	Dilución [%]	Lectura [mg/L]	NO ₃ [mg/L]
1	20	1.9	9.5
	40	5.6	14
2	0	0.7	0.7
	10	1.3	13

3	20	4.3	21.5
	40	7.7	19.25
4	10	1	10
	20	-	-

Tabla 5.6. Resultado Nitritos (NO₂).

Muestra	Dilución [%]	Lectura [mg/L]	NO ₂ [mg/L]
1	0	0.126	0.126
2	0	0.026	0.026
3	50	0.212	0.424
	0	0.33	0.33
4	0	0.067	0.067

Tabla 5.7. Resultado Sulfatos (SO₄⁻³).

Muestra	Dilución [%]	Lectura [mg/L]	SO ₄ ⁻³ [mg/L]
1	20	6	30
	40	23	57.5
2	20	4	20
	40	1	2.5
3	20	20	100
	40	23	57.5
4	20	-	-
	40	9	22.5

Tabla 5.8. Resultado Fosfatos (PO₄⁻³).

Muestra	Dilución [%]	Lectura [mg/L]	PO ₄ ⁻³ [mg/L]
1	20	0.27	1.35
	0	0.63	0.63
2	20	0.16	0.8
	0	0.3	0.3
3	20	0.33	1.65
	0	0.8	0.8
4	20	0.24	1.2
	0	0.42	0.42

En la tabla 5.9 se muestra el resumen de los parámetros obtenidos en el laboratorio, mismos que se utilizarán posteriormente para calcular el ICA. En los casos en donde se obtuvo más de un valor para el parámetro, la tabla reporta el valor promedio.

Tabla 5.9. Resumen parámetros.

Muestra	DBO ₅₋₂₀ [mg/L]	NO ₃ [mg/L]	NO ₂ [mg/L]	SO ₄ [mg/L]	PO ₄ [mg/L]	STT [mg/L]	SST [mg/L]	SDT [mg/L]
1	595	11.75	0.126	43.75	0.99	1140	290	850
2	145	6.85	0.026	11.25	0.55	600	160	440
3	710	20.375	0.377	78.75	1.225	2100	480	1620
4	255	10	0.067	22.50	0.81	880	230	650

5.2 Cálculo del ICA

Tomando en cuenta las fórmulas y los factores de ponderación proporcionados por la CONAGUA (tabla 2.1), se calcula el índice de calidad individual por parámetro para después obtener el promedio ponderado conocido como ICA (tabla 5.10).

Ecuación 1

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Tabla 5.10. Cálculo del ICA.

Muestra	DBO ₅₋₂₀ [mg/L]	NO ₃ [mg/L]	PO ₄ [mg/L]	SST [mg/L]	SDT [mg/L]
1	595	11.75	0.99	290	850
2	220	6.85	0.55	160	440
3	710	20.375	1.225	480	1620
4	255	10	0.81	230	650

Índice de calidad individual						
1	1.629	69.667	34.374	32.705	94.225	
2	3.182	83.832	45.045	40.754	100 ¹	
3	1.446	57.681	31.165	27.142	80.75	
4	2.881	73.629	37.698	35.633	97.725	
Factor de importancia en ICA						Suma
	5.0	2.0	2.0	1.0	0.5	10.5
Índice de calidad individual * Factor importancia						Suma
1	8.145	139.334	68.748	32.705	47.113	296.045
2	15.91	167.664	90.09	40.754	50	364.418
3	7.23	115.362	62.33	27.142	40.375	252.439
4	14.405	147.258	75.396	35.633	48.863	321.555
ICA						
1	28					
2	35					
3	24					
4	31					

5.3 Análisis de resultados

Si se evalúa la calidad del agua como se hace en las estaciones de monitoreo instaladas a lo largo de la República Mexicana, considerando exclusivamente los resultados numéricos de Sólidos Suspendidos y Demanda Bioquímica de Oxígeno, la CONAGUA clasifica el agua como “contaminada” y “fuertemente contaminada”, según cada parámetro (tabla 5.11).

Tabla 5.11. Clasificación muestras según parámetros CONAGUA.

Muestra	Clasificación según SST	Clasificación según DBO ₅
1	Contaminada	Fuertemente contaminada
2	Contaminada	Fuertemente contaminada
3	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada
4	Contaminada	Fuertemente contaminada

¹ El valor real obtenido fue de 101.4, sin embargo, el método indica utilizar como valor máximo 100.

El elevado valor de los SST así como de la DBO₅ en todas las muestras, indica que el agua tiene un fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alto contenido de material suspendido.

En cuanto a la clasificación del ICA (tabla 5.12), las muestras 1 y 3 (ambas provenientes de la descarga directa del rastro), se catalogan como “altamente contaminadas”, esto quiere decir que los usos que puede tener el agua son nulos, incluso en actividades industriales y agrícolas, así como para la navegación el uso está muy restringido, pues el agua está verdaderamente contaminada. Las muestras 2 y 4, catalogadas como “contaminadas”, no tienen un panorama mucho mejor, solamente organismos muy resistentes podrían habitar en ellas y el agua requiere tratamiento para para uso en la mayor parte de la industria, aunque la navegación podría ser aceptable.

Desde el punto de vista orgánico, falta conocer el grado de contaminación microbiológica, sin embargo, por el tipo de agua residual, ésta también se puede considerar como un alto riesgo para la salud de la población que tiene contacto con ella.

Tabla 5.12. Clasificación muestras según ICA.

Muestra	Clasificación según ICA
1	Altamente contaminada
2	Contaminada
3	Altamente contaminada
4	Contaminada

Hay 2 parámetros que se obtuvieron y que no se toman en cuenta en el ICA: los sulfatos y los nitritos. Si bien no forman parte del análisis principal, ayudan a tener una perspectiva más amplia de la descarga del rastro. Los sulfatos, cuyo límite máximo permisible según la 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” es de 400 mg/l, se encuentran dentro del límite permisible en todas las muestras. La concentración de nitritos es mayor al permitido por la NOM-127-SSA1-1994 (0.05 mg/l) en 3 de las 4 muestras, sin embargo, este valor puede variar con respecto al tiempo en el que se analice la muestra, puesto que el nitrógeno orgánico contenido en las descargas de aguas residuales prontamente se descompone en nitrógeno amoniacal y posteriormente se oxida a nitrito y después a nitrato; esto quiere decir que si todavía existe presencia de nitritos, se puede decir que la descarga es reciente.

En el caso de los nitratos, se establece como concentración máxima 10 mg/l, con el fin de prevenir la metahemoglobinemia en infantes, y 3 de las 4 muestras superan este límite. Para los fosfatos, se considera que el límite máximo para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y controlar la eutroficación acelerada de ríos y arroyos es 0.1 mg/l (DOF, 1989), límite que queda muy por abajo de los valores obtenidos en las cuatro muestras.

Conclusiones y recomendaciones

Existe una relación directa entre la naturaleza de las diversas actividades humanas y el grado de contaminación del agua.

Al comenzar este trabajo se planteó la posibilidad de obtener un análisis de la calidad del agua de la descarga del rastro municipal de Villa Victoria mismo que, a través del cálculo del Índice de Calidad del Agua, se consiguió.

A pesar de ser pocos los parámetros evaluados, éstos permiten conocer las condiciones en las que se encuentra el agua que se descarga directamente a la Presa Villa Victoria. La metodología utilizada tanto para la obtención de muestras como para el procesamiento de las mismas resultó un camino adecuado y eficiente para llegar a resultados concretos y comparables con los límites permisibles según las normas del país.

Los niveles de contaminación en la descarga del rastro son alarmantes, pues el agua catalogada como “altamente contaminada” según el resultado del ICA y que debería tener un tratamiento previo para no ser peligrosa al contacto humano, llega a una corriente superficial que está al alcance de cualquier persona de la comunidad y que colinda con algunas viviendas e incluso con una escuela.

Es importante mencionar que el ICA funciona solamente como un índice, es decir, como un indicativo de la calidad de manera general, su desventaja principal es que no da características particulares del agua, sino que junta todos los parámetros para poder presentar un solo número.

Hablando de la planta de tratamiento de aguas residuales “Las Peñas”, es necesario que las autoridades competentes hagan algo al respecto. Es un proyecto del que no se encuentra mucha información técnica y en la práctica pocas cosas parecen funcionar como deberían. Sanear el agua proveniente del rastro podría verse mucho más cerca si se adecuaban las instalaciones de acuerdo a la calidad con la que sale el agua del mismo. Ésta puede ser una solución a ambos problemas: al exceso de contaminación en la descarga y al desuso de una estructura ya construida.

El alcance de este trabajo se limitó exclusivamente al análisis de calidad del agua proveniente del rastro municipal, sin embargo, se recomienda hacer un análisis mucho más detallado, es importante saber cómo afecta esta descarga al embalse, la capacidad de dilución que tiene el mismo en ese punto, a los seres vivos que se encuentran cerca de ella, a los pescadores que hacen su trabajo en los alrededores y a las personas que tienen contacto con el agua contaminada. Es importante determinar el grado de contaminación

que presenta el embalse y si se encuentra o no eutroficado. Descargas como ésta intervienen negativamente en el desarrollo natural del embalse, es por eso que deben ser localizadas, estudiadas y monitoreadas, de manera que sus efectos sean cada vez menos nocivos para la vida.

La importancia de los estudios de calidad del agua poco a poco se ve con más claridad, pues como bien se reconoció en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro en 1992, la información es un medio necesario para la instrumentación de cualquier plan de acción para un desarrollo sustentable. Es por eso que las autoridades deben estar informadas de las condiciones en las que se encuentra el agua en su territorio, de manera que puedan sumar acciones preventivas y correctivas que mejoren dichas condiciones y así minimizar los problemas que existen en la comunidad por consumir agua contaminada.

Definición de términos

Antropocéntrico. Pertenciente o relativo al antropocentrismo (Teoría filosófica que sitúa al hombre como centro del universo).

Biocéntrico. Propuesta de reformulación de nuestros valores culturales que toma como referencia el respeto por la vida.

Esquistosomiasis. Enfermedad parasitaria aguda y crónica causada por duelas sanguíneas (trematodos) del género *Schistosoma*.

Legionelosis. Término genérico que se utiliza para referirse a la enfermedad que causa la bacteria *Legionella pneumophilla* y otras del mismo género. Se presenta fundamentalmente en dos formas clínicas perfectamente diferenciadas: una neumonía que se conoce como Enfermedad del Legionario, un cuadro de tipo gripal y carácter leve que se denomina Fiebre de Pontiac.

Metahemoglobinemia. Trastorno de la sangre que puede ser causado por una condición hereditaria o congénita, exposición a toxinas (especialmente nitratos) o por deshidratación (especialmente en los bebés). En este caso la metahemoglobina está presente en una cantidad demasiado grande, este tipo de hemoglobina no puede transportar oxígeno, lo que significa que el número de células de la sangre que contienen oxígeno se reduce. La metahemoglobinemia puede ser fatal, provocando insuficiencia cardíaca total cuando se deja sin tratamiento.

Morbilidad. Proporción de personas que enferman en un sitio y tiempo determinado.

Mortalidad. Tasa de muertes producidas en una población durante un tiempo dado, en general o por una causa determinada.

Nutrimiento. Sustancia de los alimentos.

Variación espacial. Cambio o alteración de algo en un espacio determinado.

Variación temporal. Cambio o alteración de algo en un tiempo determinado.

Índice de tablas

Tabla 1.1. Sitios de la Red Nacional de Monitoreo, 2010.....	6
Tabla 2.1. Importancias relativas y fórmulas para el cálculo de cada parámetro que interviene en el cálculo del ICA.....	14
Tabla 4.1. Muestras.....	36
Tabla 5.1. Resultado Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅₋₂₀).....	38
Tabla 5.2. Sólidos Totales Totales.....	39
Tabla 5.3. Sólidos Suspendidos Totales.....	39
Tabla 5.4. Sólidos Disueltos Totales.....	39
Tabla 5.5. Resultado Nitratos (NO ₃).....	39
Tabla 5.6. Resultado Nitritos (NO ₂).....	40
Tabla 5.7. Resultado Sulfatos (SO ₄ ⁻³).....	40
Tabla 5.8. Resultado Fosfatos (PO ₄ ⁻³).....	40
Tabla 5.9. Resumen parámetros.....	41
Tabla 5.10. Cálculo del ICA.....	41
Tabla 5.11. Clasificación muestras según parámetros CONAGUA.....	42
Tabla 5.12. Clasificación muestras según ICA.....	43

Índice de figuras

Figura 1.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2010.....	8
Figura 1.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2010.....	9
Figura 1.3. Sólidos Suspendidos Totales (SST) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2010.....	10
Figura 2.1. Escala de clasificación de la calidad del agua, según su ICA.....	15
Figura 3.1. Distribución de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón.....	21
Figura 3.2. Embalse de la Presa Villa Victoria, vista desde el muelle.....	22
Figura 3.3. Perfil del Sistema Cutzamala.....	23
Figura 4.1. Fotografía tomada durante la primera visita (6 de mayo de 2014). El nivel de agua de la presa estaba bajo.....	27
Figura 4.2. Fotografía tomada durante la segunda visita (10 de marzo de 2015). Nivel de agua mucho mayor.....	27
Figura 4.3. Tipo de fosa séptica que se encuentra en el embalse de Villa Victoria.....	28
Figura 4.4. Rastro Municipal.....	28
Figura 4.5. Descargas: municipal y del rastro.....	29
Figura 4.6. PTAR “Las Peñas”	30
Figura 4.7. Rejillas sucias.....	30
Figura 4.8. Agua estancada en proceso de descomposición anaerobia.....	30
Figura 4.9. Materia orgánica en descomposición anaerobia.....	31
Figura 4.10. Vegetación a los lados de la corriente.....	31
Figura 4.11. Desechos sólidos de gran tamaño (basura).....	32
Figura 4.12. Estado de la corriente: el paso está bloqueado debido al exceso de sólidos de gran tamaño, incluyendo un animal muerto y en estado de descomposición.....	32
Figura 4.13. Paso de la corriente totalmente bloqueado.....	33
Figura 4.14. Agua con procesos de descomposición de materia orgánica.....	33

Figura 4.15. Sembradío y pescadores.....	34
Figura 4.16. Recorrido de agua residual: del origen a la descarga en la presa	35
Figura 5.1. Muestras durante la obtención de parámetros.....	38

Referencias

"La LGEEPA, 25 años después", Diana Ponce Nava.

ALCALÁ JUÁREZ, Carolina. *Evaluación sanitario – ambiental de la presa Villa Victoria, perteneciente al Sistema Cutzamala*. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. *Atlas del agua en México 2012*. México, 2012. Páginas: 56-62, 72.

CCVM (Consejo de Cuenca del Valle de México), 2014:

<http://cuencavalledemexico.com/organos-auxiliares/comision-de-cuenca-villa-victoria-san-jose-del-rincon/la-cuenca/>

DIRECTORIO ESTATAL Y NACIONAL DE CENTROS DE SACRIFICIO:

http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaBasica/Pecuario/Rastros/seccedos.pdf

ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, *Tópicos en Ecología*. Número 9, 2001. 17 pp.

NMX-AA-003-1980. Aguas residuales – Muestreo.

NMX-AA-014-1980. Cuerpos receptores – Muestreo.

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.

NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-003-SEMARNAT-1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

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".

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD:

http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/es/

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales*

indicadores clave y de desempeño ambiental. México, 2012. Páginas: 285-291.

SEMARNAT, 2005:

http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/07_agua/cap7_2.html

RAMOS FRANCO, Javier. *Obtención de modelos de calidad del agua para el embalse Villa Victoria, Estado de México, aplicando técnicas de percepción remota*. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.