



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“Diagnóstico de la calidad del agua del río Pixquiac en
la congregación Zoncuantla, Municipio de Coatepec,
Veracruz”.**

TRABAJO RECEPCIONAL

Que para obtener el diploma de:

**ESPECIALISTA EN
DIAGNÓSTICO Y GESTIÓN AMBIENTAL**

P r e s e n t a :

Cortés Soto Nancy Gabriela

Xalapa, Ver.

julio de 2010



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“Diagnóstico de la calidad del agua del río Pixquiac en
la congregación Zoncuantla, Municipio de
Coatepec, Veracruz”.**

TRABAJO RECEPCIONAL

Que para obtener el diploma de:

**ESPECIALISTA EN
DIAGNOSTICO Y GESTIÓN AMBIENTAL**

P r e s e n t a :

Cortés Soto Nancy Gabriela

Director: Dra. Ma Teresa Leal Ascencio

Asesores externos: M. en C. Simón Pierre Mokondoko D.

Georgina Vidriales Chan

Xalapa, Ver.

julio de 2010

RECONOCIMIENTOS

En agradecimiento por la valiosa contribución y apoyo brindado durante la elaboración del presente trabajo expreso mi gratitud a:

M. en C. Simón Pierre Mokondoko Delgadillo

Global Water Watch
Sergio S. Ruiz Córdova

SENDAS A. C.
Georgina Vidriales Chan

Asociación de Vecinos del Pixquiac Zoncuantla
Biol. Eduardo Aranda Delgado

Comisión Nacional del Agua
Jefe de proyecto de Saneamiento y Calidad del Agua: QFB María. Isela Torres
Laboratorio de Calidad del Agua Golfo Centro: I.Q. Jaime Portilla Hernández
Lab. Físico-Químicos, I.A. Mario Mares Hernández
Lab. Microbiológicos, I.Q. Nancy L. Guevara Martínez

Universidad Veracruzana
M. en C. Ma Teresa Leal Ascencio
I.Q.A. Luis Omar Jamed Boza

DEDICATORIAS

Por ti y para ti, mi pequeño campeón:

Ian Fernando Preciado Cortés

“Lo mejor que puedes dar a tu enemigo es el perdón; a un oponente, tolerancia; a un hijo, un buen ejemplo; a tu padre, deferencia; a tu madre, una conducta de la cual se enorgullezca; a ti mismo, respeto; a todos los hombres, caridad”.

John Balfour



RESUMEN

Se realizó un estudio de la calidad del agua del río Pixquiac, congregación Zoncuantla, Municipio de Coatepec, Veracruz, entre mayo y julio de 2010. Los parámetros analizados fueron los considerados como básicos en estudios de la calidad del agua: temperatura, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza total, turbiedad y bacteriológico, así como, los datos históricos recabados por el grupo de monitoreo comunitario “Amigos del Pixquiac”-GWW-Ver., con el propósito de analizar el efecto de actividad antropogénica en el cuerpo de agua presente en la región. Se describió el comportamiento del río a través del tiempo, en los diferentes parámetros analizados, evaluándolos según la normatividad aplicable en la materia. La relevancia del mismo consistió en poder observar, conocer y entender las tendencias del comportamiento del río a corto, mediano y largo plazo. Se utilizaron las técnicas 1) GWW con su Red de Monitoreo Comunitario y 2) NMX normas mexicanas usadas en el Laboratorio de la Calidad del Agua, Región Golfo Centro, Se comprobó la variación o similitud entre ella, aplicando una prueba de hipótesis estadística, con la cual se obtuvo el intervalo de confianza para cada parámetro.

Se utilizaron datos recabados mensualmente desde diciembre de 2005 para el análisis histórico y se realizaron 10 muestreos pareados para ambas técnicas, en tres puntos estratégicos. Los resultados obtenidos se confrontaron con los límites marcados por la normatividad en materia del agua, nacionales e internacionales. Los resultados muestran que el río presenta buenas condiciones para su uso como fuente de abastecimiento, siempre que reciba tratamiento para la eliminación de organismos patógenos presentes en agua, debido a la contaminación que presenta de coliformes fecales. En lo estadístico, se tuvo un 95% de confianza al usar el kit de monitoreo comunitario equiparándolo con las NMX.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	x
1 GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos particulares.....	4
1.4 Justificación.....	5
2 EL AGUA	
2.1 Ciclo del agua.....	6
2.1.1 Evaporación.....	7
2.1.2 Condensación.....	7
2.1.3 Precipitación.....	7
2.1.4 Infiltración.....	7
2.1.5 Escorrentía.....	8
2.2 Efectos humanos en el ciclo del agua.....	8
2.3 Concepto de cuenca.....	9
2.3.1 Función hidrológica.....	9
2.3.2 Función ecológica.....	9
2.3.3 Función ambiental.....	9
2.4 Calidad del agua.....	10
2.5 Parámetros básicos para determinar la calidad del agua superficial.....	10
2.5.1 Temperatura.....	10
2.5.2 Potencial de hidrógeno (pH).....	11
2.5.3 Oxígeno disuelto.....	11
2.5.4 Alcalinidad.....	12
2.5.5 Turbiedad.....	12
2.5.6 Dureza.....	13
2.5.7 Coliformes como indicadores de calidad del agua.....	13
2.6 Normatividad aplicable.....	13
2.6.1 Ley de aguas nacionales (LAN).....	13
2.6.2 Modificación a la NOM-127-SSA1-1994 de 2000.....	14
2.6.3 Criterios ecológicos de la calidad del agua.....	14
2.6.4 Organización Mundial de la Salud (OMS).....	15
2.6.5 Environmental Protection Agency(EPA).....	15
2.7 Pruebas de hipótesis.....	17
3 METODOLOGÍA	
3.1 Área de estudio.....	19
3.2 Selección de sitios.....	22
3.2.1 Vado Las Monjas.....	22
3.2.2 Seis de Enero.....	23
3.2.3 Mariano Escobedo.....	24
3.3 Muestreo y métodos.....	24
3.3.1 Capacitación para muestreo y análisis.....	25
3.3.2 Global Water Watch.....	25

3.3.3 Normas técnicas NMX.....	26
3.4 Esquema metodológico.....	28
4 RESULTADOS	
4.1 Análisis e interpretación de datos históricos.....	29
4.1.1 Temperatura del aire.....	29
4.1.2 Temperatura del agua.....	30
4.1.3 Oxígeno disuelto.....	31
4.1.4 Turbiedad.....	32
4.1.5 Alcalinidad.....	33
4.1.6 Dureza.....	34
4.1.7 Potencial de hidrógeno (pH).....	35
4.1.8 Análisis bacteriológico con base de datos GWW.....	36
4.1.8.1 Las Monjas.....	37
4.1.8.2 Seis de Enero.....	38
4.1.8.3 Mariano Escobedo.....	39
4.2 Análisis comparativo y evaluación estadística de ambas técnicas.....	40
4.2.1 Comparación y descripción de resultados obtenidos por ambos métodos para alcalinidad.....	41
4.2.2 Pruebas de hipótesis para alcalinidad.....	42
4.2.3 Comparación y descripción de resultados obtenidos por ambos métodos para dureza total.....	43
4.2.4 Pruebas de hipótesis para dureza total.....	44
4.2.5 Comparación y descripción de resultados obtenidos por ambos métodos para pH.....	44
4.2.6 Pruebas de hipótesis para pH.....	45
4.2.7 Comparación y descripción de resultados obtenidos por ambos métodos para turbiedad.....	46
4.2.8 Pruebas de hipótesis para turbiedad.....	47
4.2.9 Comparación y descripción de resultados obtenidos por ambos métodos para oxígeno disuelto.....	47
4.2.10 Pruebas de hipótesis para oxígeno disuelto.....	48
4.2.11 Comparación y descripción de resultados obtenidos por ambos métodos para coliformes fecales.....	50
4.2.12 Pruebas de hipótesis para coliformes fecales.....	51
5 CONCLUSIONES	
5.1 Del análisis histórico.....	51
5.2 Estadística general.....	51
6 RECOMENDACIONES	53
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de límites mínimos y máximos establecidos para la calidad del agua.....	16
Tabla 2. Pruebas de hipótesis de medias con varianza desconocida y varianza combinada.....	18
Tabla 3. Parámetros medidos por GWW y breve descripción del método.....	26
Tabla 4. Parámetros medidos en el laboratorio CONAGUA y breve descripción del método según las NMX.....	27
Tabla 5. Promedios, desviación estándar y número de muestras de temperatura del aire para cada sitio.....	30
Tabla 6. Promedios, desviación estándar y número de muestras de temperatura del agua para cada sitio.....	31
Tabla 7. Promedios, desviación estándar y número de muestras de oxígeno disuelto para cada sitio.....	32
Tabla 8. Promedios, desviación estándar y número de muestras de turbiedad para cada sitio.....	33
Tabla 9. Promedios, desviación estándar y número de muestras de alcalinidad para cada sitio.....	34
Tabla 10. Promedios, desviación estándar y número de muestras de dureza total para cada sitio.....	35
Tabla 11. Promedios, desviación estándar y número de muestras de pH para cada sitio.....	36
Tabla 12. Datos generados en los diez monitoreos efectuados por ambas técnicas de análisis.....	40
Tabla 13. Promedios, desviación estándar y número de muestras de la tabla anterior.....	41
Tabla 14. Pruebas de hipótesis para la alcalinidad 1.....	42
Tabla 15. Pruebas de hipótesis para la alcalinidad 2.....	42
Tabla 16. Pruebas de hipótesis para la dureza.....	44
Tabla 17. Pruebas de hipótesis para pH.....	45
Tabla 18. Pruebas de hipótesis para la turbiedad.....	47
Tabla 19. Pruebas de hipótesis para el oxígeno disuelto 1.....	49
Tabla 20. Pruebas de hipótesis para el oxígeno disuelto 2.....	49
Tabla 21. Pruebas de hipótesis para coliformes fecales.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico.....	7
Figura 2. Ubicación cuenca alta del río La Antigua, donde el río Pixquiác corresponde al número 2.....	19
Figura 3. Cuenca río Pixquiác, localización de Municipios, delimitación de la cuenca.....	20
Figura 4. Clasificación de la cuenca del río Pixquiác y ubicación de los sitios de monitoreo.....	21
Figura 5. Puntos de análisis del agua del río Pixquiác, donde 1.-Las Monjas 2.- Seis de enero, 3.- Mariano Escobedo.....	22
Figura 6. Puente ubicado en el vado Las Monjas.....	23
Figura 7. Puente ubicado en el sitio denominado Seis de Enero.....	23
Figura 8. Sitio 3 Mariano Escobedo.....	24

Figura 9. Temperatura del aire de los tres sitios donde se marca en azul-Las Monjas, rojo-Seis de Enero y verde-Mariano Escobedo.....	29
Figura 10. Temperatura del agua de los tres sitios donde se marca en azul-Las Monjas, rojo-Seis de Enero y verde-Mariano Escobedo.....	30
Figura 11. Oxígeno disuelto de los tres sitios donde se marca en azul-Las Monjas, rojo-Seis de Enero y verde-Mariano Escobedo.....	32
Figura 12. Turbiedad de los tres sitios donde se marca en azul-Las Monjas, rojo-Seis de Enero y verde-Mariano Escobedo.....	33
Figura 13. Alcalinidad de los tres sitios donde se marca en azul-Las Monjas, rojo-Seis de Enero y verde-Mariano Escobedo.....	34
Figura 14. Dureza total de los tres sitios donde se marca en azul-Las Monjas, rojo-Seis de Enero y verde-Mariano Escobedo.....	35
Figura 15. pH de los tres sitios donde se marca en azul-Las Monjas, rojo-Seis de Enero y verde-Mariano Escobedo.....	36
Figura 16. Coliformes fecales en el sitio Las Monjas 2005-2010.....	37
Figura 17. Coliformes fecales en el sitio Seis de Enero 2005-2010.....	38
Figura 18. Coliformes fecales en el sitio Mariano Escobedo 2005-2010.....	39
Figura 19. Valores de alcalinidad donde "Y" es el resultado de el KIT y "X" es el del laboratorio.....	41
Figura 20. Valores de dureza total por ambos métodos.....	43
Figura 21. Valores de pH obtenidos por ambos métodos.....	45
Figura 22. Valores de turbiedad encontrados "in situ" y en el laboratorio.....	46
Figura 23. Valores del oxígeno disuelto analizado "Y" con KIT y "X" en laboratorio.....	48
Figura 24. Monitoreo bacteriológico realizado con Easygel coliscan (GWW) y agar con ácido rosólico (NMX).....	50

APÉNDICE 1

Carta de confidencialidad de información y/o transferencia de materiales GWW

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

BBM : Bosque Mesófilo de Montaña

CMAS: Comisión Municipal de Agua y Saneamiento

CONABIO: Comisión Nacional de Biodiversidad

CONAGUA : Comisión Nacional del Agua

EMA: Entidad Mexicana de Acreditación

FNU: Formazine Nephelometric Unit

FTU: Formazine Turbidity Unit

GWW: Global Water Watch

GWW-Ver: Global Water Watch Veracruz

IIS-UNAM: Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM

JICA: Agencia de Cooperación Internacional de Japón

JTU: Jackson Turbidity Unit

LAN: Ley de Aguas Nacionales

LPS: Litros por segundo

mm: Milímetros

MSNM: Metros sobre el nivel del mar

NMX: Norma Mexicana

NTU: Turbidity Nephelometric Unit

pH: Potencial de hidrógeno

PRONATURA: Asociación Mexicana Pro Conservación de la Naturaleza, A.C.

SEDERE: Secretaria de Desarrollo Regional

SENDAS A.C.: Senderos y Encuentros para un Desarrollo Autónomo Sustentable A.C.

UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México

INTRODUCCIÓN

La extensa diversidad de recursos naturales amerita que la naturaleza sea estudiada de forma entretenida, sin dejar de lado la rigurosidad en la aplicación del método científico (Castillo, 2010). El acceso a tecnologías de punta posibilita el estudio de fenómenos naturales de una forma simple, para comprender procesos que muchas veces escapan a la simple mirada que se tiene del espacio geográfico y la utilidad que presenta la evaluación y el monitoreo de recursos naturales desde un contexto espacial y temporal. Esto, otorga la posibilidad de estudiar procesos, tales como el avance de los desiertos, el cambio del uso de suelo, la ocupación del territorio por sectores urbanos o la conservación y utilización sustentable de masas forestales (Castillo, 2010).

La cuenca del río Pixquiac, además de ser tributaria del sistema de riego de la cuenca del río La Antigua y de proveer servicios ambientales a Xalapa y a otras comunidades, alberga importantes remanentes de bosque mesófilo de montaña (BBM), el cual ocupa menos del 1% de la superficie total de México. En el estado de Veracruz queda sólo 2.7 por ciento de lo que existió de BMM, a pesar de ser el ecosistema que mayor cantidad de agua capta por hectárea. En estos bosques, es alta la captación del agua de lluvia y de neblina, aún en la temporada seca. Por su ubicación se desarrollan en las zonas de mayor precipitación del país teniendo un promedio entre 2 mil y 6 mil mm/año (La Jornada, 2003). Esto da como resultado una eficiente recarga de los mantos freáticos y de las corrientes superficiales.

Con “el aumento en los niveles de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Por otra parte, debido a las diferencias de interpretación entre los encargados de la toma de decisiones, los expertos en el tema y del público en general, existe un esfuerzo creciente para desarrollar un sistema indicador que agrupe los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco de referencia unificado” (León, s/a).

Para un mejor manejo de la calidad del agua, los esfuerzos para evaluar y controlar la contaminación deben estar dirigidos a atenuar los impactos que la sociedad impone en su desarrollo. Se ha reconocido a nivel mundial que para la protección efectiva de los recursos

naturales se requiere de conocer a detalle las condiciones ambientales existentes y la habilidad de detectar y medir cambios en dichas condiciones (Sanders, 1983).

Ente el estado crítico de los recursos hídricos del país, existe cada vez más interés en crear redes de monitoreo comunitario de cuencas como una estrategia que pueda ayudar a reducir los altos costos asociados con programas específicos de monitoreo de calidad del agua. El monitoreo comunitario de la calidad del agua es una propuesta que permite realizar una evaluación a largo plazo de cuerpos de agua, involucrando a los ciudadanos de las cuencas en la protección del medio ambiente y detectar problemas específicos que requieren atención. Este interés derivó en la necesidad de diversos grupos por tener información respecto a la calidad del agua, lo cual ha sido una oportunidad para impulsar la participación ciudadana y/o comunitaria en los procesos de obtención de datos en una propuesta de monitoreo de largo plazo. La cobertura que estos grupos ofrecen mejora las existentes a nivel nacional y con acceso a la información (GWW-VER, 2008). Esto garantiza un máximo impacto en la toma de decisiones relacionadas con el manejo de los recursos hídricos y sienta las bases en un uso sustentable del vital líquido.

1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

A principios de los años 70, el gobierno mexicano estableció una Red Nacional de Monitoreo (RNM) con el objeto de medir en forma sistemática la calidad del agua de los ríos del país, para determinar la extensión, características y efectos de las condiciones existentes de contaminación. Esta información sirvió de base para la clasificación de las corrientes de acuerdo con sus usos. Para el efecto, se seleccionó 130 estaciones de monitoreo en ríos, lagunas litorales y playas de relevancia turística (CONAGUA, 2009).

En la década de los 90, en el Departamento de Pesquerías de la Universidad de Auburn, Alabama, se desarrolló métodos simplificados para la obtención de datos creíbles de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, así como métodos para caudal, sólidos en suspensión y bio-monitoreo a partir de la identificación de macro invertebrados bentónicos. A la par de estos métodos se desarrolló el programa de “Certificación de monitoreo comunitario de la calidad del agua” con el fin de mantener la calidad en la toma de datos y de las técnicas de los monitores, programa que actualmente se ha extendido a ocho países y 17 regiones en México (GWW-Ver, 2008).

A partir de 1998, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en el marco del Convenio de Cooperación celebrado con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), estableció nuevos criterios para instrumentar una Red de Monitoreo de la Calidad del Agua Costera en México, con base en las recomendaciones de expertos japoneses (CONAGUA, 2009).

La CONAGUA realiza la medición sistemática de la calidad del líquido con el fin de evaluar las características o grado de contaminación del agua, por lo que han desarrollado diversos índices de calidad tanto generales como de uso específico (SEMARNAT, 2005). Para 2004, la RNM contaba con 964 sitios, de los cuales 379 corresponden a la red primaria, con 210 ubicados en cuerpos de agua superficiales. En la red secundaria se tenía 283 estaciones, de las cuales 232 estaban localizadas en aguas superficiales. Ahora, en la región golfo centro se tienen 55 sitios de monitoreo para agua superficial.

En el 2005 inició en México, en el centro del estado de Veracruz, el establecimiento del programa de Global Water Watch (GWW). Éste inicia partiendo del interés de múltiples actores respecto a la calidad del agua y la crisis por su abasto, principalmente en relación con la cuenca alta y las ciudades, la erosión por deforestación, importancia, relación y funciones del BMM en la captación de agua, con el financiamiento de Health and Food Foundation, involucrando el trabajo de investigación de la Universidad Estatal de Iowa, el Instituto de Ecología, A.C. y SENDAS A.C. Uno de los proyectos incluyó la capacitación de habitantes de las comunidades para monitorear los parámetros físicos, químicos y biológicos de los ríos, y sentar las bases para el mejoramiento, gestión y conservación de éstos (GWW-Ver, 2008).

Desde el mismo año, SENDAS A.C., en conjunto con el Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM (IIS-UNAM), ha desarrollado en la región centro del estado de Veracruz el proyecto “Gestión compartida de la cuenca del río Pixquiac”, el cual propone impulsar la conservación y restauración de la cuenca y la obtención de mejores condiciones de vida, con el diseño y operación piloto de un esquema local de compensación por servicios ambientales a nivel regional. También realiza estudios técnicos que permiten efectuar un diagnóstico de las condiciones físico-biológicas y socioeconómicas de la cuenca enfocados hacia un futuro ordenamiento ecológico (SENDAS, 2008).

Ello denota la relevancia de monitorear esta zona tanto como la creación de la Red de Monitoreo Comunitario, de la calidad del agua de la cuenca del río Pixquiac, que opera desde diciembre de 2005, estableciendo tres sitios de monitoreo en la congregación de Zoncuantla, Coatepec, Veracruz, (GWW-Ver., 2008). Los datos obtenidos pueden ser aprovechados desde entonces por la comunidad para iniciar o fortalecer programas de educación ambiental, procesos de conservación, protección, restauración y gestión integral de la cuenca.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cuenca del río Pixquiac es una de las principales fuentes de abastecimiento de agua para la ciudad de Xalapa, con un gasto concesionado de 760 litros por segundo (LPS). El abasto se da a partir de cuatro presas: Alto Pixquiac, Medio Pixquiac, Xocoyolapan y Cinco Palos (CMAS, 2008).

Los muestreos efectuados por la CONAGUA no se realizan de forma constante. En la cuenca de la Antigua no se monitorea la región del Pixquiac, por lo tanto no se tiene datos del comportamiento del río y tampoco es posible determinar si existen descargas clandestinas, ya que los puntos de monitoreo están ubicados en sitios muy alejados de esta zona, dificultando apreciar el deterioro de la calidad del agua al ingresar a la mancha urbana.

Por la demanda del vital líquido en esta cuenca, debe tomarse las medidas requeridas para la supervisión del estado físico-químico y bacteriológico del agua, al menos en los parámetros más básicos (temperatura, pH, alcalinidad, dureza, turbiedad y oxígeno disuelto); determinar si es apta para consumo y contacto humano, es decir, si se encuentra dentro de la normatividad para someterse a potabilización y uso recreativo; así como generar conocimiento, investigación, procesos de educación, conservación, protección y restauración que involucre tanto a habitantes de la congregación, como de la ciudad que también dependen del agua de este río.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Diagnosticar la calidad del agua en el río Pixquiac, en la congregación de Zoncuantla, Municipio de Coatepec, Ver.

1.3.2 Objetivos particulares

- Analizar los datos históricos aportados por la Red de Monitoreo Comunitario de calidad del agua del río Pixquiac (SENDAS A.C., GWW-Ver y asociación de vecinos del Pixquiac, Zoncuantla).
- Monitorear la calidad del agua del río Pixquiac en la congregación de Zoncuantla, en tres sitios estratégicos, utilizando técnicas valorativas de GWW así como las Normas Oficiales Mexicanas (NMX) para comparar los datos obtenidos con ambos métodos.
- Evaluar el estado actual del río Pixquiac respecto a la legislación pertinente en materia ambiental, antes, durante y después de recibir el impacto de la actividad humana en su paso por dicha congregación.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El principal interés de este proyecto es diagnosticar la calidad del agua en el río Pixquiac, durante su recorrido por la congregación de Zoncuantla, en Coatepec, determinando un sitio de monitoreo antes de la zona habitada, uno intermedio y uno posterior. Se recurrió a dos técnicas distintas: 1) la de GWW, utilizada por su Red de Monitoreo Comunitario y 2) los métodos analíticos utilizados en el Laboratorio de Calidad del Agua, Golfo Centro de la CONAGUA, acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) con base en las NMX.

Lo anterior permitirá contrastar los datos obtenidos teniendo en cuenta el grado de incertidumbre y el intervalo de confianza que pudiera existir, generando una línea base para los monitores voluntarios que participan activamente supervisando el comportamiento y salud del cuerpo de agua que se encuentra en su comunidad.

Con los datos generados a lo largo de cinco años por el grupo de monitoreo Amigos del Pixquiac Zoncuantla, se realizó un análisis comparativo de los parámetros definidos como de primera alerta (temperatura, pH, alcalinidad, dureza, turbiedad, oxígeno disuelto y bacteriológico). Tras el análisis de dichos parámetros se pudo observar, conocer y entender las tendencias en el comportamiento del río a corto, mediano y largo plazo, así como tener una visión más clara de los cambios provocados por la actividad humana.

Los resultados arrojados pueden aprovecharse para impulsar o fortalecer programas de educación, conservación, restauración y gestión integral de la cuenca.

2 EL AGUA

El agua, como elemento primordial del planeta, cuerpo humano y organismos vivos en general, es un recurso finito, vulnerable y fundamental para sostener la vida, el medio ambiente y los ciclos biogeoquímicos necesarios en las interacciones energéticas de todos los seres. Ningún ser vivo puede prescindir del agua, recurso que hoy en día empieza a ser insuficiente tomando en cuenta la demanda de las poblaciones que desvían ríos, secan lagos, extraen sin control el agua del subsuelo, la desperdician y la contaminan, dañándose a sí mismos y a sus ecosistemas (CMAS-Xalapa, 2008).

2.1 CICLO DEL AGUA

El agua que se usa de manera cotidiana es la misma que ha existido durante millones de años, incluso antes de la aparición de los dinosaurios. Ésta se mantiene en circulación en sus tres estados: sólido, líquido y gaseoso, limpiándose y renovándose constantemente por la interacción con el sol, el aire y el suelo. A esta circulación constante del agua en el planeta se denomina ciclo hidrológico (García, 2010).

El ciclo hidrológico es el movimiento universal del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea (Sánchez, 2001). El agua tiene una constante interacción con el ecosistema debido a que los seres vivos dependen de ella para subsistir y, a su vez, cooperan con el funcionamiento del mismo. El ciclo depende en cierta medida de una atmósfera poco contaminada, así como de cierto grado de pureza del agua para su desarrollo convencional de; otra manera, podría afectarse por el cambio en los tiempos de evaporación, condensación y otras propiedades químicas específicas del agua.

En la figura 1 se observa el flujo de los procesos del ciclo hidrológico.



Figura 1. Ciclo hidrológico (educasitios.educ.ar, 2010)

Los principales procesos implicados en el ciclo del agua son:

2.1.1 Evaporación: Es el proceso por el que el agua se convierte en vapor en la atmósfera; se refiere al mayor aporte de humedad de la superficie oceánica y terrestre. El vapor sube debido al calor de la radiación solar. Las plantas y animales también expulsan agua en el proceso de respiración (CMAS-Xalapa, 2008).

2.1.2 Condensación: Al elevarse, el vapor se enfría y se condensa formando nubes compuestas de millones de gotas de agua. Al condensarse una cantidad mayor, las gotas se funden volviéndose más pesadas, dando lugar a la precipitación (García, s/a).

2.1.3 Precipitación: Las gotas de agua que formaban la nube caen por un descenso en su temperatura, lo cual determina su estado pudiendo ser sólido como nieve o granizo y líquido como lluvia, precipitándose hacia la superficie terrestre para formar corrientes o almacenarse en lagos, estanques, ríos, océano, etc. (García, s/a).

2.1.4 Infiltración: Es el agua que llega al subsuelo a través del terreno. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en superficie (escorrentía) depende de la permeabilidad del sustrato, de la pendiente y de la cobertura vegetal (CMAS-Xalapa, 2008).

2.1.5 Escorrentía: Se describe como los escurrimientos superficiales y flujos subterráneos, por medio de éstos, gran parte del agua regresa al océano y puede clasificarse en:

- **Escorrentía superficial:** El agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente (Sánchez, 2001).
- **Escorrentía subterránea:** Más lenta que la superficial, permite que los ríos continúen con caudal mucho tiempo después de las últimas precipitaciones (Sánchez, 2001).
- **Escorrentía directa:** Llega a los cauces superficiales en un periodo de tiempo corto tras la precipitación (Sánchez, 2001).
- **Escorrentía básica:** Es la que alimenta los cauces superficiales en los estiajes, durante los periodos sin precipitación (Sánchez, 2001).

2.2 EFECTOS HUMANOS EN EL CICLO DEL AGUA

Muchos de los problemas ambientales que enfrentamos proceden de los efectos directos e indirectos que ejerce el hombre sobre el ciclo hidrológico:

- **Modificación de la superficie terrestre:** En los ecosistemas naturales hay relativamente poco escurrimiento pluvial y es la vegetación la que detiene la lluvia; el agua se infiltra en el suelo poroso y recarga las capas freáticas. Al talar los bosques o explotar los campos en exceso, el ciclo normal del agua cambia, de infiltración y recarga de las aguas freáticas a escurrimientos pluviales, provocando que el agua de lluvia corra a los ríos y arroyos casi de inmediato. La acumulación repentina de agua en las corrientes fluviales no sólo es propensa a causar inundaciones, sino que trae toda clase de sedimentos y otros contaminantes de las superficies erosionadas. (La Fuente, 2010).
- **Contaminación del ciclo del agua:** El ciclo comprende toda la biósfera, por lo que los desechos que se introducen como humos y vapores descargados en el aire vuelven como lluvia contaminada. Los agentes químicos aplicados al suelo se lixivian y llegan a la aguas freáticas o escurren a las corrientes fluviales, lo mismo ocurre con aceites y grasas que se depositan o riegan en el suelo: cualquier desecho que se coloque en el

suelo puede lixiviarse hasta las capas freáticas contaminando el agua almacenada en ellas. (La Fuente, 2010).

2.3 CONCEPTO DE CUENCA

Unidad natural definida como el área total de tierra que drena agua, sedimentos y materiales disueltos hacia un lugar común. Las cuencas hidrográficas son unidades morfográficas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal también conocido como parteaguas que, teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que definen las subcuencas se conocen como parteaguas secundarios (educasitios.educ.ar, 1998).

2.3.1 Función hidrológica

Captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos; almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración y descarga del agua como escurrimiento (educasitios.educ.ar, 1998).

2.3.2 Función ecológica

Hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua. Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de la cual se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua (educasitios.educ.ar, 1998).

2.3.3 Función Ambiental

Ayuda a conservar la biodiversidad, captura CO₂, mantiene la integridad y la diversidad de los suelos, bancos de germoplasma, regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos (educasitios.educ.ar, 1998).

2.4 CALIDAD DEL AGUA

Para definir la calidad del agua primero debe definirse el uso que tendrá, ya que es subjetivo y variable según las características de la actividad, necesidades del usuario o las normas que el agua debería cumplir, pudiendo así ubicar un criterio, estándar o límite que mencione los parámetros a medir para examinar la calidad de un cuerpo de agua, según se requiera analizar sus características físico-químicas y biológicas.

Agua para uso y consumo humano: Agua que no contiene propiedades objetables o contaminantes en concentraciones superiores a los límites máximos permisibles, que puedan causar efectos nocivos a la salud. También se denomina como agua potable (NOM-127-SSA1-1994).

La calidad del agua y la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua son una información fundamental para la evaluación de los impactos ambientales, dada la gran vulnerabilidad de este recurso a la modificación de sus características físicas, químicas y biológicas (Sandia, 2004). El agua superficial en ríos es determinada por la interacción entre suelo, rocas, agua subterránea y atmósfera; puede afectarse significativamente por las actividades agrícolas, industriales, extracción minera, urbanas y otras actividades antropogénicas (Edmunds *et al.*, 2004).

2.5 PARÁMETROS BÁSICOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL

A continuación se describe brevemente la importancia relativa de cada uno de los parámetros.

2.5.1 Temperatura

La temperatura del agua puede presentar fluctuaciones cíclicas estacionales o incluso en periodos de 24 horas. La importancia de medir este parámetro recae en la relación que guarda con las reacciones químicas, propiedades físicas y reacciones biológicas que tienen lugar en el cuerpo de agua. Se debe señalar que la temperatura es influenciada también por la altitud,

latitud, temporada, hora del día, corrientes de aire, nubosidad, etc. Al subir la temperatura los procesos químicos generalmente decrecen por la evaporación que volatiliza tanto el agua como las otras sustancias disueltas. La temperatura elevada en el agua es indicador de actividad biológica, química y física, al aumentar la temperatura sufre mayor evaporación y el oxígeno disuelto en el agua disminuye. Lo anterior influye en los tratamientos y evaluación de un cuerpo de agua, por lo que se mide como un indicador de presencia de compuestos contaminantes disueltos. Las bacterias también tienen una reproducción más eficiente al elevarse la temperatura en los cuerpos de agua, debido a ello el valor de temperatura es un criterio de calidad del agua para la protección de la vida acuática, fuentes de abastecimiento de agua potable y parámetros establecidos como límite máximo permitido para descargas de aguas residuales (NMX-AA-007-SCFI-2000).

2.5.2 Potencial de hidrógeno (pH)

Este parámetro puede variar con las estaciones del año e incluso durante lapsos más cortos en el día. Usado para determinar la acidez o basicidad de una solución, el pH óptimo de las aguas superficiales debe estar entre 6.5 y 8.5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina. Las aguas de pH menor de 6.5 son corrosivas debido al anhídrido carbónico, ácidos o sales ácidas que tienen en disolución. El descenso de pH puede ser un indicador de lluvias ácidas, de escorrentía de suelos ácidos o contaminación por desechos ambientales. Cuando presenta valores mayores a 10 o menores a 4 son considerados letales para los peces y otros organismos (William, 2009).

2.5.3 Oxígeno disuelto

La presencia de oxígeno en el agua es indispensable para la vida acuática y depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión. La presencia de materia orgánica requiere de agentes microbianos que la degraden. Estos microorganismos usan el oxígeno para su respiración, por lo tanto a mayor cantidad de materia orgánica mayor es el número de microorganismos que elevan el consumo de oxígeno. La falta de oxígeno causa la muerte de peces y otros animales acuáticos. Por ello es importante que no se consuma totalmente por las sustancias orgánicas descargadas a un río. El análisis de

oxígeno disuelto es una prueba clave en la determinación de la contaminación del agua (NMX-AA-012-SCFI-2001).

2.5.4 Alcalinidad

Este parámetro indica la capacidad amortiguadora del agua, ya que la presencia de alcalinidad proporciona una barrera ante cambios súbitos de pH, estabilizando el ambiente y manteniéndolo aceptable para la vida acuática, impidiendo la acidificación del cuerpo de agua al recibir sustancias ácidas o básicas. Es una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos con la presencia de iones: bicarbonato, carbonato e hidroxilo (OH⁻). Se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua que como producto de hidrólisis generan el ión hidroxilo (como son las bases fuertes, los hidróxidos de los metales alcalinotérreos). También contribuyen a la alcalinidad, en forma importante, los carbonatos y fosfatos. La presencia de boratos y silicatos es otro factor que aumenta la alcalinidad del medio (NMX-AA-036-SCFI-2001).

2.5.5 Turbiedad

La turbiedad es un parámetro relacionado con el grado de transparencia y limpieza del agua que, a su vez, depende de la cantidad de sólidos en suspensión del agua que pueden resultar de una posible actividad biológica o, simplemente, una presencia de componentes no deseables como arcilla, plancton y diversos microorganismos. La transparencia del agua es muy importante cuando se destina al consumo humano, a la elaboración de productos y a procesos de manufactura que requieren agua con características específicas. La determinación de la turbiedad forma parte del control de procesos para conocer las características del agua y definir cómo debe ser tratada. Se mide la absorción que sufre un haz de luz al atravesar un determinado volumen de agua y la partícula de referencia es la formacina tomando un estándar valorado en 4000 FNU (formazine nephelometric unit), este parámetro puede medirse en diversas unidades ya que entre ellas existe la siguiente relación: 1FNU= 1 NTU = 1JTU = 1FTU (Rodier, 1984).

2.5.6 Dureza

La dureza representa una medida de la cantidad de metales alcalinotérreos en el agua, fundamentalmente calcio (Ca) y magnesio (Mg) provenientes de la disolución de rocas y minerales que es mayor cuanto más elevada sea la acidez del agua. Es una medida, por tanto, del estado de mineralización del agua. Se suele expresar como mg/l de CaCO₃ y se entiende como la capacidad del agua para precipitar el jabón. Es responsable de las incrustaciones en recipientes y tuberías, generando fallas y deficiencias en diferentes procesos industriales. El término “dureza” se aplicó por la dificultad al lavar en agua con alto contenido de calcio y magnesio disuelto refiriéndose al mayor consumo de jabón y relacionándose con los valores de alcalinidad (NMX-AA-072-SCFI-2001).

2.5.7 Coliformes como indicadores de calidad del agua

Se sabe que los microorganismos patógenos que llegan a los depósitos de agua proceden de las descargas intestinales de hombres y animales, además de ciertas especies de bacterias, particularmente *Escherichia coli* y otros microorganismos similares denominados coliformes fecales, que son habitantes normales del intestino grueso del hombre y animales, estando presentes en la materia fecal. Así pues, la presencia de cualquiera de estas especies en el agua es evidencia de la contaminación fecal (www.azc.uam.mx, s/a). Para efectos del análisis sanitario del agua, el organismo más utilizado como indicador fecal es E. coli, ya que indica una contaminación fecal reciente, continua o descarga directa sobre el cuerpo de agua analizado.

2.6 NORMATIVIDAD APLICABLE

2.6.1 Ley de Aguas Nacionales (LAN)

Tiene como finalidad regular el uso, aprovechamiento o explotación de dichas aguas así como su distribución, uso y la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. También tiene como mandato apoyar y acreditar la participación y organización de los usuarios para mejorar la gestión del agua.

La LAN en su título tercero, capítulo único, sección primera, artículo 14 bis 5 , fracciones I, X y XI establece que: “el agua es un bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico y ambiental, y que la responsabilidad de su preservación en cantidad, calidad y sustentabilidad es tarea fundamental del estado y la sociedad, así como prioridad y asunto de seguridad nacional; por tanto debe evitarse el aprovechamiento no sustentable y los efectos ecológicos adversos”. Señala que: “la gestión integrada de los recursos hídricos debe realizarse por cuenca hidrológica, se apoya en el uso múltiple y sustentable de las aguas y la interrelación que existe entre los recursos hídricos con el aire, el suelo, flora, fauna, otros recursos naturales, la biodiversidad y los ecosistemas que son vitales para el agua”. Y reconoce que: “el agua proporciona servicios ambientales que deben reconocerse, cuantificarse y pagarse, en términos de ley” (DOF, 2008).

2.6.2 Modificación a la NOM-127-SSA1-1994 de 2000

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, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua (DOF, 2000).

2.6.3 Criterios Ecológicos de la calidad del agua

Los Criterios Ecológicos son recomendaciones establecidas en el país desde 1989 para poner límites permisibles de acuerdo con los diferentes usos del agua: pecuario, fuente de abastecimiento público, riego y recreación. La comparación del estado real del cuerpo de agua con los Criterios Ecológicos permitirá a los usuarios identificar las necesidades de establecer programas coordinados con las autoridades competentes, de prevención y control de la contaminación del agua. Esto con el fin de restaurar la calidad de aquellos cuerpos de agua que muestren signos de deterioro; o bien, proteger aquellos que actualmente muestran mejores condiciones que las establecidas en los propios criterios. Asimismo, será posible identificar los casos en que deberán fijarse condiciones particulares a las descargas de aguas residuales (SEDUE, 1989).

2.6.4 Organización Mundial de la Salud (OMS)

Existen diversos tipos de agentes patógenos que pueden transmitirse por el agua de consumo contaminada. La gama de agentes patógenos cambia en función de factores variables como el aumento de las poblaciones de personas y animales, el incremento del uso de aguas residuales, los cambios de hábitos en la población, migraciones y viajes de la población que favorecen la aparición de agentes patógenos nuevos o mutantes, o de recombinación con los agentes patógenos existentes. La transmisión de estos agentes por el agua de consumo es uno de los vehículos de transmisión por vía fecal-oral, sobre todo cuando el saneamiento e higiene domésticos son deficientes. Para reducir la transmisión de estas enfermedades es importante mejorar la calidad del agua y su disponibilidad, así como los sistemas de eliminación de excrementos y la higiene general (OMS, 2008).

2.6.5 Environmental Protection Agency (EPA)

En el Reglamento Nacional Primario de Agua Potable (estándar primario o NPDWR, por sus siglas en inglés) se encuentran los estándares legales aplicables a los sistemas públicos de agua. Los estándares primarios protegen la calidad del agua potable mediante la limitación de los niveles de contaminantes específicos que puedan afectar la salud pública y que, se sabe, existen o puedan existir en el agua. Dichos estándares están relacionadas con los Niveles Máximos de Contaminantes o con las Técnicas de Tratamiento (EPA, 2005).

En la tabla 1 se muestra los límites mínimos y máximos aplicados en la normatividad mexicana e internacional en materia de calidad del agua (valores aceptables para los parámetros que se analizó en el presente trabajo).

Tabla 1.- Comparación de límites mínimos y máximos establecidos para calidad del agua.

Normas Parámetros	Modificación a la NOM-127-SSA1- 1994 (México)	US-EPA (EU)	Organización Mundial de la Salud, 1993 (OMS)	Criterios Ecológicos 1989 (SEDUE)
TEMPERATURA	-	-	-	Condiciones normales + 2.5
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	
OXÍGENO DISUELTO	-	-	Menos del 75% de la concentración de saturación	4.0 límite mínimo 5.0 para protección a de la vida acuática.
ALCALINIDAD TOTAL	-	-	-	La alcalinidad de un cuerpo de agua no deberá ser reducida en más de 25% cuando esta sea menor o igual a 20 mg/l.
TURBIEDAD	5 UTN	5 UTN	Menos de 5 UTN	
DUREZA TOTAL	500.00 mg/l	500.00 mg/l		5.0 -300 mg/l para acuacultura
COLIFORMES TOTALES	AUSENCIA NO DETECTABLES	AUSENCIA NO DETECTABLES	AUSENCIA NO DETECTABLES	-
COLIFORMES FECALES	AUSENCIA NO DETECTABLES	AUSENCIA NO DETECTABLES	AUSENCIA NO DETECTABLES EN 100 ml.	1000.0 (NMP/100 ml) para fuente de abastecimiento. 200 NMP/100 ml para uso recreativo.

2.7 PRUEBAS DE HIPÓTESIS

Una hipótesis estadística es una afirmación acerca de los parámetros de una población que debe verificarse con una prueba. La hipótesis que se desea probar comúnmente se llama hipótesis nula (H_0); lo no contenido en la hipótesis se localizará en la hipótesis alternativa (H_1).

Se llama error de tipo I cuando: la H_0 es rechazada siendo verdadera, y error de tipo II cuando: la H_0 , no es rechazada cuando es falsa. La probabilidad de cometer estos errores se denominan alfa (α) y beta (β).

$$\alpha = P(\text{error tipo I}) = P(\text{rechazar } H_0/H_0 \text{ es verdadera})$$

$$\beta = P(\text{error tipo II}) = P(\text{no rechazar } H_0/H_0 \text{ es falsa})$$

Boza (2002) explica que “las pruebas de hipótesis más comunes prueban, MEDIAS (con varianza conocida o desconocida) y también prueban VARIANZAS (contra un valor dado o relación de varianzas de dos poblaciones que se están comparando)”.

Para la prueba de hipótesis de MEDIAS con varianza desconocida se utiliza el estadístico t_0 , y se compara contra los valores de la distribución del estudiante (The Student).

En una prueba de hipótesis, el valor de error tipo I se fija para decidir si se rechaza o no se rechaza, llamado nivel de significación de la prueba (α). El valor del error tipo II que podría cometerse en la decisión es (β).

La decisión de rechazar se rige por el planteamiento que se haya colocado en la H_1 ya rechazada la H_0 ; si no es posible rechazar se puede considerar que el planteamiento de la H_0 se está cumpliendo.

Las pruebas con varianza desconocida se utilizan al comparar dos poblaciones (1 y 2), pudiendo considerar una “varianza combinada” en el estadístico (t), sólo si podemos suponer que son iguales las varianzas poblacionales.

En la tabla 2 se muestra las fórmulas utilizadas para aplicar las pruebas de hipótesis de medias con varianza desconocida (Boza, 2002).

Tabla 2. Pruebas de hipótesis de medias con varianza desconocida y varianza combinada (Boza, 2002)

HIPÓTESIS	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CRITERIO P/RECHAZO
$H_0: \mu = \mu_0$ $H_1: \mu < > \mu_0$	$v = n - 1$	$ t_0 > t_{\alpha/2, v}$
$H_0: \mu = \mu_0$ $H_1: \mu < \mu_0$	$t_0 = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s / \sqrt{n}}$	$t_0 < -t_{\alpha, v}$
$H_0: \mu = \mu_0$ $H_1: \mu > \mu_0$		$t_0 > t_{\alpha, v}$
$v = n_1 + n_2 - 2$ para $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$		
$H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_1: \mu_1 < > \mu_2$	$t_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$	$ t_0 > t_{\alpha/2, v}$
$H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_1: \mu_1 < \mu_2$		$t_0 < -t_{\alpha, v}$
$H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_1: \mu_1 > \mu_2$	o bien para $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$	$t_0 > t_{\alpha, v}$
$v = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{(s_1^2/n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(s_2^2/n_2)^2}{n_2 - 1}}$		
$t_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$		

La varianza combinada se obtiene de la siguiente forma:

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

3 METODOLOGÍA

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Pixquiac forma parte de la gran cuenca del río La Antigua, cuya área es de 2 827 km². Nace en la Sierra Madre Oriental a 3 850 msnm de altitud sobre el estado de Puebla, y en su escurrimiento a través del estado de Veracruz, hasta llegar al Golfo de México, recibe varios afluentes entre los que se ubica el río Pixquiac. (portal.veracruz.gob.mx, 2010). En la figura 2 se observa la delimitación de la cuenca donde se encuentran señalados los seis afluentes que la componen.

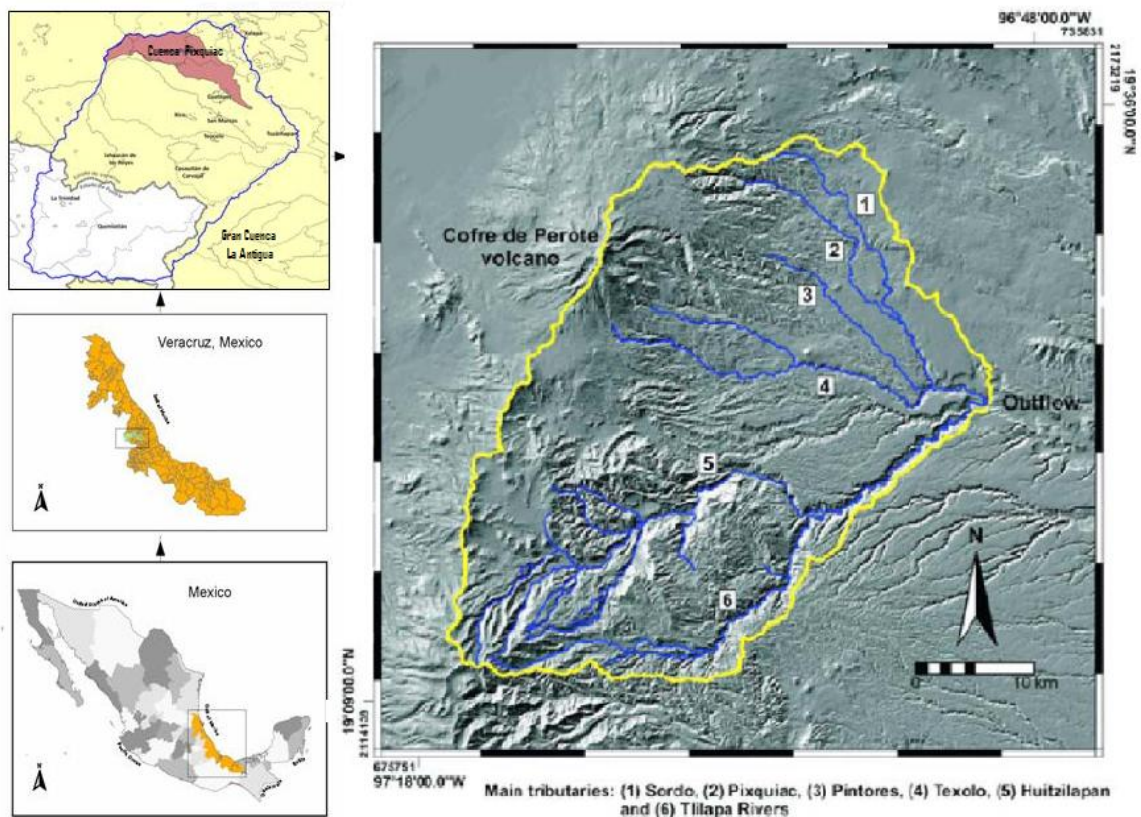


Figura 2. Ubicación de la cuenca Alta del río La Antigua, donde el río Pixquiac corresponde al número 2. (Muñoz-Villers y López Blanco, 2008)

La cuenca del río Pixquiac tiene una superficie 10,727 hectáreas y una longitud de 30.27 km. Se ubica en la ladera de barlovento del Cofre de Perote, expuesta a vientos cargados de

humedad provenientes del Golfo de México. La variación altitudinal va desde los 1,040 msnm hasta los 3,740 msnm. (García, *et al.*, 2008). Mantiene una relación directa con los municipios de Perote, Las Vigas, Acajete, Tlalnahuayocan y Coatepec (GWW-VER, 2008).

Los ríos principales que componen esta cuenca son: Granada, Pixquiac, Agüita Fría, Xocoyolapan, Tixtla, Ojo de Agua, Atopa y Las Lajas, con una población de 7,150 habitantes en 63 localidades, de las cuales 31 presentan un alto grado de marginación y 13 son zonas urbanas (SENDAS A.C., IIS-UNAM, 2008). En el mapa que se muestra a continuación (fig. 3) se delimita tanto el estado de Veracruz como la cuenca del río Pixquiac, sus colindancias y ubicación de los municipios que la rodean.

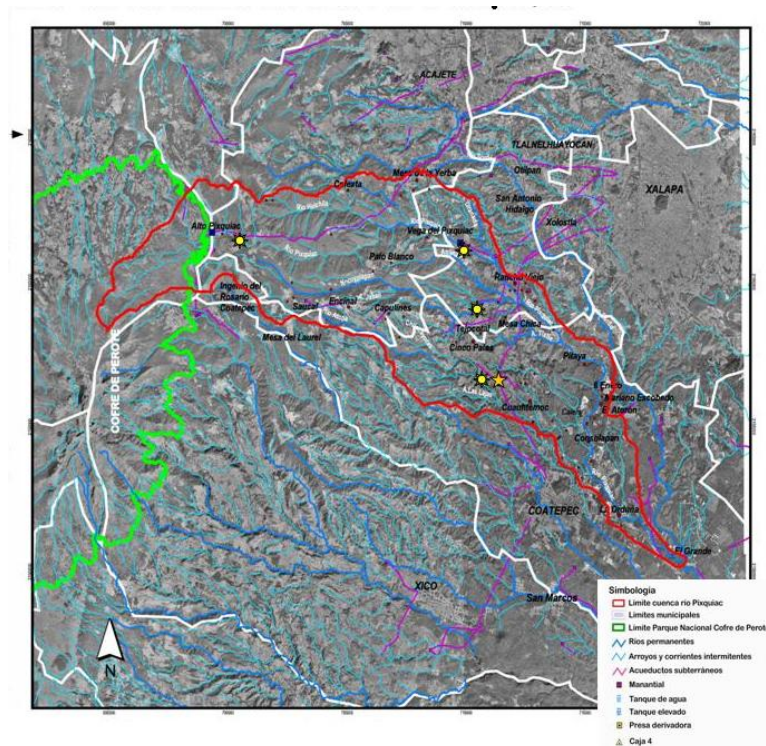


Figura 3. Cuenca río Pixquiacoc: localización de municipios y delimitación de la cuenca (García *et al.*, 2008)

El clima de la zona estudiada es semicálido templado con un promedio de 18 a 20° C, con un promedio anual de precipitación entre 1500 y 1800 mm (CONABIO, 2000).

La clasificación del suelo de esta región consta de: Fluvisol Umbrico, Leptosol Lítico, Acrisol Háplico y Andosol Umbrico (Geissert *et al.*, 2007). En cuanto a vegetación, mantiene una cubierta de Cafetal de Sombra, Bosque Mixto Pino-Encino, Bosque Mesófilo de Montaña y Pastizal escaso con un aprovechamiento de suelo para agricultura muy focalizado y asentamientos urbanos en la zona baja del río Pixquiac (Geréz *et al.*, 2008). La importancia biológica de la cuenca se debe a que alberga especies amenazadas, endémicas, en peligro de extinción o sujetas a protección especial, incluso más que las selvas altas perennifolias (según la NOM-059-ECOL-1994). El BMM es el hábitat para 415 especies mencionadas en la NOM-059-ECOL-1994, de ellas 103 son plantas con flores y 131 especies de anfibios y reptiles (www.lajornada.com, 2008).

La cuenca del río Pixquiac se divide en tres partes o sub-cuencas: alto, medio y bajo Pixquiac. En la figura 4 se muestra las tres divisiones de la cuenca (el presente trabajo fue realizado en la zona baja de la cuenca).



Figura 4. Clasificación de la cuenca del río Pixquiac y ubicación de los sitios de monitoreo (García *et al.*, 2008)

3.2 SELECCIÓN DE SITIOS

Se eligió tres puntos para realizar monitoreo fijo desde diciembre de 2005, cuando comenzó formalmente el monitoreo comunitario en la cuenca del río Pixquiac. De estos sitios se cuenta con datos ininterrumpidos de los parámetros de la calidad del agua y son la base para el diagnóstico del estado del río en cuanto a calidad físico química y bacteriológica.

En el siguiente mapa (figura 5) se muestra los tres puntos de monitoreo que se encuentran antes, durante y después de la congregación Zoncuantla



Figura 5. Puntos de análisis de la calidad del agua del río Pixquiac: 1.- Las Monjas 2.- Seis de Enero 3.- Mariano Escobedo (INEGI, 2010)

Para la elección de los sitios se tomó en cuenta los siguientes criterios :

- La accesibilidad, de gran importancia para la preservación de la muestra para laboratorio.
- La ubicación, definida estratégicamente para valorar el cuerpo de agua antes, durante y después de tener contacto con la zona urbanizada.

3.2.1 Vado Las Monjas : Ubicado a 19° 30'23.17" norte, 96°57' 38.97" oeste, con una elevación de 1,362 msnm, zona suburbana, se encuentran algunas construcciones a la orilla del río, frente a un área limitada de bosque y junto a un potrero.



Figura 6. Puente ubicado en el vado Las Monjas (Cortés, 2010).

3.2.2 Seis de Enero: Ubicado a $19^{\circ}29'56.98''$ norte, $96^{\circ}56'47.8''$ oeste, con una elevación de 1,287 msnm, el río atraviesa la comunidad de Zoncuantla, una zona semiurbana donde los habitantes utilizan el río para lavar. Allí se observa animales de granja a las orillas del cuerpo de agua y vegetación densa en la zona riparia.



Figura 7. Puente ubicado en el sitio denominado Seis de Enero (Cortés, 2010).

3.2.3 Mariano Escobedo: Ubicado a 19°29'40.06" norte, 96°56'39.40" oeste, con una elevación de 1,276 msnm, en zona arbolada rodeada de potreros, se ubica a la salida de la zona habitada según el cauce del río.



Figura 8. Sitio 3 Mariano Escobedo (Cortés, 2010).

3.3 MUESTREO Y MÉTODOS

Se realizó un monitoreo físico-químico y bacteriológico utilizando las normas técnicas NMX, metodología de CONAGUA (laboratorio) y la metodología de la Red de Monitoreo Comunitario de SENDAS A. C. y GWW (*in situ*).

Se efectuaron 10 muestreos simultáneos para ambos métodos, repartidos a lo largo de cinco semanas con dos muestreos semanales, durante los meses de mayo, junio y julio de 2010.

Para ambas metodologías los parámetros a medir fueron: temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbiedad, alcalinidad, dureza y el bacteriológico.

Posteriormente se analizó los datos históricos proporcionados por la Red de Monitoreo Comunitario “Amigos del Pixquiac” y los resultados obtenidos en el presente trabajo para dar un diagnóstico sobre la calidad del agua en la zona de estudio.

3.3.1 CAPACITACIÓN PARA MUESTREO Y ANÁLISIS

Para este proyecto fue imprescindible la previa asistencia al taller teórico-práctico de Capacitación y Certificación para Monitores Comunitarios, impartido por SENDAS A.C. los días 6 y 7 de abril de 2010 bajo el protocolo de GWW. El resultado fue una óptima capacitación en la toma de muestras y en la generación de datos confiables con el equipo Kit La Motte (para el análisis físico químico), y Easygel coliscan (para el bacteriológico).

3.3.2 GLOBAL WATER WATCH

En esta técnica, los parámetros tomados con el kit aplican un método simplificado para valorar la calidad del agua tomando el resultado, según el tamaño de la muestra, los colorantes e indicadores agregados a un volumen conocido y constante para asignar un valor, según las unidades en las que se expresa cada parámetro, previamente estimado y calibrado.

Tabla 3. Parámetros medidos por GWW y breve descripción del método (Deutch, 2009).

PARÁMETRO	MÉTODO
OXÍGENO DISUELTO	Preservación de la muestra agregando un volumen conocido previamente calculado de sulfato manganoso, yoduro alcalino de potasio y ácido sulfúrico para fijar, solución de almidón como indicador necesario para el tamaño de la muestra. Posteriormente se titula con tiosulfato al 0.025N en solución.
ALCALINIDAD	Titulación: se agrega una pastilla colorante y se adiciona, gota a gota, un reactivo hasta provocar el vire de la muestra (al llegar al punto de equilibrio) de color turquesa a rosa.
TURBIEDAD	Según la infiltración del haz de luz en una columna de volumen previamente calculado comparado con un estándar de turbiedad.
DUREZA TOTAL	A la muestra se agrega un volumen controlado y calculado de una solución amortiguadora, previa a la pastilla de indicador; se adiciona gota a gota el reactivo titulante para lograr un vire de rosa a azul.
pH	Agregando un volumen estándar de colorante indicador de pH a la muestra de volumen conocido y comparando por colorimetría con una referencia de colores dada.
TEMPERATURA	Tomada tanto del aire como del agua con termómetro de alcohol (La Motte).
COLIFORMES	Utiliza medio de cultivo Easygel coliscan y cajas petri pretratadas, se toma una muestra a ciertas diluciones con una pipeta estéril, se incorpora en el medio y se vierte a placa para su posterior incubación y lectura.

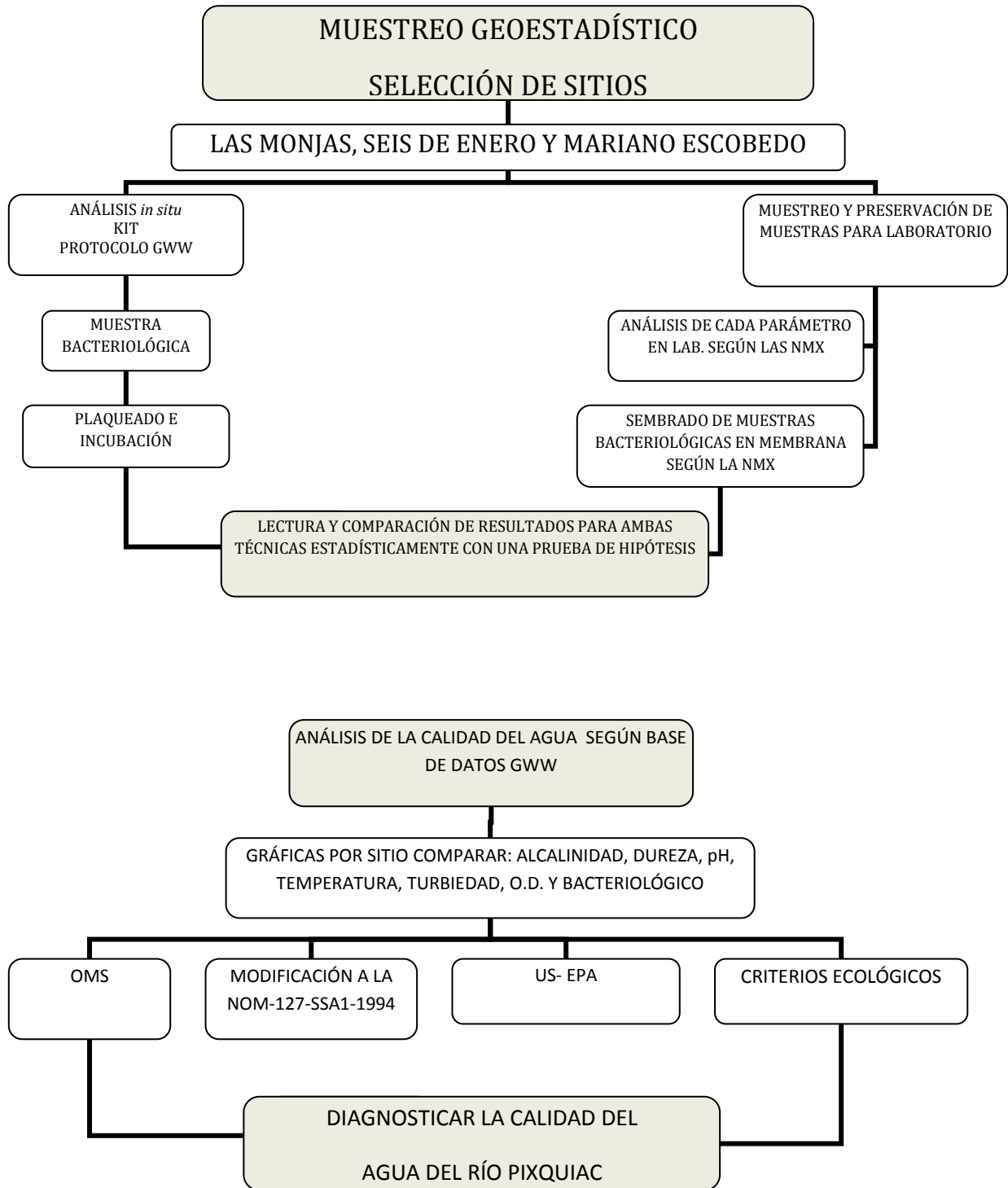
3.3.3 NORMAS TÉCNICAS NMX

Todos los análisis efectuados a las muestras se realizaron bajo la supervisión de los analistas acreditados ante la EMA, encargados de las áreas físico químicos y microbiológicos del Laboratorio de Calidad del Agua Golfo Centro de la CONAGUA, siguiendo las normas específicas existentes para su realización y las buenas prácticas de laboratorio.

Tabla 4.- Parámetros medidos en laboratorio CONAGUA y breve descripción del método según las NMX.

Norma	PARÁMETRO	MÉTODO
NMX-AA-007-SCFI-2000	TEMPERATURA	La medición se efectúa en el lugar de muestreo con un instrumento debidamente calibrado o trazado, basándose en el principio de las propiedades de la materia de dilatarse o contraerse.
NMX-AA-008-SCFI-2000	pH	Se toma <i>in situ</i> con un potenciómetro previamente calibrado con soluciones de valor de pH conocidas.
NMX-AA-012-SCFI-2001	OXÍGENO DISUELTO	Se efectúa el método de la azida de sodio, adicionando soluciones de manganeso divalente y álcali-yoduro azida de sodio a una muestra formando un precipitado que se fija con ácido sulfúrico para su posterior titulación con una solución de normalidad conocida de tiosulfato de sodio.
NMX-AA-036-SCFI-2001	ALCALINIDAD	Método basado en la medición de la alcalinidad por titulación utilizando indicadores (fenolftaleína y naranja de metilo) y una disolución ácida valorante de concentración conocida.
NMX-AA-072-SCFI-2001	DUREZA TOTAL	Valoración con un indicador (negro eriocromo T) previa adición de solución amortiguadora a pH 10, y se adiciona EDTA hasta lograr el vire de rojo a azul.
NMX-AA-038-SCFI-2001	TURBIEDAD	Se mide con un estándar de formacina equivalente a 40 UTN y se basa entre la intensidad de luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas.
NOM-112-SSA1-1994	BACTERIOLÓGICO	Método de filtración de membrana de celulosa que retiene los organismos, colocándolos en un medio de cultivo selectivo para determinar coliformes totales y fecales. Se incuba durante 24 hrs a una temperatura constante de 35°C a 37°C para coliformes y 44°C \pm 1°C para coliformes termo-tolerantes.

3.4 ESQUEMA METODOLÓGICO



4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS HISTÓRICOS

4.1.1 Temperatura del aire

En este gráfico se expone la temperatura registrada para los tres sitios estudiados en cuanto a temperatura del aire. En esta zona de clima templado se observa fluctuaciones cíclicas de descensos de temperatura en los meses invernales en el sitio Las Monjas. El promedio de temperatura es de $18.70732\text{ }^{\circ}\text{C}$ (± 2.436664 ds); su temperatura más baja registrada es de 11°C el 31 de enero de 2010 y la más alta de 24.5°C , el 19 de abril de 2009. En Seis de Enero se presenta un incremento de 1.140°C con un promedio de 19.87805 (± 2.568512 ds) con relación al sitio anterior, teniendo su temperatura más baja registrada de 11.5°C en enero 31 de 2010 y la máxima de 24.5°C en abril 14 de 2007. Desde hace cinco años este lugar presenta temperaturas más elevadas en marzo y mayo, con relación a Las Monjas, lo que eleva su promedio sin que la máxima temperatura registrada sea mayor a la del sitio anterior. Para Mariano Escobedo se registra temperaturas ligeramente más elevadas con un promedio de 20.65854°C (± 2.8203 ds) siguiendo el mismo patrón cíclico estacional de los sitios anteriores de temperaturas elevadas en marzo-mayo, y bajas en diciembre-febrero, siendo su máxima registrada de 28.5°C en abril 14 del año 2007 y coincidiendo con la máxima presentada en el sitio Seis de Enero en la misma fecha. La temperatura más baja registrada para este sitio fue de 16°C el día 07 de diciembre de 2006.

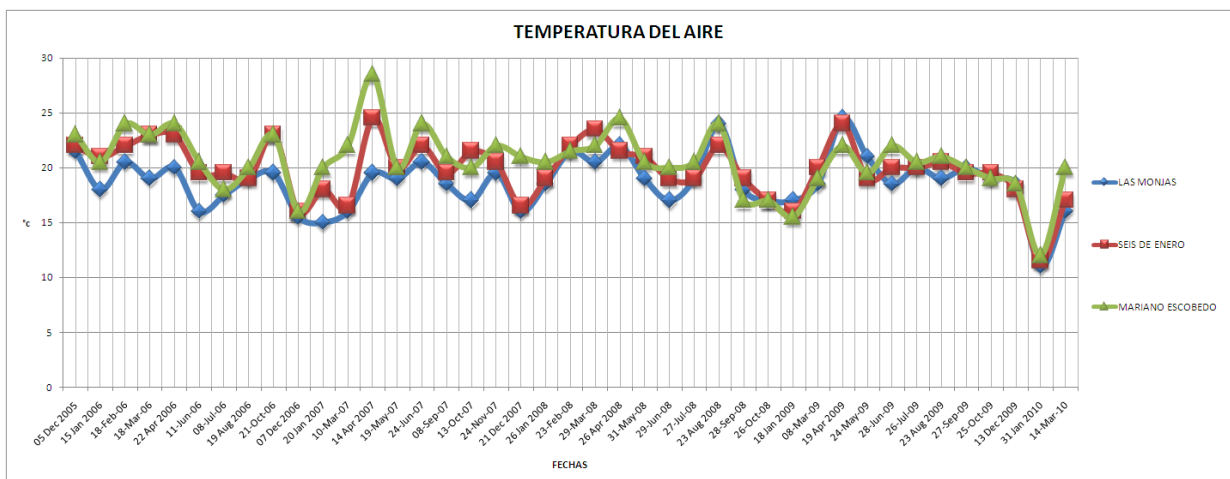


Figura 9. Temperatura del aire de los tres sitios donde se marca en azul Las Monjas, en rojo Seis de Enero y en verde Mariano Escobedo (datos proporcionados por "Amigos del Pixquiac-Zoncuantla" y GWW)

Tabla 5. Promedios, desviación estándar y número de muestras de temperatura del aire para cada sitio

T. AIRE	LAS MONJAS	SEIS DE ENERO	M. ESCOBEDO
PROMEDIO	18.70732	19.87805	20.65854
DESV. STD.	2.436664	2.568512	2.82498
NÚMERO	41	41	41

La temperatura registrada para los tres sitios está dentro del rango marcado para la caracterización de esta zona según la CONABIO en 2008, sin presentar fuertes cambios .

4.1.2 Temperatura del agua

Se puede considerar que en el periodo en que se registraron estas mediciones las diferencias de temperatura quedaron dentro del intervalo normal de variaciones estacionales y no presentaron alteraciones bruscas para provocar afectaciones dentro del cuerpo de agua. El sitio Las Monjas tuvo en general una temperatura más baja, siendo la mínima registrada de 11°C el 21 de octubre del 2006 y la máxima de 19°C el 26 de abril del 2008, con un promedio de 15.2561°C (± 1.65877 ds). Para el sitio Seis de Enero la mínima temperatura registrada fue de 13°C el 21 de diciembre de 2007, y la máxima de 20°C el 26 de abril de 2008, con un promedio de 19.21951°C (± 1.593145 ds). El sitio con temperatura más elevada fue Mariano Escobedo que presentó una mínima de 13°C el 7 de diciembre de 2008 y el 31 de enero de 2010, con una máxima de 22°C el 22 de abril de 2006 y con un promedio de 19.9125°C (± 1.98031 ds). Es notorio el incremento de 1.6564°C entre el sitio Las Monjas y Mariano Escobedo, una diferencia constante durante invierno o verano.

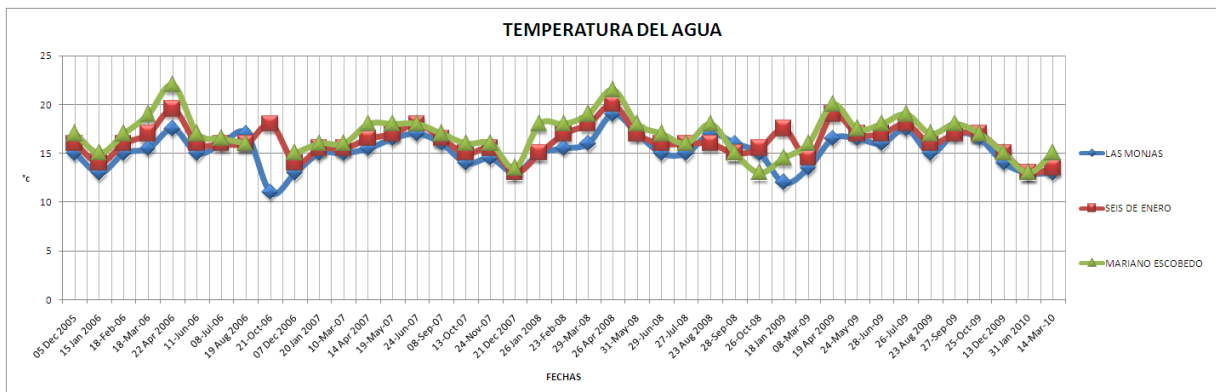


Figura 10. Temperatura del agua de los tres sitios donde se marca en azul Las Monjas, en rojo Seis de Enero y en verde Mariano Escobedo (datos proporcionados por “Amigos del Pixquiac–Zoncuantla” y GWW)

Tabla 6. Promedios, desviación estándar y número de muestras de temperatura del agua para cada sitio.

T. AGUA	LAS MONJAS	SEIS DE ENERO	M. ESCOBEDO
PROMEDIO	15.2561	16.21951	16.9125
DESV. STD.	1.65877	1.593145	1.980312
NÚMERO	41	41	41

Las variantes encontradas tras el muestreo pueden estar relacionadas con la cubierta vegetal de cada sitio, la altitud y la diferencia del área arbolada. Siendo Las Monjas un punto más alto, también pueden deberse a la hora en que se tomaron los registros, las variaciones térmicas de cada lugar y la posible existencia de efluentes contaminantes que ingresan al río elevando su temperatura. Sin embargo, este incremento no sobrepasa lo recomendado por los Criterios Ecológicos de no elevar + de 2.5°C la temperatura normal del agua.

4.1.3 Oxígeno disuelto

En esta zona el flujo del agua es rápido con un fondo de piedra permitiendo más oxigenación. Los tres sitios presentaron buenas condiciones en cuanto a oxígeno disuelto estando por encima del mínimo marcado por los Criterios Ecológicos. Los tres sitios se comportan de forma similar sólo se encontraron dos valores más bajos en el sitio Seis de Enero en las fechas 18 de marzo y 7 de diciembre del año 2006. Esto podría deberse a aportes de materia orgánica tanto natural como de contaminación que hubiera provocado una mayor demanda biológica de oxígeno como una descarga puntual ubicada entre el sitio Las Monjas y Seis de Enero. Estos dos valores son los únicos que se mantienen fuera del comportamiento cíclico del río en general, y no son alarmantes. Otra fuente posible de materia orgánica sería un afluente al río con aporte importante de materia orgánica degradable.

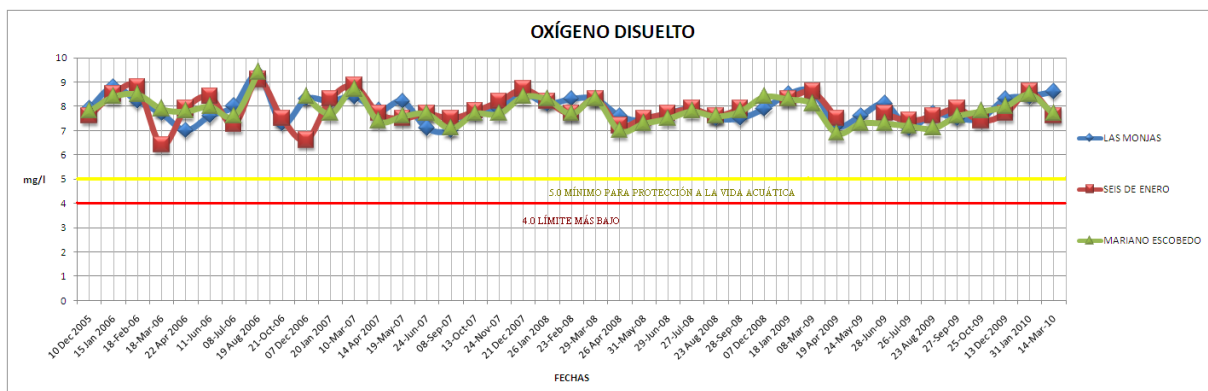


Figura 11. Oxígeno disuelto de los tres sitios donde se marca en azul Las Monjas, en rojo Seis de Enero y en verde Mariano Escobedo (datos proporcionados por “Amigos del Pixquiac–Zoncuantla” y GWW)

Tabla 7. Promedios, desviación estándar y número de muestras de oxígeno disuelto para cada sitio.

O.D.	LAS MONJAS	SEIS DE ENERO	M. ESCOBEDO
PROMEDIO	7.90975	7.86154	7.8325
DESV. STD.	0.52479	0.57919	0.52349
NÚMERO	41	39	40

Puede decirse que la calidad del agua en cuanto a oxígeno disuelto de este río es buena ya que el límite mínimo mencionado por los Criterios Ecológicos es de 4.0 mg/l y el promedio del sitio Las Monjas es de 7.90975 mg/l (± 0.52479 ds). Seis de Enero presenta 7.86154 mg/l de promedio (± 0.57919 ds) y en Mariano Escobedo el promedio de oxígeno disuelto es de 7.8325 mg/l (± 0.52349). El valor mínimo registrado es de 6.4 mg/l en el punto Seis de Enero y el máximo en 9.4 mg/l en el punto Mariano Escobedo (19 de agosto de 2006). Las condiciones del agua para oxígeno disuelto también se encuentran por encima del mínimo recomendado por los Criterios Ecológicos para protección a la vida acuática de 5.0 mg/l.

4.1.4 Turbiedad

En la figura 12 se observa que de diciembre 2005 a mayo 2008, la turbiedad se mantuvo en un rango 2 JTU, con un incremento considerable en mayo de 2007 en el sitio Las Monjas que presentó un valor de 75 JTU. Para Seis de Enero el valor más alto fue de 20 JTU y para Mariano Escobedo de 25 JTU en la misma temporada. Posteriormente, de junio de 2008 a marzo de 2010, el valor de fondo se estabilizó en 10 JTU, es decir, el doble de lo registrado de diciembre 2005 a mayo 2008.

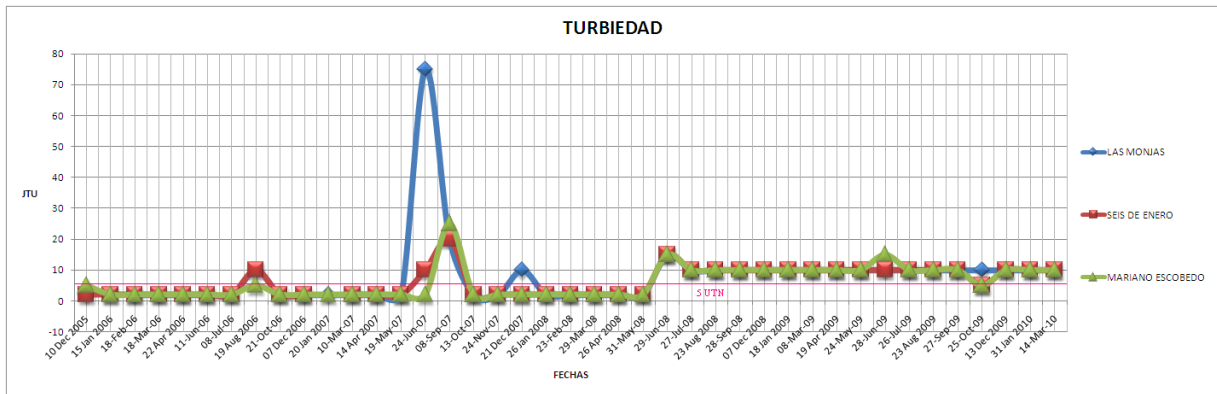


Figura 12. Turbiedad de los tres sitios donde se marca en azul Las Monjas, en rojo Seis de Enero y en verde Mariano Escobedo (datos proporcionados por “Amigos del Pixquiác–Zoncuantla” y GWW)

Tabla 8. Promedios, desviación estándar y número de muestras de turbiedad para cada sitio

TURBIEDAD	LAS MONJAS	SEIS DE ENERO	M. ESCOBEDO
PROMEDIO	8.2	6.25	6.14634
DESV. STD.	11.8065	4.71631	5.20845
NÚMERO	40	41	41

El incremento de mayo de 2007 en el sitio Las Monjas pudo deberse a la erosión o derrumbes en la parte alta de la cuenca, siendo una temporada de lluvias importante con precipitación de 0.9 cm para el día 24, coincidiendo con la fecha de muestreo. Este fue el único periodo que presentó tales incrementos, y exceptuando esa temporada, la turbiedad mostró un comportamiento estable de 2005 a 2008. No obstante, a partir de junio de 2008 el valor se elevó al doble de la temporada anterior, ubicándose fuera de la norma que marca un límite de 5 UTN para agua potable;. Se debe recordar que ésta es una fuente de abastecimiento, no agua potable como tal. Con base en lo anterior, en la figura 12 podemos diferenciar el aumento en turbiedad para el cuerpo de agua a partir de 2008, lo cual pudiera estar influenciado por cambios de uso del suelo y actividades que impactan de forma constante a la cuenca alta.

4.1.5 Alcalinidad

Acorde a la figura 13, no es posible identificar ciclos o comportamientos estacionales en ninguno de los sitios monitoreados en alcalinidad. El promedio para Las Monjas es de 27.07 mg/l (± 6.80 ds), en Seis de Enero es de 27.56 (± 5.13 ds) y en Mariano Escobedo es de 29.125 (± 5.76); valores muy similares entre sí. Las Monjas presentó un máximo de 55 mg/l y un mínimo de 15 mg/l en los meses de mayo y junio de 2009, respectivamente.

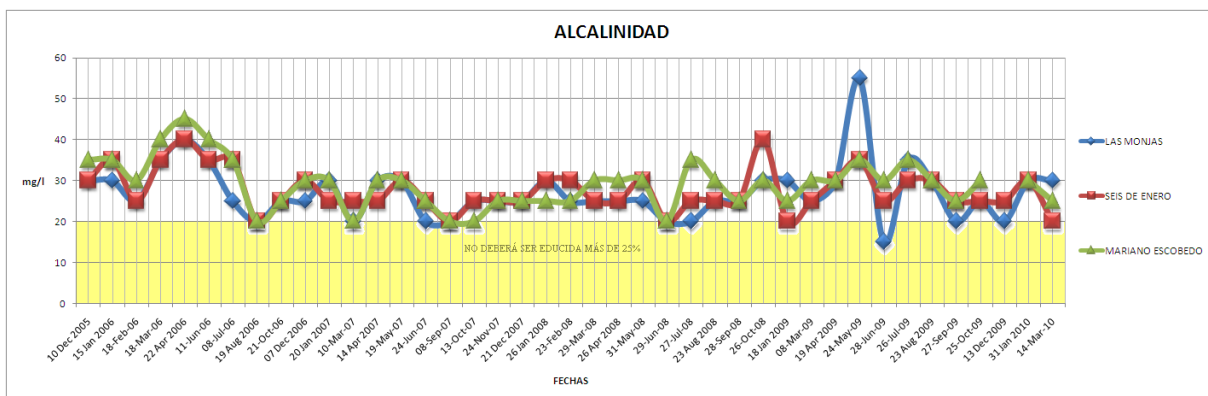


Figura 13. Alcalinidad de los tres sitios donde se marca en azul Las Monjas, en rojo Seis de Enero y en verde Mariano Escobedo (datos proporcionados por “Amigos del Pixquiac–Zoncuantla” y GWW)

Tabla 9. Promedios, desviación estándar y número de muestras de alcalinidad para cada sitio.

ALCALINID.	LAS MONJAS	SEIS DE ENERO	M. ESCOBEDO
PROMEDIO	27.07317	27.56098	29.125
DESV. STD.	6.79849	5.13833	5.7609
NÚMERO	41	41	40

En la normatividad revisada en este estudio no se incluyen límites máximos ni mínimos para este parámetro, sólo en los Criterios Ecológicos se marca que no debiera reducirse en más del 25% cuando sea menor o igual a 20mg/l. En este caso los valores promedio van de 27 a 29 mg/l, siendo superiores al límite mínimo recomendado. La variación en los valores de alcalinidad podría indicar una mayor turbulencia del agua o arrastre de suelos alcalinos carbonatados. Sin embargo, los máximos observados en alcalinidad no coinciden con los máximos en turbiedad.

4.1.6 Dureza

Por los valores representados en la figura 14 puede decirse que el agua de este río es blanda, ya que no excedió de los 60 mg/l, manteniéndose entre 20 y 40 mg/l con un promedio que va de 24 a 28 mg/l. Se presentan algunos puntos elevados en el sitio Mariano Escobedo en mayo de 2008 (60 mg/l) y en septiembre de 2009 (50 mg/l). En general los otros puntos mantienen valores estables con escasas variaciones. El promedio de dureza para el punto Las Monjas es de 25.12195 mg/l, para Seis de Enero de 24.39024 mg/l y para Mariano Escobedo de 28.292668 mg/l.

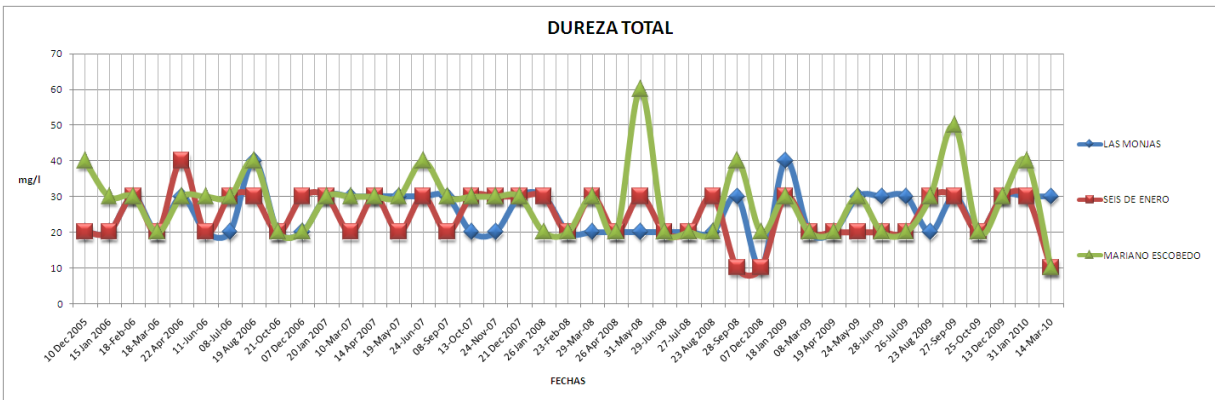


Figura 14. Dureza total de los tres sitios donde se marca en azul Las Monjas, en rojo Seis de Enero y en verde Mariano Escobedo (datos proporcionados por “Amigos del Pixquiac–Zoncuantla” y GWW)

Tabla 10. Promedios, desviación estándar y número de muestras de dureza total para cada sitio

DUREZA	LAS MONJAS	SEIS DE ENERO	M. ESCOBEDO
PROMEDIO	25.12195	24.39024	28.29268
DESV. STD.	6.37257	6.72636	9.46109
NÚMERO	41	41	40

Debido a que Mariano Escobedo recibe influencia antropogénica, podría ser que el ligero incremento en el promedio fuera atribuible a ello. Los promedios se encuentran muy por debajo del máximo permisible que marca la Modificación a la NOM-127-SSA1-1994 y la US-EPA, que es de 500.00 mg/l. y es óptimo para desarrollo de acuacultura según los Criterios Ecológicos.

4.1.7 Potencial de hidrógeno (pH)

En la figura 15 se observa un comportamiento cíclico en el descenso y ascenso del pH, no sobrepasando un rango de 7.5 como máximo en los meses de diciembre a marzo. En algunos puntos se observa un pH de 7.0 para descender hasta 6.5 como mínimo en los meses de junio a octubre.

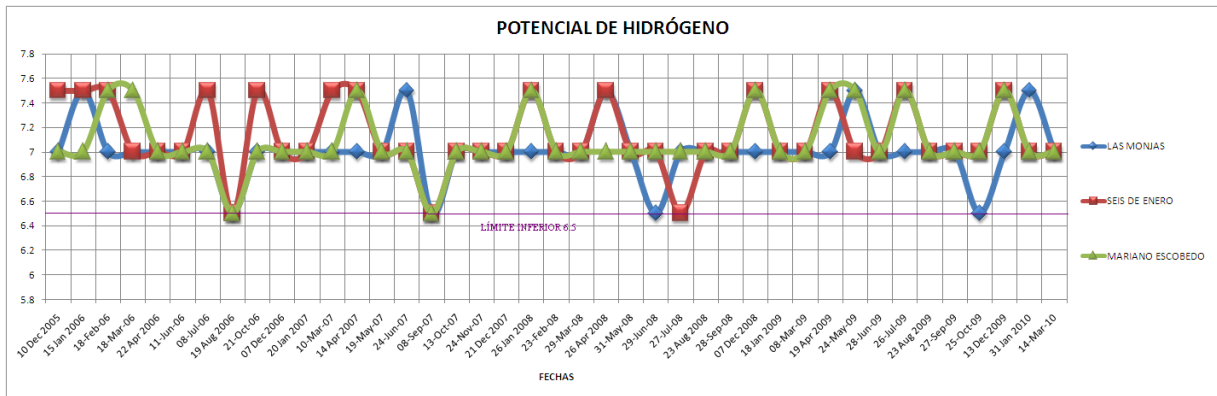


Figura 15. Potencial de hidrógeno (pH) de los tres sitios donde se marca en azul Las Monjas, en rojo Seis de Enero y en verde Mariano Escobedo (datos proporcionados por “Amigos del Pixquiác–Zoncuantla” y GWW)

Tabla 11. Promedios, desviación estándar y número de muestras para pH de cada sitio

pH	LAS MONJAS	SEIS DE ENERO	M. ESCOBEDO
PROMEDIO	7.01219	7.12195	7.08536
DESV. STD.	0.23684	0.29113	0.14755
NÚMERO	41	41	41

Las fluctuaciones que tienden a subir el pH en los puntos Seis de Enero y Mariano Escobedo pueden deberse también a descargas de aguas jabonosas intermitentes, así mismo los descensos del pH pueden indicar escorrentía de suelos ácidos, lluvia ácida y contaminación de desechos orgánicos. A pesar de ello los valores encontrados se ubican justo en el límite de acidez permitido por la Modificaión a la NOM-127-SSA1-1994, US-EPA y OMS. El promedio de pH en cada sitio es de 7.0 y 7.1.

4.1.8 Análisis bacteriológico con base de datos GWW

En las siguientes gráficas se expone las concentraciones encontradas para E. coli en los sitios de monitoreo Las Monjas, Seis de Enero y Mariano Escobedo, donde el color verde indica los meses en que el agua se encuentra en buenas condiciones, el amarillo indica mayor contaminación, no recomendable para contacto humano constante, y el rojo indica concentraciones de coliformes mayores a 1000 UFC/ml, como máximo para fuente de abastecimiento.

4.1.8.1 Las Monjas

En este sitio hay presencia de coliformes fecales en concentración mayor a 1000 UFC/100 ml en el 7% de los muestreos, teniendo su concentración más alta el 8 de septiembre de 2007. El 30% de las veces tuvo concentraciones mayores de 200 UFC/100 ml sin llegar a 1000 UFC/100 ml, y el 45% de las veces estuvo por debajo de las 200 UFC/100 ml, con ausencia de coliformes el 18% del total de muestreos realizados.

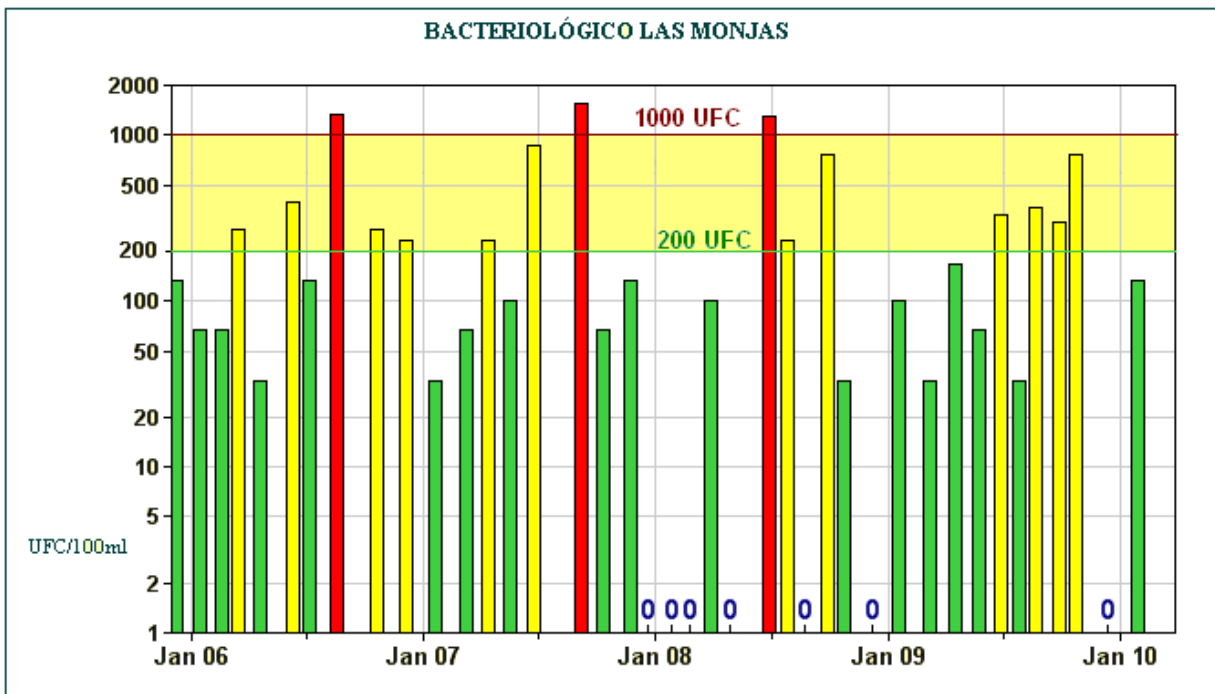


Figura 16. Coliformes fecales en el sitio Las Monjas 2005-2010 (GWW-Amigos del Pixquiac).

En la figura 16 se observa que la concentración elevada de coliformes fecales presenta cierta ciclicidad estacional, ya que se eleva más allá de los 1000 UFC/ml en otoño y se reduce en invierno. Según la recomendación de los Criterios Ecológicos para contacto primario el sitio cumple en el invierno, mas no en otras temporadas, siendo en otoño cuando rebasa el máximo recomendado para fuente de abastecimiento. Por lo anterior podría decirse que la contaminación de este punto es debido a materia fecal arrastrada hasta el cuerpo de agua por precipitaciones estacionales.

4.1.8.2 Seis de Enero

La figura 17 del punto Seis de Enero muestra un comportamiento diferente en relación al sitio anterior, teniendo la concentración más alta en diciembre de 2005. Se observa un incremento considerable en el número de colonias, ya que el punto más alto sobrepasa las 5000UFC/100 ml, sin relación estacional cuando en el sitio anterior el número de colonias no llegó a 200 UFC/100 ml, teniendo un aumento de 4 850 UFC/100 ml en la misma fecha.

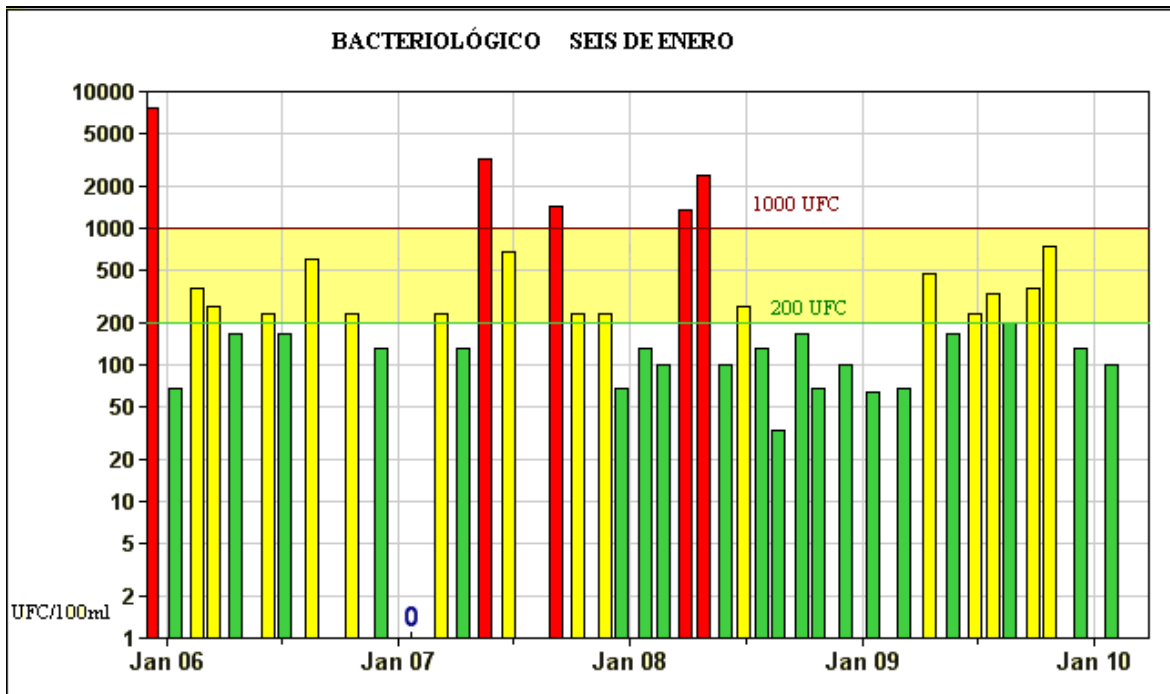


Figura 17. Coliformes fecales en el sitio Seis de Enero 2005-2010 (GWW-Amigos del Pixquiac).

Este comportamiento podría estar relacionado a la presencia de la actividad antropogénica, descargas de agua residual cruda específicamente, lixiviación o escurrimiento de fosas sépticas.

En este sitio el 12% de las muestras son de más de 1000 UFC/100 ml, sólo en una ocasión hubo ausencia de coliformes, el 37% de las veces rebasa el límite para contacto primario recomendado. Sin embargo, el 49% de los muestreos tiene una concentración menor a 200 UFC/100 ml; esto significa que el sitio es apto en esa misma medida para el uso y contacto directo, esto es, como fuente de abastecimiento y recreativo.

4.1.8.3 Mariano Escobedo

En la figura 18 se observa que, en el sitio Mariano Escobedo, el 15% de los muestreos tienen una concentración mayor a 1000 UFC/100 ml sin presentar valores tan altos como en Seis de Enero. El 35% de las veces tuvo más de 200 UFC/100 ml y sólo en diciembre de 2008 registró ausencia de coliformes.

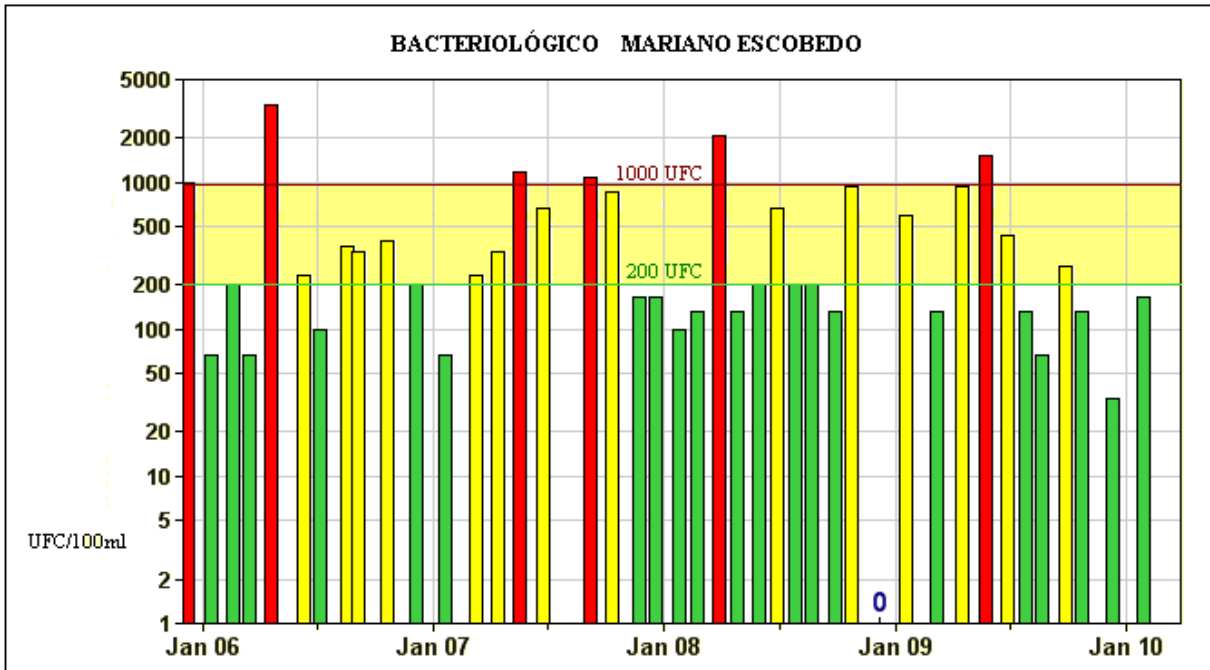


Figura 18. Coliformes fecales en el sitio Mariano Escobedo 2005-2010 (GWW-Amigos del Pixquiac).

Las mayores concentraciones para este sitio coinciden en su mayoría con los meses de mayo-junio, donde se da lugar al cambio del periodo de estiaje para entrar al periodo lluvioso. Esto podría deberse a que en la temporada seca en el río se concentran los coliformes debido a que el cauce cuenta con menor cantidad de agua, y en las primeras lluvias es arrastrada gran cantidad de materia fecal de origen animal de las zonas circundantes. Por lo anterior en los meses siguientes a este fenómeno, los niveles se mantienen bajos ya que la concentración es diluida por la cantidad de agua que aumenta en temporada de lluvias. Esto no descarta la existencia de descargas puntuales de drenaje o materia fecal directa al río, que al combinarse con la contaminación natural por precipitaciones, contribuye a elevar de forma significativa los valores registrados. A pesar de ello, este punto también presenta, en más del 50% de los

muestreos, concentraciones por debajo de las 200 UFC/100 ml. Lo anterior significa que en este sitio el agua es de buena calidad y cumple la recomendación para fuente de abastecimiento siempre y cuando sea clorada para su consumo.

4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO Y EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE AMBAS TÉCNICAS

Se analizaron los resultados obtenidos en los muestreos simultáneos para NMX y Kit por el método de la t de Student. Se muestra en la tabla 12 el concentrado de información utilizada para el análisis. En la tabla 13 se presentan: el promedio, desviación estándar y número de muestras de cada parámetro.

La simbología es la siguiente:

Alc → Alcalinidad

Tur → Turbiedad en el rango descrito en el trabajo

Dur → Dureza ambas se encuentran en mg/l

Od → Oxígeno Disuelto en mg/l

Ph → Potencial de Hidrógeno en escala de 1 a 14

E. coli → Coliformes fecales UFC/100 ml

La “X” representa el análisis elaborado en CONAGUA. La “Y” representa análisis elaborado con el KIT.

Tabla 12. Datos generados en los diez monitoreos efectuados por ambas técnicas de análisis

Obs	Alcy	Alcx	Dury	Durx	Phy	Phx	Tury	Turx	Ody	Odx	E. coli y	E. coli x
STD1	40	30.5	20	20		4	40	40				
STD2						7						
BCO	10	2	0	0	6	6.1			6.6	7.68		
M1	30	20	20	18	7	6.7	2	2	7.4	8.5	200	0
M2	30	23.1	20	18	7	6.75	2	2	7.5	8.52	100	400
M3	25	22.6	20	20	7	6.79	5	6	7.3	8.5	200	100
M3'	25	22.6										
M4	30	25	20	16	7	6.9	2	2	7.1	8.3	100	200
M5	30	23	20	18	7	6.96	5	6	7.4	8.53	800	800
M5'	30	23										
M6	30	24	20	18	7	6.96	2	2	7.8	8.84	4000	5300
M7	30	22	20	18	7	7.02	2	2	6.3	8.2	0	500
M8	30	25	20	20	7.5	7.15	2	2	7.2	8.33	100	1700
M9	30	24	20	20	7.5	7.07	2	5	7.4	8.36	1100	2000
M10	30	24	20	18	7	6.78	5	5	7.2	7.78	800	1800

Tabla 13. Promedios, desviación estándar y número de muestra de la tabla anterior.

Prom=	28.57143	22.2	18.33333	17	7	6.629231	6.272727	6.727273	7.2	8.321818	740	1280
DS=	6.333237	6.261113	5.773503	5.493798	0.387298	0.83211	11.27023	11.17221	0.419524	0.337189	1207.568724	1596.384805
n =	14	14	12	12	11	13	11	11	11	11	10	10

En las siguientes tablas (14 a 22) se expresa la prueba de hipótesis de pares donde se demuestra estadísticamente que: las metodologías comparadas pueden o no, ser iguales según sea el caso, en los cuadros oscuros se marcan, la diferencia considerada entre ellos, el nivel de significación y si se rechaza o no la hipótesis nula de igualdad para cada parámetro.

4.2.1 Comparación y descripción de resultados obtenidos por ambos métodos para alcalinidad

Los valores expresados en la figura 19 indican que: según las mediciones efectuadas con el kit, el cuerpo de agua en la región Zoncuantla tiene un promedio de 28.58 mg/l de alcalinidad, en los tres sitios, estando por encima del valor mínimo recomendado. Por otro lado, según las mediciones realizadas en laboratorio, este mismo río tiene un promedio de 22.2 mg/l de alcalinidad, lo cual se acerca de forma significativa al límite recomendado por los Criterios Ecológicos de 20 mg/l para no reducir en más de 25 % la alcalinidad del río Pixquiac en esta zona.

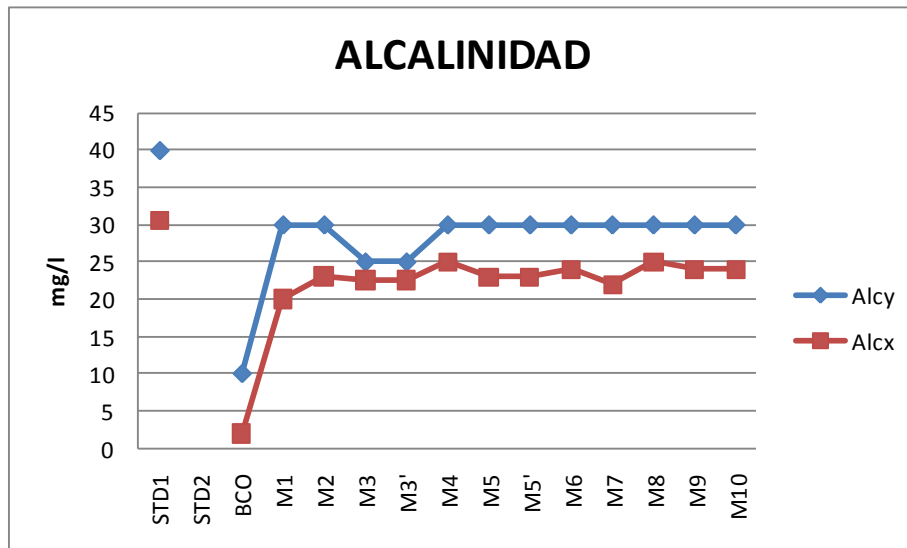


Figura 19. Valores de alcalinidad donde “Y” es el resultado del KIT y “X” es el de laboratorio

En la figura 19 se observa una variación constante donde el valor del KIT “Y” se encuentra elevado aproximadamente 10 unidades con respecto al análisis en laboratorio “X”. Al ser un fenómeno constante se realizaron repeticiones en laboratorio y se analizaron los reactivos del KIT, observando que al adicionar la pastilla indicadora de colorante, ésta le adiciona alcalinidad a la muestra, al ser constante la diferencia, se comprobaron los métodos.

4.2.2 Pruebas de Hipótesis para alcalinidad

Considerando diferencia en los procedimientos de medición de cero:

Pruebas de Hipótesis de Pares				Significación:	5%
Prueba de Varianzas		Pares de Medias igualdad		Valor μ_0 : 0	
$H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$		$H_0: \mu_y - \mu_x = \mu_0$		Considerando una diferencia de cero entre métodos para ALCALINIDAD.	
$H_1: \sigma_x^2 <> \sigma_y^2$		$H_1: \mu_y - \mu_x <> \mu_0$			
DesMue _x =	6.261113	ProMue _x =	22.2	Pares de Medias desigualdades	
DesMue _y =	6.333237	ProMue _y =	28.57143	$H_0: \mu_y - \mu_x \leq \mu_0$	$H_0: \mu_y - \mu_x \geq \mu_0$
$n_x =$	14	$n_y =$	14	$H_1: \mu_y - \mu_x > \mu_0$	$H_1: \mu_y - \mu_x < \mu_0$
VarMue _x =	39.201536	G.Libertad =	26	$t_{a, GL}$	$-t_{a, GL}$
VarMue _y =	40.1098909	DesvProm =	6.297278257	1.705617901	-1.705617901
Est. Fo =	1.023171411	Est. to =	2.676905575		
GL _x =	13	GL _y =	13		
GL _{num} =	13	GL _{den} =	13		
$F_{a/2, num, den} =$	3.115035693	$t_{a/2, GL} =$	2.055529418		
$F_{(1-a/2), num, den} =$	0.321023609				
Decisión		Decisión		Decisión	Decisión
No Rechaza Ho		Si Rechaza Ho		Si Rechaza Ho	No Rechaza Ho

Tabla 14. Pruebas de hipótesis para la alcalinidad 1

Considerando diferencia en los procedimientos de medición de ocho provocados por la pastilla de indicador:

Pruebas de Hipótesis de Pares				Significación:	5%
Prueba de Varianzas		Pares de Medias igualdad		Valor μ_0 : 8	
$H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$		$H_0: \mu_y - \mu_x = \mu_0$		Considerando una diferencia de 8 entre métodos para ALCALINIDAD.	
$H_1: \sigma_x^2 <> \sigma_y^2$		$H_1: \mu_y - \mu_x <> \mu_0$			
DesMue _x =	6.261113	ProMue _x =	22.2	Pares de Medias desigualdades	
DesMue _y =	6.333237	ProMue _y =	28.57143	$H_0: \mu_y - \mu_x \leq \mu_0$	$H_0: \mu_y - \mu_x \geq \mu_0$
$n_x =$	14	$n_y =$	14	$H_1: \mu_y - \mu_x > \mu_0$	$H_1: \mu_y - \mu_x < \mu_0$
VarMue _x =	39.201536	G.Libertad =	26	$t_{a, GL}$	$-t_{a, GL}$
VarMue _y =	40.1098909	DesvProm =	6.297278257	1.705617901	-1.705617901
Est. Fo =	1.023171411	Est. to =	-0.684230716		
GL _x =	13	GL _y =	13		
GL _{num} =	13	GL _{den} =	13		
$F_{a/2, num, den} =$	3.115035693	$t_{a/2, GL} =$	2.055529418		
$F_{(1-a/2), num, den} =$	0.321023609				
Decisión		Decisión		Decisión	Decisión
No Rechaza Ho		No Rechaza Ho		No Rechaza Ho	No Rechaza Ho

Tabla 15. Pruebas de hipótesis para la alcalinidad 2

El resultado estadístico demuestra que el uso de la pastilla indicadora genera una constante aditiva de ocho unidades de alcalinidad, en consecuencia se debe restar al resultado del kit ocho unidades. En ese caso, estadísticamente ambos métodos de obtención de mediciones son equivalentes con un grado de confiabilidad del 95%.

4.2.3 Comparación y descripción de resultados obtenidos por ambos métodos para dureza total

La figura 20 muestra que: para el análisis realizado con kit, el valor se mantiene en 20 mg/l de dureza total en los meses de mayo a junio de 2010, con un promedio de 18.34 mg/l. Para el análisis realizado en laboratorio, el valor oscila de 16 a 20 mg/l, con un promedio de 17 mg/l, siendo los valores diferentes sólo por la exactitud en decimales del método en laboratorio. Ambas técnicas denotan que: la calidad del agua en cuanto a dureza total de CaCO_3 en el municipio de Zoncuantla es buena, ya que no rebasa ningún límite referido en este estudio.

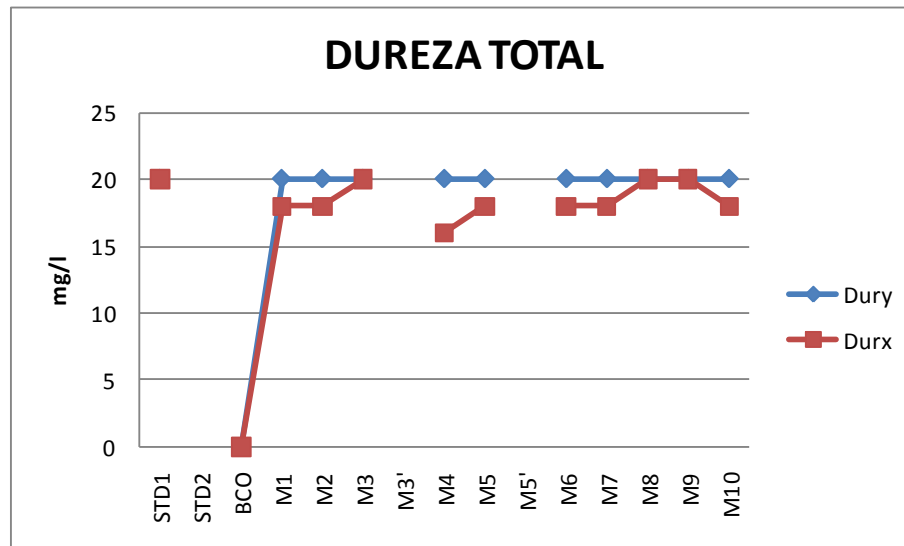


Figura 20. Valores de dureza total por ambos métodos

En la figura 20 se expresan los valores encontrados de dureza total por ambos métodos de análisis en 10 eventos de monitoreo, un blanco y un estándar de valor conocido. En esta prueba se obtuvieron datos muy similares, con algunas diferencias mínimas por la escala en la

cual se expresan los valores en cada uno de los métodos. Es más exacto en decimales el método de NMX en laboratorio.

4.2.4 Pruebas de Hipótesis para dureza total

Considerando diferencia de los procedimientos de cero.

El resultado estadístico demuestra que tanto las mediciones del Kit como las mediciones CONAGUA estadísticamente son iguales o equivalentes, con un nivel de significación del 5% que corresponde un intervalo de confianza del 95%.

Pruebas de Hipótesis de Pares				Significación: 5%	
Prueba de Varianzas		Pares de Medias igualdad		Valor μ_0 : 0	
$H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$		$H_0: \mu_y - \mu_x = \mu_0$		Considerando una diferencia de cero entre métodos para DUREZA TOTAL.	
$H_1: \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$		$H_1: \mu_y - \mu_x \neq \mu_0$			
DesMue _x =	5.493798	ProMue _x =	17	Pares de Medias desigualdades	
DesMue _y =	5.773503	ProMue _y =	18.33333	$H_0: \mu_y - \mu_x \leq \mu_0$	$H_0: \mu_y - \mu_x \geq \mu_0$
$n_x =$	12	$n_y =$	12	$H_1: \mu_y - \mu_x > \mu_0$	$H_1: \mu_y - \mu_x < \mu_0$
VarMue _x = 30.18181646		G.Libertad = 22		$t_{a,GL}$	$-t_{a,GL}$
VarMue _y = 33.33333689		DesvProm = 5.635386116		1.717144335	-1.717144335
Est. Fo = 1.104417851		Est. to = 0.579548249			
GL _x =	11	GL _y =	11		
GL _{num} =	11	GL _{den} =	11		
F _{a/2,num,den} = 3.473699051		t _{a/2,GL} = 2.073873058			
F _{(1-a/2),num,den} = 0.287877558					
Decisión		Decisión		Decisión	Decisión
No Rechaza Ho		No Rechaza Ho		No Rechaza Ho	No Rechaza Ho

Tabla 16. Pruebas de hipótesis para la dureza

4.2.5 Comparación y descripción de resultados obtenidos por ambos métodos para pH

La figura 21 expone los valores obtenidos por ambas técnicas donde: el kit tuvo un promedio de 7, indicando que, el agua analizada es generalmente neutra y se encuentra dentro del rango marcado por la legislación. En el laboratorio se obtuvieron valores semejantes, variando ligeramente por los decimales que el potenciómetro expresa, con un promedio de 6.63 siendo ligeramente ácida. Sin embargo se ubica dentro del rango óptimo para la vida acuática, los límites de la Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, U.S.-EPA y OMS.

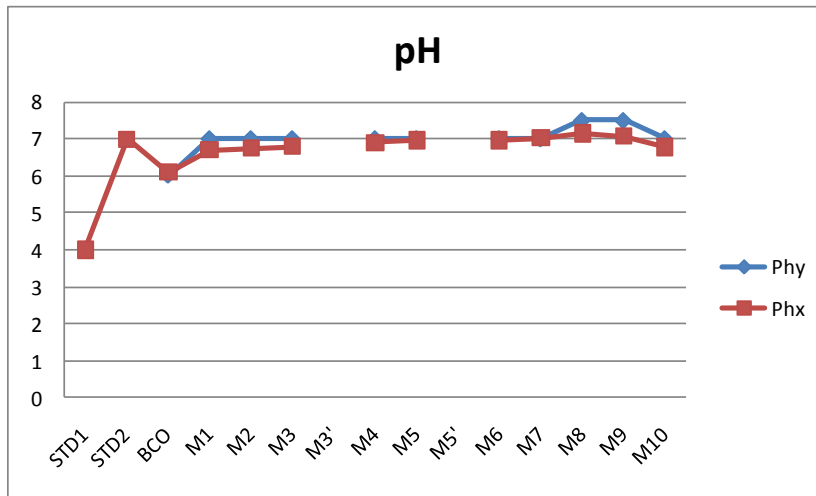


Figura 21. Valores de potencial de hidrógeno obtenidos por ambos métodos

En la figura 21 se muestran los valores obtenidos por colorimetría en campo analizado con el kit y los obtenidos en el laboratorio con potenciómetro calibrado con dos estándares MERCK de pH de 4 y 7. Se observó una discrepancia mínima por la diferencia decimal de cada método.

4.2.6 Pruebas de Hipótesis para potencial de hidrógeno (pH)

Pruebas de Hipótesis de Pares				Significación: 5%	
Prueba de Varianzas		Pares de Medias igualdad		Valor μ_0 : 0	
$H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$		$H_0: \mu_y - \mu_x = \mu_0$		Considerando una diferencia de cero entre métodos para pH.	
$H_1: \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$		$H_1: \mu_y - \mu_x \neq \mu_0$			
DesMue _x = 0.83211		ProMue _x = 6.629231		Pares de Medias desigualdades	
DesMue _y = 0.387298		ProMue _y = 7		$H_0: \mu_y - \mu_x \leq \mu_0$	$H_0: \mu_y - \mu_x \geq \mu_0$
$n_x = 13$	$n_y = 11$	G.Libertad = 19		$H_1: \mu_y - \mu_x > \mu_0$	$H_1: \mu_y - \mu_x < \mu_0$
VarMue _x = 0.692407052		DesvProm =		$t_{\alpha, GL}$	$-t_{\alpha, GL}$
VarMue _y = 0.149999741				1.729132792	-1.729132792
Est. Fo = 4.61605499		Est. to = 1.433492688			
$GL_x = 12$	$GL_y = 10$				
$GL_{num} = 12$	$GL_{den} = 10$				
$F_{\alpha/2, num, den} = 3.620945483$		$t_{\alpha/2, GL} = 2.09302405$			
$F_{(1-\alpha/2), num, den} = 0.296423398$					
Decisión		Decisión		Decisión	
Si Rechaza Ho		No Rechaza Ho		No Rechaza Ho	

Tabla 17. Pruebas de hipótesis para el potencial de hidrógeno (pH)

El resultado demuestra que tanto las mediciones del Kit como las efectuadas por NMX estadísticamente son iguales o equivalentes, con un nivel de significación del 5% que corresponde un intervalo de confianza del 95%.

4.2.7 Comparación y descripción de resultados obtenidos por ambos métodos para turbiedad

En la figura 22 se grafican los valores dados tanto por el kit (en campo) con promedio de 6.28 JTU, como por el laboratorio según las NMX con promedio de 6.72 NTU presentando ligeras divergencias en las escalas dadas para cada una de las unidades según los protocolos particulares. Puede decirse que la turbiedad encontrada en el río Pixquiac, en el periodo mayo – julio 2010 es de 2 a 6 NTU, ubicándose de forma intermitente en el límite establecido para este parámetro.

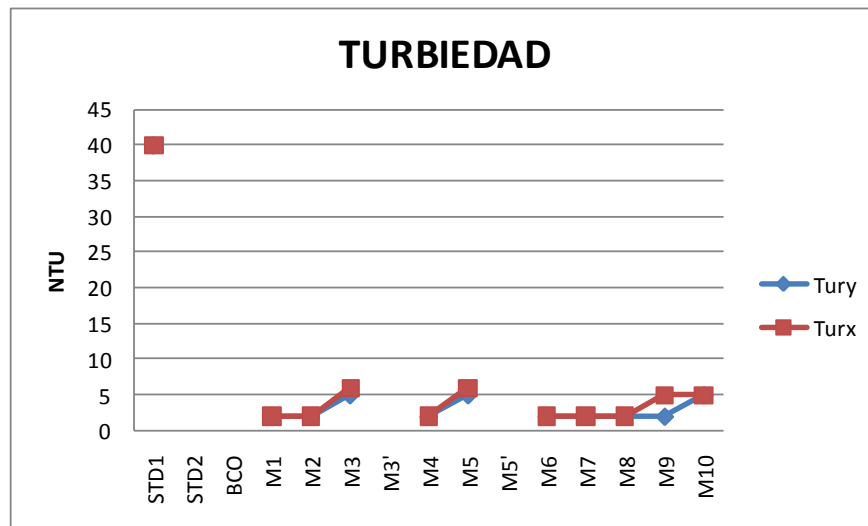


Figura 22. Valores de turbiedad encontrados “in situ” y en laboratorio

La figura 22 expresa los valores encontrados de turbiedad, analizados “in situ” y los vistos en el laboratorio con un turbidímetro calibrado con un estándar de turbiedad conocido de 40 NTU. Con un comportamiento muy similar. Se encontró una relación de igualdad entre las unidades de JTU y NTU en laboratorio y de acuerdo con Rodier (1984) quien menciona que estas dos unidades pueden ser semejantes.

4.2.8 PRUEBAS DE HIPÓTESIS PARA LA TURBIEDAD

El resultado estadístico demuestra que tanto las mediciones del Kit como las mediciones CONAGUA estadísticamente son iguales o equivalentes, con un nivel de significación del 5% que corresponde un intervalo de confianza del 95%.

Pruebas de Hipótesis de Pares				Significación:	
Prueba de Varianzas		Pares de Medias igualdad		Valor μ_0 : 0	
$H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$		$H_0: \mu_y - \mu_x = \mu_0$		Considerando una diferencia de cero entre métodos para TURBIEDAD.	
$H_1: \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$		$H_1: \mu_y - \mu_x \neq \mu_0$			
DesMue _x = 11.17221		ProMue _x = 6.727273		Pares de Medias desigualdades	
DesMue _y = 11.27023		ProMue _y = 6.272727		$H_0: \mu_y - \mu_x \leq \mu_0$	
$n_x = 11$	$n_y = 11$	G.Libertad = 20		$H_0: \mu_y - \mu_x \geq \mu_0$	
VarMue _x = 124.8182763		DesvProm = 11.22132703		$H_1: \mu_y - \mu_x > \mu_0$	
VarMue _y = 127.0180843				$H_1: \mu_y - \mu_x < \mu_0$	
Est. Fo = 1.017624085		Est. to = -0.09499811		$t_{a,GL} = 1.724718218$	$-t_{a,GL} = -1.724718218$
GL _x = 10	GL _y = 10				
GL _{num} = 10	GL _{den} = 10				
$F_{a/2,num,den} = 3.716791865$		$t_{a/2,GL} = 2.085963441$			
$F_{(1-a/2),num,den} = 0.269049233$					
Decisión		Decisión		Decisión	
No Rechaza Ho		No Rechaza Ho		No Rechaza Ho	

Tabla 18. Pruebas de hipótesis para la turbiedad

4.2.9 Comparación y descripción de resultados obtenidos por ambos métodos para oxígeno disuelto

La figura 23 presenta los valores generados tanto por el kit “*in situ*”, como la titulación en laboratorio, ya que ambas metodologías requieren la preservación de la muestra en campo, para el kit el promedio fue de 7.2 mg/l y el laboratorio de 8.3mg/l. Puede decirse que, la calidad del agua en la región de Zoncuantla, en cuanto a oxígeno disuelto es buena ya que rebasa el mínimo recomendado por los Criterios Ecológicos y el límite de protección a la vida acuática.

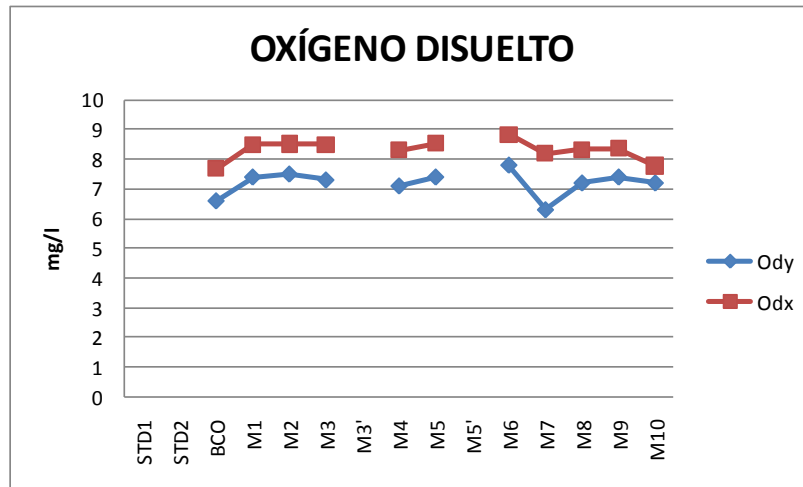


Figura 23. Valores del oxígeno disuelto analizado “y” con KIT y “x” en laboratorio

En la figura 23 se encuentran expresados los resultados de ambas técnicas analíticas para oxígeno disuelto, donde se observa una diferencia constante entre ambos métodos, que en la práctica se pudo adjudicar al valorar el reactivo de titulación (tiosulfato) el cual tenía una normalidad elevada de 0.002 N restándole un punto aproximadamente al valor generado por el kit.

4.2.10 PRUEBAS DE HIPÓTESIS PARA OXÍGENO DISUELTO

En la tabla 19, la diferencia es dada por el ensayo en blanco y corresponde a -1. Lo anterior representa que debe utilizarse una diferencia entre los métodos de medición de -1. Al valor obtenido por el kit debe sumarse uno.

Considerando la diferencia de los procedimientos de cero.

Pruebas de Hipótesis de Pares				Significación:	5%
Prueba de Varianzas		Pares de Medias igualdad		Valor μ_0 : 0	
$H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$		$H_0: \mu_y - \mu_x = \mu_0$		Considerando una diferencia de cero entre métodos para OXÍGENO DISUELTO.	
$H_1: \sigma_x^2 <> \sigma_y^2$		$H_1: \mu_y - \mu_x <> \mu_0$			
DesMue _x =	0.337189	ProMue _x =	8.321818	Pares de Medias desigualdades	
DesMue _y =	0.419524	ProMue _y =	7.2	$H_0: \mu_y - \mu_x \leq \mu_0$	$H_0: \mu_y - \mu_x \geq \mu_0$
n _x =	11	n _y =	11	$H_1: \mu_y - \mu_x > \mu_0$	$H_1: \mu_y - \mu_x < \mu_0$
VarMue _x =	0.113696422	G.Libertad =	20	$t_{a,GL}$	$-t_{a,GL}$
VarMue _y =	0.176000387	DesvProm =	0.380589548	1.724718218	-1.724718218
Est. Fo =	1.547985274	Est. to =	-6.912686978		
GL _x =	10	GL _y =	10		
GL _{num} =	10	GL _{den} =	10		
F _{a/2,num,den} =	3.716791865	t _{a/2,GL} =	2.085963441		
F _{(1-a/2),num,den} =	0.269049233				
Decisión		Decisión		Decisión	Decisión
No Rechaza Ho		Si Rechaza Ho		No Rechaza Ho	Si Rechaza Ho

Tabla 19. Pruebas de hipótesis para oxígeno disuelto 1

Los métodos son iguales o equivalentes cuando al valor generado por el kit, se le suma 1 (tabla 20). Lo anterior, con un nivel de significación del 5% que corresponde a un intervalo de confianza del 95%.

Considerando la diferencia de los procedimientos de -1

Pruebas de Hipótesis de Pares				Significación:	5%
Prueba de Varianzas		Pares de Medias igualdad		Valor μ_0 : -1	
$H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$		$H_0: \mu_y - \mu_x = \mu_0$		Considerando una diferencia de -1 entre métodos para OXÍGENO DISUELTO.	
$H_1: \sigma_x^2 <> \sigma_y^2$		$H_1: \mu_y - \mu_x <> \mu_0$			
DesMue _x =	0.337189	ProMue _x =	8.321818	Pares de Medias desigualdades	
DesMue _y =	0.419524	ProMue _y =	7.2	$H_0: \mu_y - \mu_x \leq \mu_0$	$H_0: \mu_y - \mu_x \geq \mu_0$
n _x =	11	n _y =	11	$H_1: \mu_y - \mu_x > \mu_0$	$H_1: \mu_y - \mu_x < \mu_0$
VarMue _x =	0.113696422	G.Libertad =	20	$t_{a,GL}$	$-t_{a,GL}$
VarMue _y =	0.176000387	DesvProm =	0.380589548	1.724718218	-1.724718218
Est. Fo =	1.547985274	Est. to =	-0.750647344		
GL _x =	10	GL _y =	10		
GL _{num} =	10	GL _{den} =	10		
F _{a/2,num,den} =	3.716791865	t _{a/2,GL} =	2.085963441		
F _{(1-a/2),num,den} =	0.269049233				
Decisión		Decisión		Decisión	Decisión
No Rechaza Ho		No Rechaza Ho		No Rechaza Ho	No Rechaza Ho

Tabla 20. Pruebas de hipótesis para oxígeno disuelto 2

4.2.11 Comparación y descripción de resultados obtenidos por ambos métodos para coliformes fecales

En la figura 24 se muestran las UFC cuantificadas durante el muestreo realizado en los meses de mayo a junio, en los sitios: Las Monjas, Seis de Enero y Mariano Escobedo. Estos fueron cultivados en Easygel coliscan según el manual de GWW y en agar con ácido rosólico para coliformes fecales, NMX-AA-102-SCFI-2006. En cuanto la comparación de ambos métodos, se comportan de manera similar ya que ambos mostraron que el sitio Las Monjas presentó una concentración menor de coliformes fecales en relación con Seis de Enero y Mariano Escobedo. Con ambas técnicas se aprecia un incremento notable en el punto Mariano Escobedo en el segundo muestreo, lo cual puede vincularse con descargas directas al río de drenajes por la presencia de coliformes fecales en un mayor número de UFC que en los muestreos anteriores. Así mismo, esto tiene relación con el principio de la época de lluvias, ya que la materia orgánica existente a los alrededores y contaminación fecal animal cercana es diluida y arrastrada hacia el cuerpo de agua por las precipitaciones.

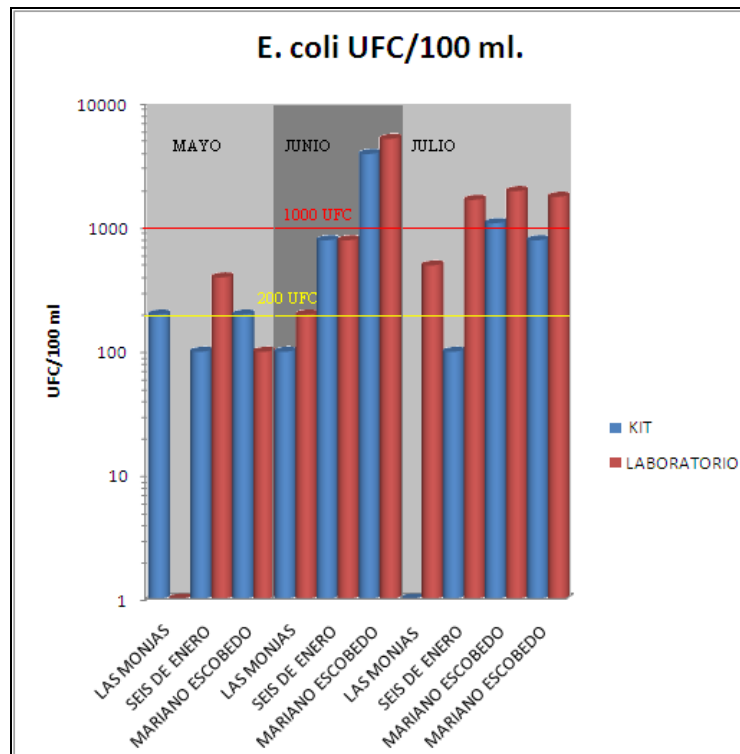


Figura 24. Monitoreo bacteriológico realizado con Easygel coliscan (GWW) y agar con ácido rosólico (NMX)

Según los límites máximos permisibles para presencia de coliformes fecales en agua ningún punto está dentro del parámetro, por lo tanto no debería usarse el agua como se encuentra de forma natural, por otro lado no excede los límites para potabilización, por lo que debiera pasar por un proceso de tratamiento para ser utilizada como agua potable.

4.2.12 Pruebas de hipótesis para coliformes fecales

El análisis de coliformes totales y fecales que presenta el manual de GWW es tomado como de alerta o también llamado presuntivo para agua superficial y el realizado en laboratorio se aplica para agua de uso y consumo humano en pozos, por lo que es mucho más sensible a detectar estos organismos. Por lo anterior no se obtuvieron conteos idénticos en ambos métodos, sin embargo si puede tomarse como un valor confiable cuando se tiene presencia de coliformes fecales en las pruebas realizadas con Easygel, ya que estadísticamente ambos métodos son equivalentes. Considerando una diferencia de cero, con un nivel de significación del 5% que corresponde a un intervalo de confianza del 95% se tiene lo siguiente:

Pruebas de Hipótesis de Pares				Significación:		5%	
Prueba de Varianzas		Pares de Medias igualdad		Valor μ_0 :		0	
$H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$		$H_0: \mu_y - \mu_x = \mu_0$		Considerando una diferencia de cero entre ambos métodos para coliformes fecales.			
$H_1: \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$		$H_1: \mu_y - \mu_x \neq \mu_0$					
DesMue _x =	15.963848	ProMue _x =	12.8	Pares de Medias desigualdades			
DesMue _y =	12.0756872	ProMue _y =	7.4	$H_0: \mu_y - \mu_x \leq \mu_0$	$H_0: \mu_y - \mu_x \geq \mu_0$		
n _x =	10	n _y =	10	G.Libertad =	18	$H_1: \mu_y - \mu_x > \mu_0$	$H_1: \mu_y - \mu_x < \mu_0$
VarMue _x =	254.844443	DesvProm =	14.15391579	$t_{a, GL}$		$-t_{a, GL}$	
VarMue _y =	145.8222214			1.734063592		-1.734063592	
Est. Fo =	1.747637916	Est. to =	-0.853104346				
GL _x =	9	GL _y =	9				
GL _{num} =	9	GL _{den} =	9				
F _{a/2, num, den} =	4.025994158	$t_{a/2, GL} =$	2.100922037				
F _{(1-a/2), num, den} =	0.248385855						
Decisión		Decisión		Decisión		Decisión	
No Rechaza Ho		No Rechaza Ho		No Rechaza Ho		No Rechaza Ho	

Tabla 21. Pruebas de hipótesis para coliformes fecales

5 CONCLUSIONES

5.1 Del análisis histórico

Pudieron observarse las fluctuaciones naturales del cuerpo de agua analizado, siendo posible diferenciar las variaciones cíclicas estacionales propias del ambiente y de las ocasionadas por actividades antropogénicas, que presentan de manera desordenada, más aparentes en puntos determinados, por lo que contrasta con el comportamiento regular del río.

Tomando los resultados físico-químicos de los siete parámetros analizados, la calidad del agua del río Pixquiac es adecuada para uso humano, presenta condiciones favorables para su potabilización y los cambios o fluctuaciones que presenta en algunos parámetros pueden ser atribuidos a las precipitaciones y erosión.

Sin embargo, en cuanto a las características bacteriológicas, el análisis indica que todos los sitios presentan contaminación fecal en distinta medida, siendo Las Monjas el menos afectado, pudiendo atribuirse a contaminación proveniente del ganado y otros mamíferos que habitan la cuenca alta. A diferencia de éste, los sitios Seis de Enero y Mariano Escobedo donde la cuantificación de coliformes se eleva exponencialmente y dependiendo de la época del año, el problema se agrava.

Puede suponerse que, aunado a los coliformes arrastrados por los escurrimientos y la precipitación, en puntos intermedios y bajos podrían existir descargas puntuales irregulares de drenaje o materia fecal que representa un importante riesgo a la salud para uso recreativo y contacto directo con el agua.

5.1 Del análisis estadístico

La utilización del método Kit con el protocolo de GWW (*in situ*) es estadísticamente equivalente al método de análisis NMX usado en el laboratorio de la CONAGUA. Todas las pruebas de hipótesis se desarrollaron con un nivel de significación del 5% el cual corresponde a un intervalo de confianza del 95%, observando una diferencia de -1 para el oxígeno disuelto, que en la práctica pudo identificarse como una variación en la normalidad del titulante (tiosulfato) perteneciente al kit. Para alcalinidad, se demostró una diferencia constante de 8 unidades (constante aditiva), atribuible al colorante del kit.

Por lo anterior puede afirmarse que el monitoreo comunitario es una importante herramienta con un gran potencial ya que, si bien los valores no son exactos en cuanto a decimales, los datos obtenidos sí guardan una estrecha relación entre ambos métodos.

Se tiene un 95% de seguridad de que las redes de monitoreo, siempre y cuando sigan los protocolos correspondientes, son un eslabón clave para el manejo de una cuenca, la regulación de las buenas prácticas del uso de suelo y protección a los recursos naturales y podría contribuir significativamente a la educación ambiental y manejo racional de recursos para las comunidades y zonas semiurbanas asentadas en las zonas ribereñas.

RECOMENDACIONES

- Reproducir fielmente el método utilizado por GWW para el análisis en campo, así como elaborar con atención y cuidado cada uno de los reactivos, titulantes, y demás químicos necesarios para llevar a cabo la valoración por los métodos oficiales para las NMX, para tener resultados confiables que permitan identificar alteraciones en las características básicas del agua, según los límites permisibles.
- Inspeccionar la ribera para detectar descargas puntuales que afecten directamente a los habitantes de Zoncuantla que, sin contar con CMAS como intermediario, se abastecen de agua mediante tomas clandestinas de que ponen en riesgo su salud.
- Deberá clorarse para evitar la presencia de los coliformes fecales que se detectan de forma intermitente pero en grandes cantidades en las aguas del Pixquiac.
- Promover entre los habitantes de la zona, la implementación de tecnologías ecoamigables para el tratamiento de aguas residuales, como los biodigestores.
- Se sugiere realizar estudios posteriores en la cuenca media y alta del río Pixquiac, con el fin de conocer los valores característicos de éste en sus tres regiones, ya que los sitios monitoreados abarcan el 8% de la cuenca.
- Fomentar campañas de divulgación en materia de calidad del agua y salud pública entre los habitantes de la congregación Zoncuantla, con el fin de evitar la progresiva

degradación del estado actual del cuerpo de agua con el que conviven y del cual dependen para realizar algunas de sus actividades cotidianas.

- Fortalecer la coordinación de las autoridades federales, estatales y municipales, en conjunto con las asociaciones civiles, cuerpos académicos, corporativos y sociedad en general, a fin de ampliar las redes de monitoreo que contribuyen al manejo sustentable de la cuenca.

6 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Boza, L. 2002. Diseño de experimentos, Especialidad en Control de Calidad, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, Mex. 20-23 pp.
- CONABIO. 2000. Carta de Precipitación Anual de Isoyetas, escala 1:250 000.
- Deutch W., Dumcan, B., Romagnoli, O., Ruiz-Córdova, S., 2009. Monitoreo de Agua en Programas con Participación Comunitaria. Manual de Curso de Capacitación, Centro Internacional de Acuicultura y Ambientes Acuáticos, Universidad de Auburn, Alabama, EU.
- García C., Vidriales C., G., Martínez O., A. 2008. Caracterización subcuencas. Informe técnico del proyecto “Gestión comunitaria y ciudadana y redes de aprendizaje en la zona de recarga que abastece de agua a la ciudad de Xalapa, en las micro cuencas de los ríos Pixquiac y Xocoyolapan” IIS-UNAM. Proyecto No. 37696. CONACYT-FOMIX, Gobierno del Estado de Veracruz.
- Geissert, D., Meza E., R. Langrave, 2007. Carta Geomorfoedafológica de la Cuenca Alta del río La Antigua, escala 1:50,000. Versión provisional, Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Ver.
- Geréz, P., *et al.* 2008. Mapa de vegetación y usos del suelo de la cuenca del río Pixquiac, escala 1:50.000. Versión Provisional, IIS-UNAM / SENDAS A.C.
- **Modificación a la NOM-127-SSA1-1994 de 2000**
- Muñoz-Villers, L. E., López-Blanco, J., 2008. Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico, International Journal of Remote Sensing.
- **NMX-AA-007-SCFI-2000).**
- **NMX-AA-012-SCFI-2001**
- **NMX-AA-036-SCFI-2001**
- Sanders, T., Ward, R., Loftis, J., Steele, T., Adrian, D., Yevjevich, V., 1983. Desing of network for monitoring water quality. Water Resources Publications, Littletown, Colorado.
- SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología), 1989. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, CCE-CCA-001/89, Diario Oficial de la Federación 2 de diciembre de 1989. Tomo CDXXX, No.9 México D.F.
- Stadtmuller, T., 1987. Los bosques nublados en el trópico húmedo, UNU, CATIE, Turrialba, 85 pp.
- Standard methods for examination of water and wastewater “Dissolved oxygen 4500-0” American Public Health Association (APHA), American Water Association (AWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), 20a edition pp4.136 a 4.143.
- Weather Environment Federation 21st edition centennial edition 2005.

SITIOS WEB CONSULTADOS

- Castillo S., s/a “La Importancia de la Evaluación y Monitoreo de los Recursos Naturales”. Departamento de Manejo de Recursos Forestales. Universidad de Chile. Encontrado en http://www.forestal.uchile.cl/ambiente_forestal/ambiente_forestal_3/cap2.pdf el día 26-04-10.
- CMAS-Xalapa, 2008 “el ciclo del agua” Cultura del agua, encontrado en: http://www.cmasxalapa.gob.mx/ciclo_del_agua.html. 20/junio/2010
- CMAS-Xalapa, 2008, “Cobertura de agua potable” Red de Agua Potable, encontrado en: http://www.cmasxalapa.gob.mx/obras_proyectos.html el día: 20/marzo/2010.
- CMAS-Xalapa, 2008, “El Agua”. Cultura del agua, encontrado en: http://www.cmasxalapa.gob.mx/cultura_agua.html el día: 20/marzo/2010.
- CONAFOR, “¿Qué son los servicios ambientales del bosque?”, Última modificación: Web máster (11/05/2009 a las 17:22) encontrado en http://www.conafor.gob.mx/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=46&Itemid=1 consultado : 24/abril/2010.
- CONAGUA, 2009, “Seminario internacional sobre redes de monitoreo de calidad del agua en zonas costeras Cancún, Quintana Roo, encontrado en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/10NOV09.pdf> el 23/abril/2010
- Edmunds W.M, C. Neal, W. Osterkamp, P. D. Jones y J. Ridgway. Revisado 2004 “Calidad del agua superficial”. Encontrado en: www.lgt.lt/geoinfo/files/24_Calidad_del_agua_superficial.DOC el día: 27 /mayo/ 2010.
- Educasitios.educ.ar, “Cuencas Hidrográficas”, Encontrado en: <http://educasitios.educ.ar/grupo068/?q=node/98>consultado el día.26/junio/2010.
- EPA, 2005. ”Water on tap” Ground water and drinking water. Encontrado en <http://www.epa.gov/safewater/wot/index.html>el día:29/jun/2010
- García, D. s/a “El Ciclo del Agua”encontrado en <http://www.imta.mx/educacion-ambiental/aprende/interface.html> consultado el 01-julio-2010.
- García, I., Martínez, A., Vidriales, G., 2008. Balance hídrico de la cuenca del río Pixquiac, encontrado en: http://www.fmcn.org/documentos/01_Anexo1_INFORME_BALANCE_HIDRICO.pdf el 3/marzo/2010
- Global Water Watch-Veracruz, 2008. “La calidad del agua, en la mira ciudadana”, Red de Monitoreo Comunitario del Agua de la Cuenca del Río Pixquiac, hoja informativa, encontrado en: <http://gww.auburn.edu/Mexico/Docs/Pixquiac08May.pdf> el día: 29/febrero/2010.
- Guía de mantenimiento de Endress + Hauser encontrado en, [http://www.es.endress.com/eh/sc/europe/es/es/home.nsf/imgref/F36D9363D9C0AA03C12576930041B89F/\\$FILE/Analisis_Parámetros_medida_op2.pdf](http://www.es.endress.com/eh/sc/europe/es/es/home.nsf/imgref/F36D9363D9C0AA03C12576930041B89F/$FILE/Analisis_Parámetros_medida_op2.pdf) consultado el 29/junio/2010.

- Jornada, 2003. “La importancia del Bosque de Niebla” encontrado en <http://www.jornada.unam.mx/2003/07/28/eco-d.html> el 12/Mayo/2010
- La Fuente, C. “El Ciclo del Agua”, El agua desde el cuidado del Medio Ambiente, encontrado en <http://educasitios.educ.ar/grupo094/?q=node/51>, consultado el día 03/julio/2010.
- León, L., s/a. Índices de calidad del agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México. Encontrado en: <http://www.science.uwaterloo.ca/~lfleonvi/artics/art09.pdf>. el día: 25 de noviembre de 2009.
- Organización Mundial de la Salud, 2008. Guías para la calidad del agua potable .3ra edit.vol11. Recomendaciones encontrado en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/index.html el día: 25/jun/2010.
- Rodier, J.; Beuffe, H. *et al.*, 1984. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie Graphique carbonique" inséré dans une pochette. Lexique, Paris. Encontrado en : <http://www.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alphaeng.html?lang=eng&i=1&index=enw&srchtxt=TURBIDITY> el día : 30 de enero de 2010.
- Rojas, R., 2002. “Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para uso y consumo humano” Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente , División salud y Ambiente, Lima, encontrado en: http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d25/075%20vigilanciaycontrol_calidaddeagua/cepis_guia_vigilanciaycontrol_calidaddeagua.pdf el día: 11/julio/2010.
- Sánchez, J., 2001. El Ciclo Hidrológico. Departamento de Geología, encontrado en : <http://ausma.uncoma.edu.ar/academica/materias/riego/clave/temas/T020.pdf>, el día 07 de diciembre de 2009.
- Sandia, L., s/a. “El agua en los estudios de impacto ambiental” revista La Era Ecológica, núm. 4 Especial del agua, encontrado en: http://www.eraecologica.org/revista_04/era_ecologica_4.htm?impacto_ambiental.htm~mainFrame, el día 28 /junio/2010.
- SEDESMA, 2003. Actualización del programa de ordenamiento urbano de la zona conurbada Xalapa-Banderilla-Emiliano Zapata-Tlalnelhuayocan, Ver., encontrado en http://informacion.sedesmaver.gob.mx/transparencia/FraccionVII/Regionales/009_ActualProgOrdUrbXalBanEmZapTlal.pdf consultado el 25/abril/2010.
- SEMARNAT, 2005. Calidad del Agua, Agua.cap. 7, México D.F., encontrado en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/07_agua/cap7_2.html el día 25 de abril de 2010.
- SENDAS, 2001. “Gestión compartida de la cuenca del río Pixquiac”, encontrado en: <http://sendas99.wordpress.com/gestion-integral-de-la-cuenca-del-rio-pixquiac/> el 14/Marzo/2010