



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Instituto de Ecología

PROPUESTA DE MANEJO DE AGUA
RESIDUAL EN DOS COMUNIDADES DE
LA CUENCA DEL RÍO CUITZMALA,
JALISCO.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

ANAITÉ DAFNE VACA VELASCO

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. MARISA MAZARI HIRIART
COMITÉ TUTOR: DRA. ALICIA CASTILLO ALVAREZ
DRA. ELENA LAZOS CHAVERO
TUTORA INVITADA: DRA. HELENA COTLER AVALOS

MÉXICO, D.F.

AGOSTO, 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 7 de mayo de 2012, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA AMBIENTAL)** de la alumna **VACA VELASCO ANAITE DAFNE** con número de cuenta **99342492** con la tesis titulada **"PROPUESTA DE MANEJO DE AGUA RESIDUAL EN DOS COMUNIDADES DE LA CUENCA DEL RÍO CUITZMALA, JALISCO"**, realizada bajo la dirección de la **DRA. MARISA MAZARI HIRIART**:

Presidente: DR. JOSÉ MANUEL MAAS MORENO
Vocal: DRA. MA. TERESA ORTA LEDESMA
Secretario: DRA. ALICIA CASTILLO ÁLVAREZ
Suplente: DR. VÍCTOR JOAQUÍN JARAMILLO LUQUE
Suplente: DRA. HELENA COTLER ÁVALOS

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 8 de agosto de 2012.

M. del Coro Arizmendi

DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA

c.c.p. Expediente del (la) interesado (a)

Agradecimientos

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por la formación académica y la oportunidad de obtener un logro más.

A CONACYT, por la beca otorgada para poder realizar mis estudios de posgrado.

Al proyecto CONACYT 50955 “Desarrollo interdisciplinario de modelos conceptuales y herramientas metodológicas para el estudio de los servicios ecosistémicos” y fundación Packard, por el financiamiento recibido para el desarrollo de la presente investigación.

A mi tutora la Dra. Marisa Mazari por su confianza para la realización de esta investigación.

A los miembros del comité tutorial:

Dra. Alicia Castillo, Dra. Elena Lazos y Dra. Helena Cotler, por su apoyo, comprensión y valiosos consejos durante el desarrollo de esta tesis.

A los miembros del jurado Dr. Manuel Maass, Dra. Teresa Orta y Dr. Víctor Jaramillo por su tiempo y valiosas contribuciones, mismas que fueron relevantes para el desarrollo de esta tesis.

“El agua es la fuerza motriz de toda la naturaleza” Leonardo da Vinci.

A Patricia Martínez, Armando Rodríguez, Lilia Espinosa, especialmente a Luz María Aranda y Georgina García por el apoyo y comprensión que me brindaron y que fueron indispensables para poder culminar con esta tesis.

A la Biól. Georgina García Méndez por el apoyo logístico recibido en la realización de la tesis y de la maestría en general.

A los miembros de la Estación de Biología Chamela-Cuixmala: Dr. Jorge Vega y Nachita por sus atenciones y hospitalidad, a doña Eva y doña Mago por la exquisita comida con la que me alimentaban, a Salvador Araiza por el apoyo en campo.

Especialmente al casi biólogo Abel Verduzco por su valiosa ayuda y acertados consejos en campo. Por ser uno de los principales pilares para la elaboración de esta tesis, ya que sin su ayuda nada de esto sería posible.

A los pobladores de La Eca, San Miguel y Francisco Villa, cuya ayuda fue indispensable para la realización de este trabajo.

Al M. en CB. Armando Navarrete por su apoyo y valiosos consejos que me ayudaron a aprender y a crecer.

A los M. en CB. Gustavo Pérez y Emilio Díaz por sus consejos.

A los Biól. Marco Antonio Tapia, Rosa Solano, Alejandra Sacbel Monsiváis por su apoyo en campo.

A los cuasi biólogos Juan Pérez, Alejandra Márquez por su apoyo en campo.

A Adriana Pérez, por su ayuda en el laboratorio.

A Adriana Flores por su ayuda en los trámites finales.

A la Biól. Elizabeth Chávez por su ayuda en la fase final de la tesis.

"Miles de personas han sobrevivido sin amor; ninguna sin agua". W.H.Auden.

Agradecimientos personales

Para quienes me enseñaron a aprender, crecer, creer, confiar y que ahora son parte importante en mi vida: Armando, Rocío, Aslam, Felipe, Elisa, Jorge, Alejandra.

Para quienes han estado allí tendiéndome su mano y fortaleciéndome con sus consejos y experiencias: Alma, Anidia, Giovanni, Héctor, Yadira, Gabriela, Emma, Daniel, Marco, Eduardo, Esmeralda, Mónica, Daniela, Roxana, Horacio, Elizabeth, Anuar, Ivonne, Mariana, Arturo. Ustedes refuerzan día a día a la persona que soy y sin ustedes nunca habría llegado hasta aquí.

A mi familia que son una gotita que día a día me ayuda a llenar el vaso.

A todos los amigos y compañeros del laboratorio de Ecología Química: Jaqueline, Nallely, Paty, Marisol, Omar, Bety y demás personas que allí habitan por ayudarme a llevar el día en el laboratorio, y principalmente a todos los Chamelos que me ayudaron a lograr el objetivo e hicieron de cada uno de esos viajes valiera la pena.

“El alcohol es malo, pero el agua es aun peor: ¡te mata si no bebes!”. Mark Twain.

Dedicada con mucho amor para:

Armando Navarrete Segueda por mostrarme la luz en la oscuridad.

Gracias por tú apoyo, comprensión y amor. Te amo muchísimo.

Mis padres: María Luisa y David por ser los pilares que definen a la persona que ahora soy.

Tzitzitlini Por que tú presencia en mi vida me hace querer ser cada vez mejor.

El agua “es de todos y es de nadie”. Pertenece a la tierra y a los seres vivos, incluyendo al ser humano. Se distribuye equitativamente de acuerdo a necesidades, costumbres y normas comunitarias, y según su disponibilidad cíclica.

Resumen	1
Abstract	1
1. Introducción	2
2. Marco Teórico	3
2.1 Cuencas hidrográficas	3
2.2 Restauración de la calidad del agua.	3
2.3 Alteración de la calidad del agua	4
2.3.1 Indicadores de calidad de agua	4
2.3.2 Aspectos microbiológicos de la calidad del agua	5
2.4 Sistemas de tratamiento	7
2.5 Agua y sociedad	8
2.5.1 Aspectos sociales relacionados con los recursos hídricos	9
2.5.2 Salud pública	10
2.6 Saneamiento integral	10
3. Justificación	11
4. Objetivos	13
4.1 Objetivo general	13
4.2 Objetivos particulares	13
5. Descripción del área de estudio	13
5.1 Poblados en la cuenca del río Cuitzmala	14
6. Métodos	16
6.1 Selección de sitios de muestreo	16
6.1.1 Selección de parámetros de calidad de agua	21
6.2 Trabajo de campo	23
6.2.1 Encuesta: diseño y aplicación de cuestionario	23
6.2.2 Métodos fisicoquímicos y bacteriológicos	27
6.3 Métodos de análisis de resultados	28
6.3.1 Determinación de calidad de agua	28
6.3.2 Comparación estacional	29
6.3.4 Indicadores importantes en el sistema	30
6.3.5 Comparación con Normas nacionales e internacionales	31
6.3.6 Encuestas	31
7. Resultados	31
7.1 Medición del caudal y profundidad del río	31
7.1.1 Velocidad del caudal	31
7.1.2 Profundidad del río	31

7.2 Calidad del agua del río Cuitzmala	32
7.3 Variación entre sitios en los periodos de lluvias y seca	33
7.3.1 Nutrimientos	33
7.3.2 Físicoquímicos	36
7.3.2 Bacteriológicos	40
7.4 Diferencias entre los sitios problema	41
7.5 Análisis de componentes principales	42
7.5.1 Componentes principales relacionados con los sitios de muestreo	44
7.6 Calidad del agua del río Cuitzmala con respecto a las normas nacionales e internacionales	45
7.7 Encuesta: Resultados del cuestionario	50
7.7.1 Información general	50
7.7.2 Tipo de agua utilizada en las diversas actividades	51
7.7.3 Cantidad de agua que se consume diariamente	52
7.7.4 Implicaciones económicas relacionadas con la obtención del agua	52
7.7.5 Implicaciones relacionadas con la calidad del agua que se utiliza	53
7.7.6 Ingresos económicos	55
7.7.7 Recolección de aguas residuales y calidad de agua	56
8. Discusión	59
9. Propuestas	68
10. Conclusiones	76
Bibliografía	78
Anexo I	89
Anexo II	94
Anexo III	101
Anexo IV	103

Resumen

El río Cuitzmala localizado al sureste del estado de Jalisco, es la principal fuente de abastecimiento de agua en donde se encuentran pequeños poblados rurales enfocados a la producción agropecuaria como La Eca, San Miguel y Francisco Villa.

Se evaluó la calidad del agua en las comunidades de San Miguel y Francisco Villa utilizando a la localidad La Eca como sitio de referencia. Se realizaron pruebas fisicoquímicas y microbiológicas cubriendo un periodo anual de lluvias (2010) y seco (2011), además se consideró la opinión de los habitantes locales a través de cuestionarios enfocados en usos y costumbres sobre uso del agua.

Los resultados muestran que las actividades humanas desarrolladas en la cuenca influyen negativamente en la calidad del agua del río, ya que en los sitios donde se presentan descargas de contaminantes derivados de estas actividades, hay una menor calidad del agua indicada por un bajo Índice de Calidad de Agua, además de valores que superan lo sugerido por las Normas Oficiales Mexicanas. Al respecto los habitantes locales perciben cambios en la calidad del agua con respecto a la temporada al considerar características organolépticas como olor, color y sabor, en donde observan que la temporada seca es de mejor calidad. Sin embargo no asocian la calidad del agua a la incidencia de enfermedades gastrointestinales ya que ahora utilizan agua embotellada para consumo personal.

Se concluye que los sitios centrales de cada localidad requieren monitoreo, además de que constituyen un potencial riesgo de transmisión de agentes infecciosos de transmisión hídrica, por lo que es necesaria la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con la intención de aprovechar las aguas residuales tratadas en beneficio de los actuales y futuros usuarios, además de resolver los efectos nocivos que pueden causar estas.

Abstract

Cuitzmala river, located southeast of the state of Jalisco, is the main source of water supply in small towns focused on rural agricultural production like La Eca, San Miguel and Francisco Villa.

We assessed the quality of water in the towns of San Miguel and Francisco Villa using the town La Eca as a reference site. We carry out physicochemical and microbiological tests covering an annual period: rainy (2010) and dry (2011), and we also considered the views of local people through questionnaires focused to customs and water use.

The results show that the human activities develop in the watershed negatively affect the water quality of the river, as in the sites where discharges of pollutants are derived from these activities, there is less water quality as indicated by low Quality Index Water, besides to values higher than suggested by the Mexican Official Standards. In this regard, local people perceive changes in water quality over the season when considering organoleptic characteristics such as odor, color and flavor, where they observe that the dry season is of better quality. However, they don't associate the water quality with the incidence of gastrointestinal diseases due to they now use bottled water for personal consumption.

We conclude that the central sites of each location require monitoring, besides constituting a potential risk of transmission of infectious agents transmitted by water, so it is necessary the implementation of a system of wastewater treatment with the intention to use the treated sewage for the benefit of current and future users, in addition to solve the adverse effects that this water can cause.

1. Introducción

Los servicios ambientales son aquellos bienes y servicios que las personas obtenemos a partir de nuestro entorno natural (MA, 2003).

En términos hídricos, la importancia de reconocer la dependencia de las comunidades humanas con respecto a los bienes y servicios que los ecosistemas les proveen (Daily, 1999) radica en que éstos beneficios se encuentran estrechamente ligados al ciclo hidrológico como: regulación de la cantidad y calidad del agua, lo que permite el adecuado suministro de agua dulce para diversos usos, así como la realización de actividades recreativas (MA, 2003).

La obtención del agua implica alteraciones sobre el ecosistema, por lo que se han desarrollado diferentes herramientas que orientan el uso adecuado de los ecosistemas como: saneamiento, ordenamiento ecológico, aprovechamiento sostenible, conservación y restauración de los ecosistemas (Maass, 2003).

La finalidad de estas herramientas es contrarrestar las presiones ambientales derivadas del aprovechamiento de los recursos naturales, que en el caso de los recursos hídricos, causan contaminación y escasez de agua para consumo humano, así como para la generación de alimentos, situación que pone en riesgo su disponibilidad para la humanidad, causando importantes problemas de salud pública, pérdidas económicas y conflictos sociales (Vargas y Pineyro, 2005). Lo anterior se puede evitar, centrando esfuerzos desde diferentes áreas del conocimiento que permitan un estudio integral de los ecosistemas, y de éstos con relación a su aprovechamiento por parte de los diversos grupos sociales.

En México, la presión por los recursos hídricos es cada vez mayor, se estima que el promedio anual de lluvia es de 869 mm (CONAGUA, 2010), de los cuales, alrededor del 72% de agua regresa a la atmósfera vía evapotranspiración (Tortajada, 2005). Además, el comportamiento hidrológico estacional implica que la época de lluvias se distribuya sólo en cuatro meses (Piña, 2007) que, sumado a una distribución heterogénea del agua (debido a que los principales ríos se encuentran en la región sur), constituyen factores que limitan el agua principalmente en la región centro y norte del país (CONAGUA, 2010). Estos aspectos influyen en que la cantidad de agua directamente accesible para aprovechamiento en México, provenga en su mayoría de cuerpos de agua superficial

como ríos o lagos, seguida de los sistemas de agua subterránea (CONAGUA, 2010; SEMARNAT, 2011).

2. Marco Teórico

2.1 Cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas son unidades estructuradas jerárquicamente, con límites bien definidos (llamados parteaguas) que tienen la característica de que toda el agua que cae dentro de ella drena hacia un sitio o cauce común (Maass, 2003); lo que las hace unas excelentes unidades de manejo de ecosistemas (Sarukhán y Maass, 1990). Funcionalmente, son unidades que permiten identificar patrones de flujo de agua, materia y energía dentro del ecosistema (Sarukhán y Maass, 1990). Y son útiles como unidad de planificación donde se concretan las políticas de desarrollo socioeconómico y medioambiental (González, 2004).

Una cuenca debe definirse a través de sus interacciones, desde el conocimiento del ciclo hidrológico, hasta las interacciones de la sociedad que depende de los recursos como clima, relieve, suelo, vegetación, además de calidad, cantidad y temporalidad del agua (Cotler, 2004). Por lo que el manejo integral de cuencas, debe ser un proceso dirigido a lograr un desarrollo social y económico sostenible en el tiempo, considerando a la cuenca como unidad funcional, en la cual es posible llevar a cabo planificación, además de concretar políticas de desarrollo socioeconómico y medioambiental (Brooks et al., 1997; Cotler, 2004; Dourojeanni, 2004; González, 2004; Vargas y Pineyro, 2005).

La importancia de la conservación de cuencas, así como de sus ecosistemas, radica en que es necesario perpetuar su biodiversidad y los servicios ambientales que proporciona a la sociedad (Carabias y Landa, 2005).

2.2 Restauración de la calidad del agua.

La restauración surge por la necesidad de mejorar una condición ambiental que no satisface las necesidades humanas (Cervantes et al, 2008). Se refiere al proceso de ayudar en el restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido (SER, 2011), trata de recuperar los servicios ambientales de suministro y regulación, a través de la recuperación de la estructura y funciones ecológicas, como restablecimiento de poblaciones o comunidades vegetales, sucesión, flujos de agua, recuperación del suelo, entre otros, además de considerar el aspecto histórico-cultural y económico que caracteriza al sistema socio-ambiental (Cervantes *et al.*, 2008). Aunque también, puede

enfocarse únicamente a mitigar y compensar las disfunciones ambientales, como por ejemplo: el restablecimiento de las condiciones hidrológicas; o reducir sus condiciones de afectación e incrementar su capacidad productiva (Carabias *et al.*, 2007), como puede ser la reconstrucción del curso de la corriente (Berger, 1993).

Es imprescindible la conservación de la cubierta vegetal, pues ello contribuye a mantener en buen estado los ecosistemas acuáticos como parte del ciclo hidrológico (Carabias y Landa, 2005). Además, evitan la erosión del suelo, reducen la sedimentación de los cuerpos de agua, disminuyen el riesgo de deslaves e inundaciones, que son un peligro para el suministro de aguas río abajo (Carabias y Landa, 2005).

2.3 Alteración de la calidad del agua

La contaminación del agua es una alteración que puede ser definida como la presencia en el agua de impurezas (exceso de materia, compuestos químicos, energía o microorganismos) en tal cantidad y naturaleza que impidan su uso para un propósito establecido (Brooks *et al.*, 1997; García, 2002). Así el término no establece una restricción entre aguas contaminadas y no contaminadas, este calificativo se atribuye en función de su uso (Jiménez, 2001; Vargas y Pineyro, 2005).

Debido a que la disponibilidad de agua de cierta calidad sigue siendo un problema, son los indicadores de calidad de agua los que permiten evaluar el recurso antes de tomar una decisión sobre su uso y manejo (Vargas y Pineyro, 2005).

2.3.1 Indicadores de calidad de agua

Para evaluar la calidad del agua, existen diversos indicadores o parámetros que permiten entender de manera cualitativa y cuantitativa los cambios que las diferentes aplicaciones del agua pueden originar en su calidad. Estos indicadores se pueden clasificar en función ya sea de su origen o de su impacto en el medio, su persistencia, formas de remoción, o por sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas, etc. (García 2002; Seoáñez, 1996).

Una evaluación práctica de la calidad de agua según la CONAGUA, se puede llevar a cabo utilizando sólo tres indicadores con sus diferentes intervalos de acuerdo al uso: la Demanda Bioquímica de Oxígeno durante 5 días (DBO₅), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). Los dos primeros se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua residual

doméstico e industrial. Resultan de particular importancia pues su concentración incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, con la consecuente afectación a los mismos. Mediante la DBO_5 se determinan los requerimientos de oxígeno relativo de las aguas residuales, efluentes y aguas contaminadas, mientras que la DQO se define como la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas (APHA, 2005).

Por su parte, los SST tiene su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo, el incremento en su concentración indica que un cuerpo de agua pierde la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática (CONAGUA, 2010).

Así, para poder establecer de manera adecuada el grado de perturbación de un sistema acuático, se deben considerar además parámetros físicos, químicos y biológicos. Los dos primeros hacen referencia al instante en el cual se obtuvo la muestra por lo que no revelan el estado anterior al de la toma de muestra, ni la capacidad de recuperación natural después de un aporte contaminante (Seoáñez, 1996).

Se definen como las características físicas y organolépticas del agua como la turbidez, sólidos disueltos (SD), sólidos en suspensión (SS), sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), sólidos sedimentables (SS), temperatura y conductividad eléctrica (Contreras y Molero, 1998; García 2002; Jiménez, 2001). Los parámetros químicos, están asociados con elementos o compuestos químicos, como alcalinidad, salinidad, nutrientes como nitrógeno total (NT), fósforo total (PT); carbono orgánico total (COT), gases como oxígeno disuelto (OD), así como DQO, DBO_5 y pH (García, 2002; Jiménez, 2001).

2.3.2 Aspectos microbiológicos de la calidad del agua

Los parámetros biológicos, determinan el grado de alteración del agua cuando se le introducen sustancias tóxicas, materia orgánica que puede descomponerse, o microorganismos que pueden provocar un deterioro de las condiciones aeróbicas de los cuerpos de agua y, son responsables de la transmisión de enfermedades, por lo que su efecto dentro de las aguas puede resultar nocivo para la salud. Las bacterias pueden ser indicadores generales de contaminación microbiológica y entre ellas están las coliformes y enterococos fecales, que a su vez pueden indicarnos la posible presencia de patógenos en el agua (Berg *et al.*, 1978; García, 2002; Madigan *et al.*, 2008; Seoáñez, 1996; Skraber *et al.*, 2004; Toranzos *et al.*, 2007).

En lugares donde se consume agua no desinfectada o se reutiliza el agua, el factor de riesgo más importante es la exposición a agentes biológicos, como bacterias patógenas (Asano y Levine, 1998), pues estos microorganismos son responsables de diversas enfermedades intestinales como cólera, disentería, fiebre tifoidea, paratifoidea y diarrea en zonas tropicales (Madigan *et al.*, 2004). Su propagación es fomentada por las deficientes condiciones sanitarias y la falta de higiene (Mara, 1980; Toranzos *et al.*, 2007).

2.3.2.1 Coliformes fecales

Un grupo de bacterias gram negativas, fáciles de detectar y que además han resultado ser un buen indicador de contaminación fecal en el agua, ya que tienen una excelente correlación con heces de animales de sangre caliente, es el grupo de coliformes (Mara, 1980). Este parámetro es usado desde hace 100 años como señal de deterioro y de posibles problemas de salud pública (Toranzos *et al.*, 2007). Por lo que, el número de coliformes fecales (CF) en efluentes contaminados, brinda una primera visión de la calidad bacteriológica del agua (Mara, 1980).

Este grupo incluye géneros como *Escherichia* y *Aerobacter*. Siendo la especie más representativa del grupo *E. coli*, sin embargo, también se pueden encontrar los géneros bacterianos: *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter* (Mara, 1978; Metcalf y Eddy, 1991; Madigan, 2004, APHA, 2005). Estos organismos se desarrollan en diversos medios de cultivo, entre los que destaca el m-FC (Toranzos *et al.*, 2007).

2.3.2.2 Enterococos fecales

Son bacterias gram positivas, relativamente tolerantes a cloruro sódico y al pH alcalino. Están presentes en heces de animales de sangre caliente, y presentan una tasa de mortandad más baja que la de coliformes en agua. Este grupo se separó del resto de los estreptococos fecales porque son indicadores más finos de contaminación fecal, además de que sus patrones de persistencia son similares a los de las bacterias patógenas transmitidas por el agua, por lo que son de gran aceptación como indicadores microbiológicos de calidad de agua, debido a que se consideran estrechamente relacionados con riesgos a la salud asociados a enfermedades gastrointestinales (APHA, 2005; Toranzos *et al.*, 2007). Siendo particularmente importantes cuando se trata de aguas de uso recreativo (Jin *et al.*, 2004).

Este grupo incluye todas las especies descritas como miembros del género *Enterococcus*, los cuales se caracterizan por crecer a temperaturas entre 20 y 45°C, con resistencia hasta 60°C por 30 min y pH de 9.6; crecen en medio m-E o KF (Merck, 1994; Toranzos *et al.*, 2007). Se diferencian del grupo de los estreptococos por crecer en pH más básicos (9,6) y entre 10-45°C (APHA, 2005). Aunque generalmente se encuentran en menor cantidad en comparación con otros organismos indicadores (Metcalf y Eddy, 1991), tienen la ventaja de sobrevivir durante más tiempo que *E. coli* en medios acuáticos y son más resistentes a la desecación y cloración (OMS, 2006).

2.4 Sistemas de tratamiento

Hay tres aspectos inter-relacionados en el manejo de aguas residuales: recolección, tratamiento y reúso. El primero es el mejor logrado debido a la red de alcantarillado, sin embargo, también es un método costoso y pocas comunidades de climas cálidos son capaces de costearlo (Mara, 1980). En cuanto al tratamiento de aguas residuales o contaminadas, existen procesos fisicoquímicos y procesos biológicos. Los primeros se basan en las diferencias en ciertas propiedades químicas entre el contaminante y el agua, mediante la adición de reactivos. En los segundos se utilizan microorganismos que se alimentan de materia orgánica, o plantas que pueden absorber determinados compuestos, (éstos se emplean cuando los contaminantes son orgánicos biodegradables o cuando hay aniones inorgánicos como nitritos, nitratos, sulfatos, sulfuros o fosfatos) (Noyola, 2003).

El tratamiento tiene por objeto eliminar del agua compuestos que deterioran la calidad en relación con el uso al que se le quiera destinar, ya que es precisamente la naturaleza y la cantidad de elementos procedentes de las actividades de producción y consumo humano los que la definen y limitan su empleo para los diversos usos (agua para uso y consumo humano, agrícola, industrial, recreativo).

Así, el término “tratamiento de agua” es un concepto que implica la integración de procesos y operaciones para modificar la calidad hasta el grado requerido para el uso o disposición a los cuales se destine (Seoáñez, 1996; Jiménez, 2001). Por ello, el tipo de tratamiento debe ser elegido y adaptado en función de la densidad de la población, factores socioeconómicos, condiciones climáticas, requerimientos medio ambientales y de infraestructura, además de capacidad técnica (conocimiento y habilidades para el mantenimiento de dicho sistema). Este sistema debe ser operado tomando en cuenta la

protección a la salud pública y al medio ambiente, considerando que el sistema debe ser rentable, sostenible, es decir, que asegure el suministro de los servicios ecosistémicos (Onaindia, 2007), y debe permitir el desarrollo gradual del mismo (Mustaphata, 2008). Por lo que, el tratamiento convencional es el término utilizado para describir el método estándar de tratamiento de aguas residuales en los climas templados (Mara, 1980), y se compone idealmente de cuatro fases:

1. Tratamiento preliminar
2. Tratamiento físico (sedimentación)
3. Tratamiento secundario o biológico (aerobio)
4. Tratamiento del lodo residual producido en la fase 2 y 3 (anaerobio)

2.5 Agua y sociedad

El agua más que un elemento natural, está estrechamente vinculado con la historia cultural del ser humano. Para las culturas mesoamericanas, el agua es la fuente de la vida, su dios más importante: Tláloc (dios del agua y la fertilidad); era un símbolo de desarrollo (Uriarte, 2007; León-Portilla, 1992). Estas culturas supieron adaptarse al medio y modificarlo sin alterar su funcionamiento, debido a que hicieron un aprovechamiento racional de sus recursos e implementaron prácticas de manejo evitando alterar el funcionamiento del ecosistema. Un ejemplo de ello son las chinampas (Stephan y Zlotnik, 2001), consideradas un hallazgo agrícola de alta productividad (Rojas *et al.*, 1995), ya que aunque depende de la cantidad y calidad del agua, el sistema chinampero puede desarrollarse independientemente del régimen de lluvias. Su éxito también se debe a que los chinamperos han actuado como controladores internos del sistema (Jiménez y Gómez-Pompa, 1993).

El agua ha tenido un significado y valor profundo (mito poético y cultural) que está asociado con la cosmovisión y percepciones sobre el mundo y la naturaleza (León-Portilla, 1992).

El reconocimiento del agua como un recurso vital, ha hecho que se desarrollen teorías que hacen referencia a los problemas que pueden derivarse de la falta de agua como la hidrodiplomacia, que interrelaciona los factores naturales (agua, vegetación, suelo) con

los sociales (alimentación, urbanización, industrialización, crecimiento poblacional) mientras se vincula con aspectos políticos para propiciar un acceso equitativo al recurso (Vázquez *et al.*, 2006).

2.5.1 Aspectos sociales relacionados con los recursos hídricos

La dinámica del agua en el ecosistema es determinante para el desarrollo social (Gleick, 1993), ya que está relacionado con la producción de alimentos, además de la generación de ingresos para las comunidades que viven en las cuencas, en la costa, o que viven en los humedales y dependen de la pesca (Falkenmark, 2003). Los grupos humanos han utilizado los recursos naturales de su entorno, causando modificaciones y transformaciones de los ecosistemas (Toledo, 2009). Estas transformaciones se dan a través de interacciones dinámicas entre sociedad y naturaleza, dando lugar a sistemas socio-ecológicos, los cuales modifican la cantidad y calidad de los servicios antes mencionados (Berkes y Folke, 1999).

En estos sistemas socio-ecológicos, la valoración y el reconocimiento de los ecosistemas como fuente de desarrollo social, parte de las distintas percepciones sobre el ambiente, ya que los diferentes grupos sociales beneficiados de los ecosistemas tendrán que involucrarse en su aprovechamiento, conservación y restauración (Castillo *et al.*, 2006; INE, 2005). Además de que, con la participación de la sociedad se puede lograr soluciones concretas a problema ambientales específicos (Castillo, 1998), como en el caso del agua.

En México empieza a ser evidente la necesidad de involucrar a los habitantes locales, pues al ser los principales usuarios directos y cercanos al recurso (Bray, 1995), sus vivencias y opiniones facilitan el entendimiento de las causas de la transformación y degradación de los ecosistemas, además de que su participación favorece el desarrollo de estrategias para su manejo y conservación (Grumbine, 1994; Berkes y Folke, 1998), con la finalidad de prevenir daños y/o alteraciones irreversibles en los ecosistemas (Solórzano, 2008).

Un manejo inadecuado de los recursos naturales en conjunto con un agudo crecimiento poblacional, ha generado mayor estrés ambiental, enfrentamientos sociales, así como recursos contaminados y un deterioro en salud y bienestar en la sociedad (Vázquez *et al.*, 2006).

Nuestro país requiere de una gestión del agua centrada en el uso racional que se debe hacer del recurso, la promoción del pago por servicios ambientales, además de una promoción de la cultura ambiental que induzca el cuidado de los recursos, específicamente ahorro del agua a través del reúso de aguas grises, reciclaje de aguas negras saneadas y un manejo integral del la cuenca (Vázquez *et al.*, 2006).

2.5.2 Salud pública

La falta de agua, o una mala calidad de agua, tiene consecuencias sobre la salud y la economía (Vázquez *et al.*, 2006). Estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011), indican que en el mundo anualmente mueren aproximadamente 2.2 millones de personas por enfermedades diarreicas, principalmente de países en desarrollo. Dentro de las cuales cólera, tifoidea y disentería están relacionadas con vías de transmisión “fecal-oral”, mismas que pueden evitarse con acciones de mejoramiento en sistemas de agua de buena calidad o potable, alcantarillado y saneamiento, ya que se ha demostrado que con estas medidas, se reduce en 32% la frecuencia de las enfermedades diarreicas (CONAGUA, 2010; OMS, 2006).

Si no se garantiza la calidad del agua, las comunidades pueden quedar expuestas al riesgo de brotes de enfermedades intestinales y otras enfermedades infecciosas, siendo esto particularmente importante dada su capacidad de infectar simultáneamente a un gran número de personas (OMS, 2006). Además de causar la falta de desarrollo físico normal por desnutrición provocada por estas enfermedades intestinales, lo que puede traer consigo una deficiencia de aprendizaje debido al ausentismo escolar causado por la enfermedad (Vázquez *et al.*, 2006).

Los perjuicios económicos recaen en el presupuesto familiar, ya que una gran proporción de éste se invierte en la compra de agua, además de la imposibilidad de generar ingresos a causa de problemas de salud (Vázquez *et al.*, 2006).

2.6 Saneamiento integral

El suministro de agua de buena calidad en poblaciones rurales dispersas es un problema por resolver (Castillo *et al.*, 1998). La situación se agrava en países como México, en donde en las zonas remotas se combinan la marginalidad, la falta de educación sanitaria, y la pobreza extrema. Una estrategia de remediación es involucrar a la comunidad, tanto en la disponibilidad de abastos seguros, como en la protección de la calidad del agua, ya

que según recomendaciones de la OMS (2006), la integración de la comunidad en el saneamiento del agua es una buena alternativa para lograr soluciones concretas al problema.

Muchas poblaciones rurales no cuentan con servicios de drenaje, se descargan aguas residuales domésticas, además de desechos sólidos a los cauces y barrancas, lo que en conjunto con la deforestación de la vegetación, trae como consecuencia problemas de erosión con el azolvamiento respectivo (Flores y Domínguez, 1998).

El abastecimiento de agua de buena calidad apta para el consumo es esencial para la salud humana y el desarrollo sustentable (Castillo *et al.*, 1998).

3. Justificación

El estado de Jalisco, a diferencia del sureste mexicano, se localiza en una región con poca disponibilidad de agua dulce por persona al año, con una explotación intensiva de los acuíferos y cuyos cuerpos de agua superficial se encuentran con algún grado de alteración (Ávila, 2007). Los servicios de tratamiento de aguas son insuficientes y operan de manera inadecuada (Solís *et al.*, 1999), por lo que se registran conflictos potenciales en torno a los recursos hídricos (Ávila, 2007).

En la región sur del estado, se localiza la cuenca del río Cuitzmala, la cual presenta una gran diversidad vegetal en la que predomina la Selva Baja Caducifolia (SBC) además de importantes ríos y arroyos, lo que le confiere una gran importancia ecológica y un gran potencial para actividades turísticas (Castillo *et al.*, 2005).

Las actividades económicas realizadas en la cuenca del Cuitzmala generan cambio de uso de suelo debido principalmente a actividades agropecuarias, lo que reduce la superficie forestal y por tanto se modifica el ciclo hidrológico (aumento de las tasas de erosión por transporte y depositación de partículas de las zonas altas a zonas bajas, perturbando las características de los cauces que transportan estas partículas), lo que según Ferguson (2003) y Vikaskumar *et al.* (2007) genera una degradación del ecosistema. Aunado a lo anterior, la carencia de plantas de tratamiento de aguas residuales, servicios de saneamiento y drenaje en la zona (CEAE-Jalisco, 2012), propicia descargas de aguas residuales de manera directa al río, modificando la calidad de agua para los diversos usos.

Aunque el agua es uno de los recursos más valorados (Saldaña, 2008), los disturbios antropogénicos han propiciado una alteración del ecosistema (Murphy y Lugo, 1986). La ganadería extensiva, agricultura de temporal y de riego ocupan el 38% de la superficie de la cuenca. Gran parte de la zona conservada corresponde a la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, localizada en su región suroeste (Piña, 2007; Saldaña, 2008).

Los impactos tanto de las actividades agropecuarias, como de las descargas de aguas residuales mencionadas pueden derivar en enfermedades gastrointestinales por la disminución de la calidad de agua debida al aumento de patógenos (Cifuentes, 1997; Cifuentes *et al.*, 2002; Villa *et al.*, 1999). Esto nos indica que hay que centrar esfuerzos en acciones sistemas de abastecimiento de agua de calidad, así como de saneamiento ambiental (Villa *et al.*, 1999), para evitar la incidencia de estas enfermedades.

Debido a que Pereira *et al.* (2005) y Monstert *et al.* (2007), indican que las comunidades locales son actores sociales importantes en el manejo del agua, pues reciben los beneficios de su aprovechamiento, así como los daños que se derivan de las malas prácticas de manejo. Los actores sociales deben ser incluidos en el adecuado diagnóstico de las condiciones del río y en la identificación de la necesidad de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por lo anterior, es necesario implementar acciones que permitan la conservación de este recurso, la preservación de su calidad, la eficiencia en su uso, así como propuestas viables de reúso, centrando esfuerzos interdisciplinarios en la recuperación y mantenimiento del recurso hídrico de tal manera que beneficie a los actores locales.

El estudio se realizó en tres comunidades dentro de la cuenca del río Cuitzmala: La Eca y San Miguel ubicadas en la parte alta de la cuenca, y Francisco Villa, localizada en la parte baja de la cuenca, cerca de la desembocadura del río al mar.

En estas localidades se llevó a cabo un estudio comparativo sobre la calidad de agua y percepciones sobre algunos servicios hidrológicos (suministro de agua, calidad de agua, cambio en el cauce del río) tratando de encontrar diferencias atribuibles a su localización geográfica, uso de suelo y condiciones sanitarias en las que viven los pobladores. Lo anterior permitirá identificar el grado de contaminación del agua del río Cuitzmala tomando el sitio más alto -con menor perturbación- en la cuenca como sistema de referencia, además de analizar si es necesario que dichas comunidades cuenten con su

sistema de tratamiento de aguas residuales, pues son los habitantes locales quienes tendrán que llevar a cabo el mantenimiento de dicho sistema.

Esta tesis se inserta en el proyecto interdisciplinario entre el Instituto de Ecología (IE), el Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIECo), el Instituto de Investigaciones Sociales (IIS) y el Instituto Nacional de Ecología (INE): “Desarrollo interdisciplinario de modelos conceptuales y herramientas metodológicas para el estudio de los servicios ecosistémicos”, No. 50955 con apoyo de CONACyT. Este grupo trabaja en la cuenca del río Cuitzmala, donde además de indagar sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, se incluye la dimensión humana del manejo de ecosistemas, a través de la interacción con los habitantes en algunas localidades importantes de la cuenca.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Determinar la calidad de los cuerpos de agua que rodea a los poblados San Miguel y Francisco Villa en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco, para examinar si en conjunto con las percepciones de los habitantes locales, es necesario proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales en estas comunidades.

4.2 Objetivos particulares

1. Determinar los efectos de las principales actividades productivas de estas comunidades sobre la calidad del agua del río Cuitzmala.
2. Identificar las condiciones de salud de los habitantes locales asociadas con la calidad de agua, enfatizando en las enfermedades gastrointestinales.
3. Identificar la percepción de los habitantes locales, sobre la necesidad de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

5. Descripción del área de estudio

La cuenca del río Cuitzmala se localiza al noreste de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur (Cotler *et al.*, 2002), al suroeste del estado de Jalisco con límites geográficos entre los 19° 29' y 19° 34' de latitud norte y los 104° 58' y 105° 04' de longitud oeste. Se trata de una cuenca exorréica ubicada en la Región Hidrológica 15 y cuenta con una extensión de 1,089 km² (Piña, 2007; Martínez, 2007; Solórzano, 2008; CONAGUA

2010; Russildi, 2010; Sánchez, 2010). Su afluente principal es el río Cuitzmala, con una longitud total de 105 km (Russildi, 2010). Este río desciende desde una altitud de 1 500 msnm con el nombre de río Jirosto; aguas abajo recibe el nombre de río San Miguel, hasta confluir con el arroyo Tene, en donde ya se le conoce como río Higuierillas; sigue por El Chino, Yampizque y Puerta del Cedro; posteriormente baja por Guamuchal, Piedra Parada y El Caimán, hasta cruzar por la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, hacia Francisco Villa, para finalmente descargar sus aguas al Océano Pacífico.

Hacia los años cincuentas el gobierno favoreció la expansión de la agricultura (Castillo *et al.*, 2005), por lo que la vegetación natural ha sido transformada en pastizales y zonas agrícolas mediante el desmonte y la quema (Burgos, 1999). La tenencia de la tierra es federal, ejidal, comunal, y privada (Ceballos *et al.*, 1999), con distintos usos de suelo. Hacia la parte baja hay suelos relativamente profundos (alrededor de los 80 cm) que pueden considerarse de alta fertilidad (Cotler *et al.*, 2002; Maass *et al.*, 2005), sin embargo, en la parte alta dominan los suelos de tipo Regosol eútrico (Cotler *et al.*, 2002; Saldaña, 2008) que no tienen vocación agropecuaria, por lo que al cambiar el uso de estos suelos, se favorece su degradación. Lo que resulta particularmente importante ya que el desarrollo de este tipo de actividades productivas, implica, además de pérdida de suelo, un gran aporte de sedimentos a las aguas superficiales, debido al arrastre, lo que tiene implicaciones en la calidad de agua disponible.

5.1 Poblados en la cuenca del río Cuitzmala

La cuenca está localizada dentro de los municipios de Villa Purificación y La Huerta, en donde se encuentran las comunidades de La Eca, San Miguel y Francisco Villa. Estos poblados son pequeños, rurales, enfocados a las actividades agropecuarias (Piña, 2007; Solórzano, 2008), y con diversos grados de marginación, definida por la CONAPO (2010), como una precaria estructura de oportunidades sociales para los ciudadanos, sus familias y comunidades, lo que los hace más vulnerables y los expone a privaciones. De esta forma se pueden diferenciar las comunidades según el impacto global de estas carencias dentro de la población. Ejemplo de ello, son las variaciones en el desarrollo económico debido a diversas actividades productivas (comercio, servicios, actividades agropecuarias), el aislamiento con respecto a la cabecera municipal y a las vías de acceso (caminos de terracería, carreteras principales).

El municipio de Villa Purificación cuenta con 1973 km² de territorio y se localiza al suroeste del estado de Jalisco, colindando al norte con el municipio de Tomatlán, al este con los

municipios de Atlán de Navarro y Casimiro Castillo, al sur con el municipio de La Huerta y al oeste con los municipios de La Huerta y Tomatlán. (INEGI, 2011; Municipio de Villa Purificación, 2011). En esta zona, cerca del 66% se dedica a las actividades relacionadas con el sector primario, representado por agricultura de temporal, de humedad y de riego, en donde los principales cultivos son sorgo, papaya, sandía, maíz, frijol, arroz, chile, tamarindo, mango y limón (SEMARNAT, 2011; Enciclopedia de los Municipios, 2011); además de ganadería intensiva y extensiva de ganado bovino, que se alimenta directamente de las plantas propias del ecosistema o de pastizales inducidos, aunque también se ha identificado ganado ovino y caprino (SEMARNAT, 2011; Enciclopedia de los Municipios, 2011).

La comunidad de La Eca está localizada en la parte norte de la cuenca, cerca del inicio de la corriente principal del río Cuitzmala. Pertenece a la comunidad indígena de Jirosto, en el municipio de Villa Purificación (Piña, 2007; Solórzano, 2008). Es una población de 272 personas, en su mayoría mujeres (CONAPO, 2010). Aunque en un principio su principal actividad económica fue la agricultura de subsistencia, ahora la ganadería ha ganado terreno (Torales y Lazos, en prensa). Tiene servicios de salud ineficientes; carece de sistema de drenaje y solo cuenta con caminos de terracería (Sánchez, 2010), por lo que CONAPO (2010) la registra con un grado de marginación alto.

Según el INEGI (2010), la comunidad de San Miguel tiene 592 habitantes y consta de 29.23 km². Pertenece al municipio de Villa Purificación. La mayoría de sus tierras está destinada a la ganadería extensiva, seguida de agricultura de riego, además de tener una pequeña proporción de agricultura de temporal (Torales y Lazos, en prensa; Sánchez, 2010). Al igual que la localidad anterior, tiene servicios de salud poco eficientes; caminos de terracería y carece del servicio de drenaje en la mayor parte de la comunidad, pero con mayores oportunidades porque su índice de marginación es bajo según CONAPO (2010).

Por su parte, el municipio de La Huerta, cuenta con 1,749 km² de territorio y se localiza en la región costa sur; colinda al norte con el municipio de Villa Purificación, al noreste con Casimiro Castillo, al este con Cihuatlán y al sur con el Océano Pacífico, con una altura media de 500 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2011). Una de las corrientes principales es el río Cuitzmala, que cruza al municipio de norte a sur (Enciclopedia de los Municipios, 2011).

La comunidad de Francisco Villa se localiza en la parte sureste del estado en el municipio de La Huerta muy cerca de la costa. Cuenta con una población de 898 habitantes y 197 viviendas habitadas, de las cuales el 85% son propias. En contraste con las dos poblaciones anteriores, ésta cuenta con calles en su mayoría pavimentadas, asistencia de salud, y se ubica cerca de la cabecera municipal, por ello CONAPO (2010), lo registra con un índice de marginación muy bajo. Practican la ganadería extensiva (principalmente ganado bovino), así como la agricultura de temporal, humedad y riego, por lo que solo el 29% de la superficie total se encuentra sin alterar (Magaña, 2003). Entre los principales cultivos de la zona encontramos sorgo, maíz, limón, papaya, mango, jitomate y chile (Magaña, 2003; Abel Verduzco, comunicación personal, 2011).

6. Métodos

Para cubrir los objetivos del presente trabajo se consideraron aspectos fisicoquímicos y bacteriológicos del río, así como los aspectos sociales ligados al agua en las comunidades seleccionadas. La finalidad fue determinar la calidad del agua de las comunidades evaluadas y, con ayuda de los pobladores locales, deducir la necesidad de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Para ello, se aplicaron diferentes métodos, mismos que se detallan a continuación.

6.1 Selección de sitios de muestreo

Debido a la marcada estacionalidad del periodo de lluvias en la región y para tener una mayor representatividad de las condiciones ambientales, se realizaron dos muestreos cubriendo un ciclo anual. Estos periodos (septiembre 2010 y mayo 2011, coinciden con el registro de precipitación anual en la zona (Figura 1), y con lo reportado por Bullock (1986).

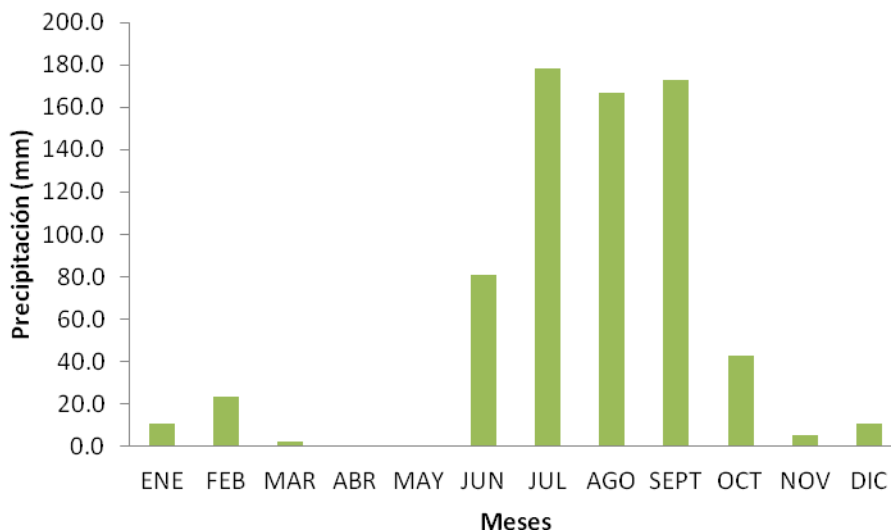


Figura 1. Precipitación correspondiente al muestreo 2010-2011 EBChamela.

Se eligieron tres sitios de muestreo, determinados con base en estudios previos realizados por López (2008), por Piña (2007) y por un recorrido de campo. Además se realizó un muestreo prospectivo en mayo de 2010 en la parte alta y baja de la cuenca del río Cuitzmala. Estos sitios corresponden a las localidades de: La Eca, San Miguel y Francisco Villa en los municipios de Villa Purificación y La Huerta (Figura 2).

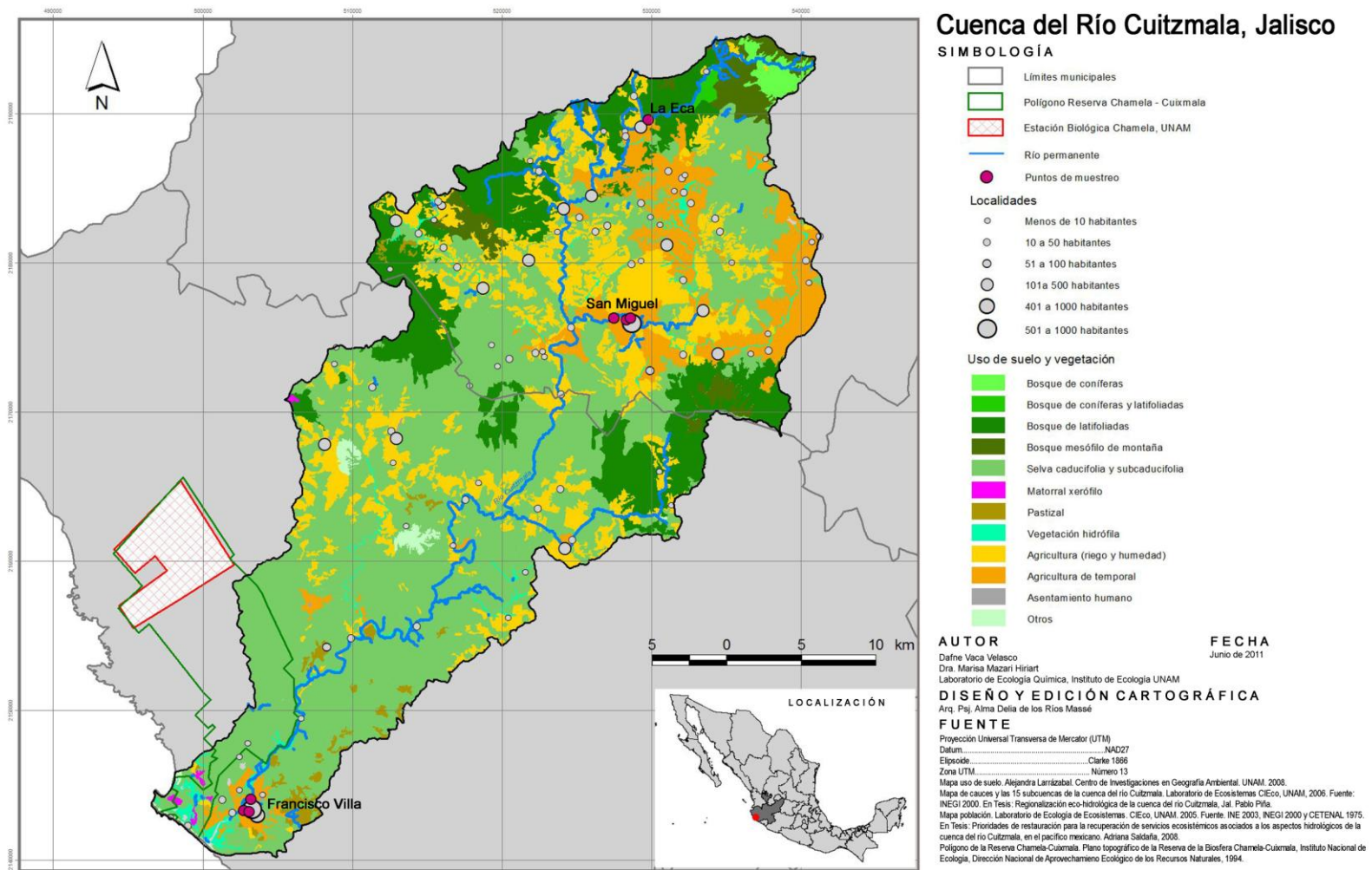


Figura 2. Área de estudio. Cuenca del río Cuitzmala, Jalisco, México.

Los sitios se seleccionaron considerando además la curva de pandeo de oxígeno de Hynes (1979), quien describe que las corrientes de agua poseen una capacidad de autopurificación debido a la oxidación de materia orgánica biodegradable, la cual está asociado con la concentración de oxígeno disuelto. Se establecieron tres puntos de muestreo para cada sitio (zona anterior al poblado, zona de descarga del poblado, zona de recuperación posterior al poblado). Excepto para la localidad de La Eca, que será utilizada como testigo por considerar que representa el agua más limpia, al ubicarse en la parte superior de la cuenca, aproximadamente a 7 km del nacimiento del río. Se obtuvieron siete sitios de muestreo denominados de acuerdo con la localidad y su ubicación con respecto del cauce del río, los sitios corresponden a: ECA, sitio ubicado antes de la localidad La Eca (Figura 3.a); SME, localizado en la entrada de la localidad de San Miguel, SMO, atraviesa por la localidad de San Miguel y SMS, localizado a la salida de San Miguel (Figura 3.b); así mismo, el sitio VE, se localiza en la entrada a la localidad de Francisco Villa, el sitio VC, atraviesa dicha localidad, y finalmente VS se localiza a la salida de esta localidad (Figura 3.c).

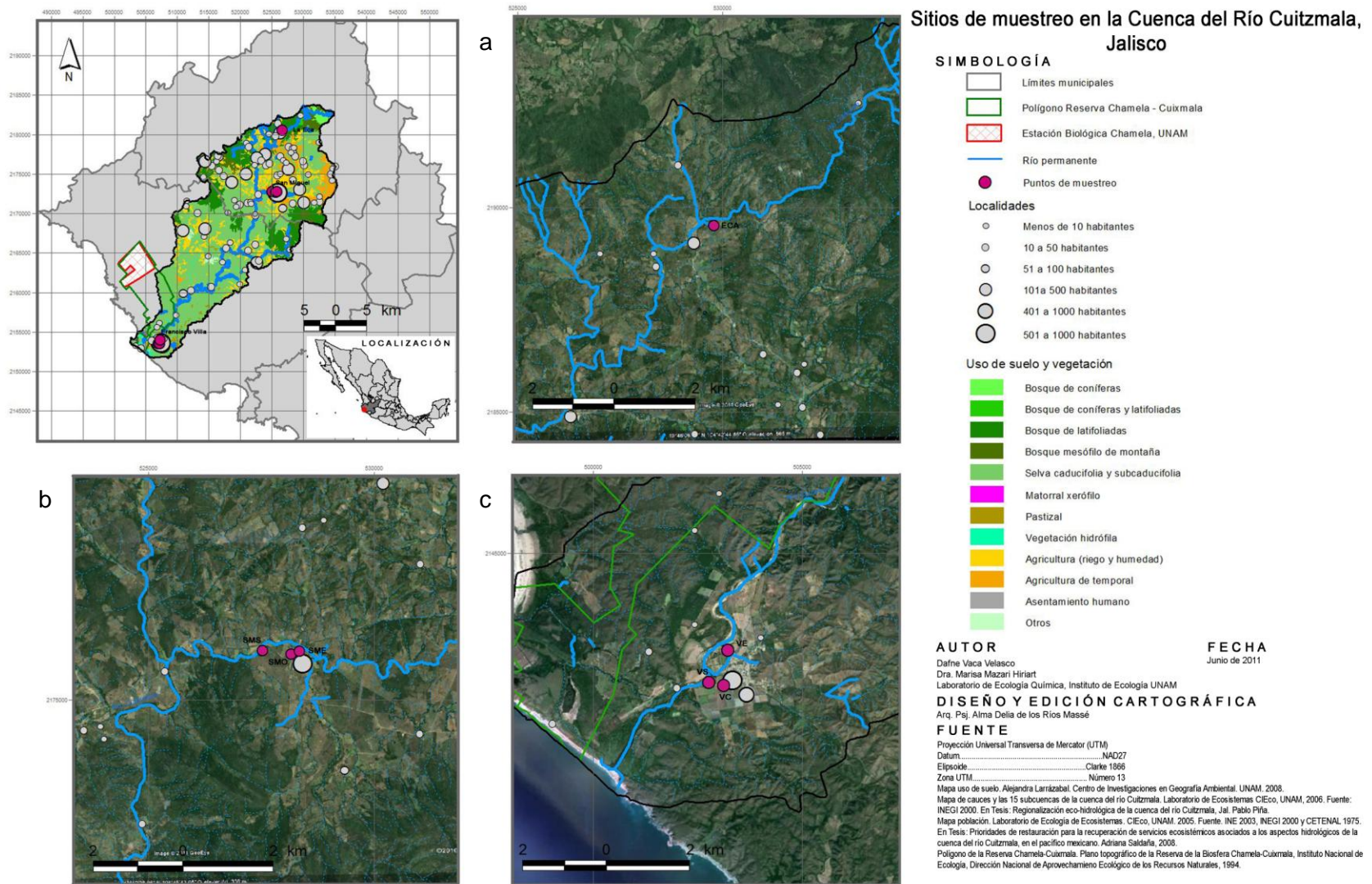


Figura 3. Sitios de muestreo a) La Eca, b) San Miguel, c) Francisco Villa.

6.1.1 Selección de parámetros de calidad de agua

Considerando las variables fisicoquímicas y microbiológicas propuestas en las Normas Oficiales Mexicanas: NOM-001-SEMARNAT-1996 "Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales" (DOF, 1997) y NOM-127-SSA1-1994 sobre "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" (DOF, 2000), además lo sugerido por APHA (2005) y Metcalf y Eddy (1991), se evaluaron diversos parámetros (Tabla 1 y 2), para determinar el impacto de las actividades antropogénicas sobre el agua superficial, y con ello, la calidad de esta agua. Se consideran características físicas, químicas y biológicas.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos evaluados en la cuenca del río Cuitzmala

Fisicoquímicos	Importancia
Temperatura ^{2,3,4}	Tiene efecto sobre la velocidad de las reacciones llevadas a cabo en el agua, desarrollo de especies acuáticas, y relacionada con la concentración de oxígeno disuelto, pH y conductividad.
pH ³	Su concentración controla la existencia de organismos y microorganismos acuáticos. Ya que la actividad biológica está restringida a valores de pH ente 6 y 8.
Oxígeno disuelto (OD) ³	Es necesario para la vida acuática, su disminución favorece el crecimiento de bacterias anaerobias, aparición de olores, colores y sabores que impiden su utilización para un determinado uso, además, está implicado en la velocidad de algunas reacciones bioquímicas en conjunto con la temperatura.
Turbidez ^{1,2,3}	Indica la materia suspendida residual o coloidal, como arenas, limos o arcillas, además de materia orgánica y organismos microscópicos. Es una medida de la extensión en que la luz es absorbida o dispersada por la materia suspendida en el agua.
Conductividad eléctrica ³	Puede ayudar a inferir la cantidad de sólidos totales presentes. Mide la capacidad de una solución acuosa para llevar una corriente eléctrica; está relacionada con la salinidad.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) ²	Su evaluación da una idea de la cantidad de materia orgánica que es susceptible a ser degradada. Determina la cantidad de oxígeno consumido en condiciones controladas después de cinco días de incubación a 20°C.
Sólidos disueltos totales (TDS) ¹	Tiene influencia sobre la turbidez de los cuerpos de agua.
Sólidos suspendidos totales (SST) ¹	Pueden conducir al desarrollo de depósitos de sedimentos y condiciones anaerobias. Causan turbidez y reducen la penetración de luz en el cuerpo de agua.
Nutrientos ¹	Representados principalmente por nitrógeno y fosforo, en conjunto con el carbono. En exceso, permiten el crecimiento de organismos no deseados, además de promover la eutrofización o contaminación del agua, como resultado del enriquecimiento en nutrientes y acumulación de materia orgánica, resultado de actividades humanas.

¹Metcalfe y Eddy, 1991; ²Seoáñez, 1996; ³Contreras y Molero, 1998; ⁴APHA 2005.

Tabla 2. Parámetros microbiológicos evaluados en la cuenca del río Cuitzmala

Coliformes fecales (CF) ^{1,4}	Indican contaminación de origen fecal, ya sea humano o de animales.
Enterococos fecales (EF) ^{1,4}	Se utiliza como complemento a los coliformes sobre contaminación ya sea humano o animal para poder determinar riesgos de epidemias por gastroenteritis y otras enfermedades del tracto gastrointestinal.
Cociente CF/EF ^{1,4}	Proporciona información general sobre si la contaminación deriva de residuos humanos o animales.

6.2 Trabajo de campo

En campo, se realizó la medición del caudal para tener una idea puntal de las condiciones en las que se encuentra el río en cuanto a flujo y velocidad, a través de la aplicación de un método que consiste en soltar un corcho en el río y cuantificar el tiempo que tarda en recorrer un metro. Esta medición se realizó 10 veces y se sacó un promedio, posteriormente se aplicó la fórmula:

$$V=d/t$$

Donde V=velocidad; d= distancia y t= tiempo. Debido a que tenemos el dato de distancia y de tiempo, al hacer la sustitución queda:

$$V= m/s$$

Donde d= 1 metro; t= promedio de tiempo resultado de las diez mediciones realizadas. La medición se realizó en la parte central del río a la que se logró tener acceso.

También se midió la profundidad del río introduciendo una regla graduada al río.

Finalmente, por alrededor de 1 minuto se midieron parámetros físico-químicos (Tabla 1) *in situ* del agua del río, utilizando una sonda multiparámetros YSI modelo 6600 V2-4, 2008, la cual está programada para hacer una medición cada 20 segundos.

6.2.1 Encuesta: diseño y aplicación de cuestionario

Considerando que en los socio-ecosistemas se presenta una interacción continua de todos sus elementos, en el tiempo y en el espacio, resulta imposible resolver problemas ambientales a través de sólo un elemento natural (Cotler, 2004). Por ello, es importante considerar percepciones de las partes interesadas, por lo que como primer trabajo exploratorio se realizó una encuesta para conocer aspectos sobre uso y costumbres en torno al agua, así como para identificar la necesidad en los pobladores de contar con un

sistema de tratamiento de aguas residuales. De esta manera, incluir a la población local permite entender su papel dentro de la problemática ambiental, además de proveer de herramientas para identificar alternativas de manejo orientadas a mantener la salud y al mantenimiento del ecosistema, para con ello mejorar la calidad de vida de los habitantes locales (Castillo *et al.*, 2005; Castillo *et al.*, 2009).

Se tomó como base el estudio previo de Lazos *et al.*, (en preparación), que consiste en una serie de entrevistas acerca de los servicios ecosistémicos de corte hidrológico, que da cuenta de la percepciones en la población de la parte alta de la cuenca sobre uso y costumbres en torno al agua. Esta entrevista fue estructurada en forma de cuestionario, con preguntas cerradas dirigidas a los temas de interés de la presente investigación, lo que facilitó su aplicación y procesamiento (Anexo I). Se incorporaron aspectos relacionados con salud social en relación con uso y consumo de agua, pérdidas económicas asociadas a dicho manejo del recurso y la relación existente entre los problemas de recolección de aguas residuales y la posibilidad de contar con un sistema de tratamiento de estas aguas.

Se consideró la encuesta como estrategia metodológica ya que resulta eficaz para la colecta sistemática de datos (López, 1998), es representativa de la población sin necesidad de entrevistar a todos los individuos de la comunidad (Reyes, 1999), pone énfasis en la visión de los actores (Vela, 2004), permite contrastar y comparar los resultados de manera directa y objetiva entre áreas, además de que implica una obtención de resultados de manera práctica, rápida y de bajo costo (López, 1998).

De acuerdo con López (1998), el cuestionario es el instrumento más usado para recopilar la información de la encuesta, la cual, puede ser aplicada casa por casa y de manera personal (se establece una comunicación cara a cara entre el encuestador y el respondente).

Se encuestó al 5% del total de habitantes de cada localidad, considerando datos poblacionales de INEGI (2005) (Tabla 3).

Tabla 3. Número de habitantes encuestados en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco.

Localidad	La Eca	San Miguel	Francisco Villa
Población total	262	557	802
Población encuestada		27	41

La encuesta fue realizada durante la primera semana de diciembre de 2010. Primero se hizo una separación entre las casas ubicadas a las orillas del río, las ubicadas en el centro de la comunidad y las que se encontraban en la periferia (más alejadas el río). Ésta organización puede responder a su nivel socio económico ya que de acuerdo con el Dr. Carlos Díaz (2010, comunicación personal) *“Las casas ubicadas en el centro de la comunidad generalmente presentan un mayor nivel socioeconómico, contrario a las casas que se encuentran más cerca del río que presentan un menor nivel socioeconómico”*. Para complementar lo anterior, se consideró la pertenencia de un local comercial como: farmacia, tienda de abarrotes o fonda; además se investigó acerca de la ubicación de los servicios de salud (Figura 4).

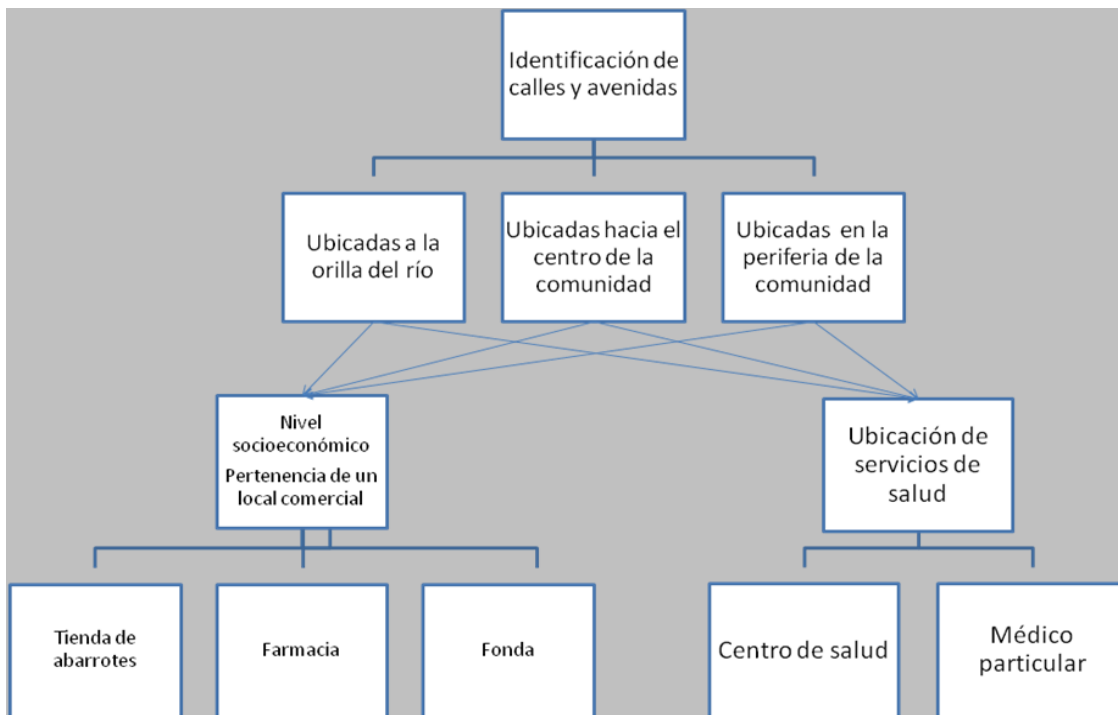


Figura 4. Metodología para la realización de cuestionarios

Con esto se seleccionaron las calles que se encuentran en la zona aledaña al río, calles en la zona opuesta al cauce del río, así como establecimientos comerciales y de salud. Una vez seleccionadas las calles se procedió a encuestar a los habitantes locales, considerando la accesibilidad de las personas encontradas en la calle, o en su local comercial o de salud.

Dicha encuesta consistió en preguntas cerradas con categorías de respuesta que ayudaron a capturar los datos.

El primer propósito fue conocer el uso que se da al agua para sus diferentes actividades, por lo que se formuló la pregunta: ¿Cómo utilizan el agua? Para ello, se establecieron cinco actividades principales sobre su consumo: para beber, la que se utiliza en el baño, la que se utiliza en la cocina, para lavar ropa y para los animales.

El segundo propósito fue conocer la cantidad de agua que utilizan por día, por lo que se establecieron los distintos contenedores comunmente utilizados para conservar y tener agua disponible: tambos, tinacos, cubetas, piletas, además de garrafón.

Debido a que según Lazos *et al.*, (en preparación), algunas comunidades de la parte alta no cuentan con agua entubada. El siguiente propósito fue conocer si esta situación representaba a las comunidades evaluadas, por lo que se se pregunto: ¿De dónde se obtiene el agua?, ¿Cómo se obtiene?, y ¿Si ello representaba algún costo?

Posteriormente, con la finalidad de conocer si existe relación entre el consumo de agua superficial (sin tratamiento previo), además del desarrollo de actividades recreativas en el río, implica consecuencias en la salud y en la economía de los habitantes locales, se plantearon preguntas que abordaron enfermedades más comunes, incidencia de estas enfermedades en diferentes grupos de edad, así como costos relacionados con dichas enfermedades.

El propósito siguiente fue conocer ¿Cuáles son los ingresos de las personas encuestadas?, esto con la finalidad de tener un acercamiento de cuánto dinero están invirtiendo por el acceso al recurso.

Finalmente, dado que el objetivo del presente trabajo fue conocer la necesidad de la instalación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, así como establecer de que tipo sería, con base en la calidad del agua de las comunidades evaluadas, se planteó como

tema saber: ¿Cómo es el sistema de desecho de aguas residuales?, así como conocer si ¿Consideran necesario para su comunidad la existencia de un servicio de esta naturaleza?, si ¿Están dispuestos a pagar por él?, y ¿Cuánto dinero estarían dispuestos a invertir en este servicio?

Los resultados de las encuestas aplicadas se integraron a una base de datos para su análisis, obteniendo porcentajes, además de una comparación entre las comunidades evaluadas.

6.2.2 Métodos fisicoquímicos y bacteriológicos

Para el análisis de calidad de agua, en cada sitio se tomaron muestras por triplicado de 500 mL para fisicoquímicos y 1L para bacteriológicos. El tipo de recipiente, condiciones de preservación, además de análisis, fueron seleccionados siguiendo los lineamientos estándar APHA (2005).

6.2.2.1 Fisicoquímicos

Para DBO_5 y SST, se tomaron muestras de 1L en frascos de polipropileno previamente esterilizados y se mantuvieron las condiciones de preservación según APHA (2005). Posteriormente, las muestras de DBO_5 se analizaron en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Estudios de Calidad de Agua (IDECA) por la Quim. Mercedes Sotelo. Las muestras de SST se analizaron en la Unidad de Análisis Ambiental de la Facultad de Ciencias, UNAM, siguiendo el procedimiento estandarizado de sólidos en solución por el método gravimétrico APHA (2005).

6.2.2.2 Nutrientes

Las muestras fueron tomadas en frascos de polipropileno lavados con detergente libre de iones y se tomaron alrededor de 200 mL de muestra para los análisis, siguiendo lo establecido por APHA (2005). El análisis de nutrientes se realizó de acuerdo con las técnicas descritas en el manual de operación Hach (2002), utilizando un espectrofotómetro Hach DR/2400 y en el caso de NT, PT y COT un digestor DRB:200.

6.2.2.3 Bacteriológicos

Los análisis bacteriológicos se realizaron de acuerdo con métodos estandarizados (APHA, 2005) para CF (9222-D) y EF (9230-C), por el método de filtración a través de membrana, considerando las diluciones 1:1, 1:10, 1:100 y en algunos casos 1:1000 dependiendo de las características de la muestra. Incubando en medio FC y KF marca Difco, durante 24 y

48 hrs a 45 y 37°C respectivamente. Para ello, se tomaron muestras de agua en recipientes polipropileno previamente esterilizados (120°C-1.5psi/durante 15min), los cuales permanecieron perfectamente cerrados hasta la toma de muestra.

Debido a que el agua con aporte agropecuario contiene contaminación fecal que puede ser derivada de humanos, animales domésticos o animales salvajes (Howell, et al., 1995), se consideró también el cociente entre coliformes y enterococos fecales (CF/EF) para tener una idea generalizada de los sitios cuyo aporte contaminante sea derivado predominantemente de actividad humana o animal. Un valor entre 0.1 y 0.7 indica aporte de animales domésticos, un valor menor de 0.1 corresponde a animales silvestres y un valor mayor a 4.0 indica aporte humano y/o agua residual doméstica (Jawson *et al.*, 1982; Meays *et al.*, 2004; Toranzos et al., 2007).

6.3 Métodos de análisis de resultados

6.3.1 Determinación de calidad de agua

Debido a que el objetivo principal del presente trabajo es determinar la calidad de agua en las comunidades estudiadas, se realizó la determinación del índice de calidad de agua (ICA). Este índice se expresa como porcentaje de agua pura y está basado en la composición física, química y biológica del agua, lo que nos permite saber el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo. Los valores cercanos al 100% indican que el agua tiene una calidad buena para los diferentes usos (SEMARNAT, 2012).

El ICA está basado en un modelo matemático que convierte los datos físicos en correspondientes índices de calidad por parámetro (L_i). Ya que algunos parámetros influyen más en la calidad del agua, se asignan pesos o factores de ponderación (W_i) según su orden de importancia respectivo. Finalmente se obtiene el promedio de los índices por parámetro y con ello se obtiene el ICA de la muestra de agua (SEMARNAT, 2012).

Para calcular el ICA en el presente trabajo se consideró la lista de fórmulas de parámetros indicado en el informe de la UNAM (2009), sobre el sistema de indicadores para el rescate de los ríos Eslava y Magdalena (Tabla 4).

Tabla 4. Parámetros para calcular el ICA

Parámetro	Li	li = 100	Wi
Conductividad eléctrica	$540*(\text{Cond})^{-0.397}$	Cond<86	2.0
OD (mg/L)	%	%	5.0
DBO ₅ (mg/L)	$120*(\text{DBO}_5)^{-0.673}$	DBO ₅ <1.335	5.0
N-NH ₃ (mg/L)	$45.8*(\text{NH}_3)^{-0.343}$	NH ₃ <0.103	2.0
CF (UFC/100 mL)	$346.74*(\text{CF})^{-0.27}$	CF<100	4.0
SST (mg/L)	$266.5*(\text{SST})^{-0.37}$	SST<14.5	1.0
SDT (mg/L)	$109.1-0.0175*(\text{SDT})$	SDT<521 SDT>6230=0	0.5

*La columna li=100 se refiere a los valores para los cuales el índice individual obtiene el máximo (excelente) valor dentro de su categoría. El oxígeno disuelto al ser un porcentaje no tiene una fórmula, se toma el valor que resulta de la medición.

En cuanto a las tendencias (intervalos) se consideran los siguientes:

Tabla 5. Intervalos de calidad de agua. UNAM, 2009.

Calidad	Uso	Rango
BUENO	Uso público urbano	80-100
	Uso agrícola	70-100
	Uso recreativo	50-100
REGULAR	Uso público urbano	50-80
	Uso agrícola	30-70
	Uso recreativo	30-50
MALO	Uso público urbano	0-50
	Uso agrícola	0-30
	Uso recreativo	0-30

6.3.2 Comparación estacional

Se realizaron histogramas que comparan los promedios de los resultados obtenidos en cada parámetro con respecto a las dos estaciones muestreadas.

6.3.3 Sitio de referencia e Identificación de sitios problema

A través de los resultados del ICA y de la comparación estacional, se identificaron diferencias entre el sitio control (ECA) y el resto de los sitios evaluados en algunos parámetros. Destacan los sitios SMO y VC con las mayores concentraciones. Por ello se

realizaron análisis de varianza (ANDEVA) para identificar si existían diferencias significativas entre las medias de las comunidades evaluadas (Anexo IV). En esta prueba la variación total presente en un conjunto de datos se divide en varios componentes, cada uno de los cuales tiene asociado una fuente de variación específica, de manera que en el análisis es posible conocer la magnitud de las contribuciones de cada fuente de variación a la variación total (Marques, 2004). Es por ello, que permite identificar las fuentes de variación importantes y al mismo tiempo seleccionar un modelo que permita medir cuanto contribuyen esas fuentes a la variación total.

Antes de realizar las pruebas de ANDEVA se verificó que los errores o residuales son independientes y distribuidos de manera normal con promedio equivalente a 0 y varianza constante.

Se determinó un valor P menor a 0.05 y un nivel de confianza del 95%. Por lo tanto un valor de $p < 0.05$ indica que el rechazo de la hipótesis nula, que en este caso es que no hay diferencias significativas entre las medias analizadas.

Ya que en la presente investigación se considera al sitio ECA como sitio de referencia, se seleccionó la prueba de Dunnett para comparar cada una de las medias del resto de los sitios de muestreo con respecto al sitio control (Atil y Unver, 2001).

Debido a que uno de los objetivos del presente trabajo es proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales, se realizó una prueba de ANDEVA entre los sitios problema, al mismo tiempo que se obtuvo el cociente entre coliformes y enterococos fecales (CF/EF) para identificar cuales son las actividades que están alterando más estos sitios, y con ello saber si es posible aplicar el mismo sistema a los dos sitios.

6.3.4 Indicadores importantes en el sistema

Se realizó un análisis factorial con extracción de componentes principales con la finalidad de reducir el número de variables y establecer los parámetros que explican el sistema. Para ello, primero se elaboró una matriz de correlaciones, seguida de un test de esfericidad de Barlett junto con un Índice Kaiser Meyer-Olkin (KMO). Estas pruebas comprueban si la matriz de correlaciones es una matriz de identidad. Se buscan valores elevados del test con significancia < 0.05 y un índice KMO de entre 0.5 y 1, lo que indica que es posible realizar un análisis factorial (Montoya, 2007). Por ello, se realizó un

Análisis de Componentes Principales (ACP) (Schneeweiss y Mathes, 1995). Finalmente se obtuvo una gráfica de correlaciones.

6.3.5 Comparación con Normas nacionales e internacionales

Se comparó el promedio de datos obtenidos en cada estación con los límites permisibles de calidad de agua de las normas oficiales mexicanas: NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000) y NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1997), así como también con lo sugerido por la USEPA para agua para beber y agua residual, además de lo indicado por Metcalf y Eddy (1991).

6.3.6 Encuestas

A partir de los datos obtenidos, se realizó una comparación entre las comunidades evaluadas, sobre los temas incluidos en las encuestadas aplicadas (Anexo II).

7. Resultados

7.1 Medición del caudal y profundidad del río

7.1.1 Velocidad del caudal

Como se puede observar en la Tabla 6, los sitios ECA, SME y VE resultaron más altos en el periodo seco que en el de lluvias, con valores de 3.13, 1.59, 1.01 respectivamente; SMO por su parte no presentó valor en ambas temporadas; mientras que SMS, VC y VS registraron valores más altos durante el periodo de lluvias.

Tabla 6. Velocidad del caudal (m/s) en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco.

Velocidad (m/s)	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS
Lluvias	0.32	0.63	0	1.04	0.99	0.37	0.54
Seco	3.13	1.59	0	0.96	1.01	0	0

7.1.2 Profundidad del río

El período de lluvias resultó con mayor volumen de agua y por tanto mayor profundidad en comparación con el periodo seco. El sitio que registró la mayor profundidad fue SMO con 2 metros, mientras que el sitio más somero fue VC con 0.40 metros de profundidad.

En el periodo seco, la profundidad máxima se registró para el sitio ECA (1 m), mientras que en el sitio VC fue de <0.10 m (Tabla 7).

Tabla 7. Profundidad (m) en el río Cuitzmala, Jalisco.

Profundidad (m)	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS
Lluvias	1.00	0.90	2.00	1,1	1,3	0.40	1.00
Seco	0.90	0.15	0.70	0.20	0.40	<0.10	0.30

7.2 Calidad del agua del río Cuitzmala

Se sacó el índice de calidad de agua (ICA) para todos los sitios de muestreo. En la Tabla 8 se observa que el sitio SME presenta el índice de calidad de agua más alto con 70, mientras que el índice más bajo se reporta para el sitio VC (25), durante la temporada de lluvias.

Tabla 8. Índice de calidad de agua. Temporada de Lluvias (septiembre de 2010), río Cuitzmala, Jalisco.

	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS
ICA	59	70	36	53	33	25	40

Con base en lo anterior, se estableció el tipo de agua para los tres diferentes usos en la zona: público urbano, agrícola y recreativo, de acuerdo con el ICA de cada sitio (Tabla 9), en donde destaca que para uso público urbano la calidad del agua es mala en cuatro de los siete sitios evaluados.

Tabla 9. Tipos de agua según el ICA en el río Cuitzmala, durante la temporada de Lluvias.

Uso público urbano			Usos de agua Uso agrícola			Uso recreativo		
Buena	Regular	Mala	Buena	Regular	Mala	Buena	Regular	Mala
ECA				ECA		ECA		
SME			SME			SME		
		SMO		SMO			SMO	
	SMS			SMS		SMS		
		VE		VE			VE	
		VC			VC			VC
		VS		VS			VS	

Por su parte, en la temporada seca el ICA más alto se reportó en el sitio SMS (104), mientras que para el sitio SMO se registró el ICA más bajo (37) Tabla 10.

Tabla 10. Índice de calidad de agua. Temporada seca (mayo 2011), río Cuitzmala, Jalisco.

	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS
ICA	95	88	37	104	96	46	100

Con los resultados anteriores, se determinaron las clases de agua de acuerdo con el uso en la zona, resultando para los tres usos registrados, el índice de calidad de agua es bueno para cinco de los siete sitios evaluados. Se destacan los sitios SMO y VC, en donde el ICA es malo para uso público urbano, Tabla 11.

Tabla 11. Tipos de agua según el ICA en el río Cuitzmala, durante la temporada seca.

Uso público urbano			Usos de agua Uso agrícola			Uso recreativo		
Buena	Regular	Mala	Buena	Regular	Mala	Buena	Regular	Mala
ECA			ECA			ECA		
SME			SME			SME		
		SMO			SMO			SMO
SMS			SMS			SMS		
VE			VE			VE		
		VC			VC			VC
VS			VS			VS		

7.3 Variación entre sitios en los periodos de lluvias y seca

Los datos que presentaron diferencias significativas en las pruebas de Dunnett, se identifican con un punto en la parte superior (●).

7.3.1 Nutrientes

Se compararon los promedios de los resultados obtenidos de nutrientes en temporada de lluvias (Figura 5) y temporada seca (Figura 6).

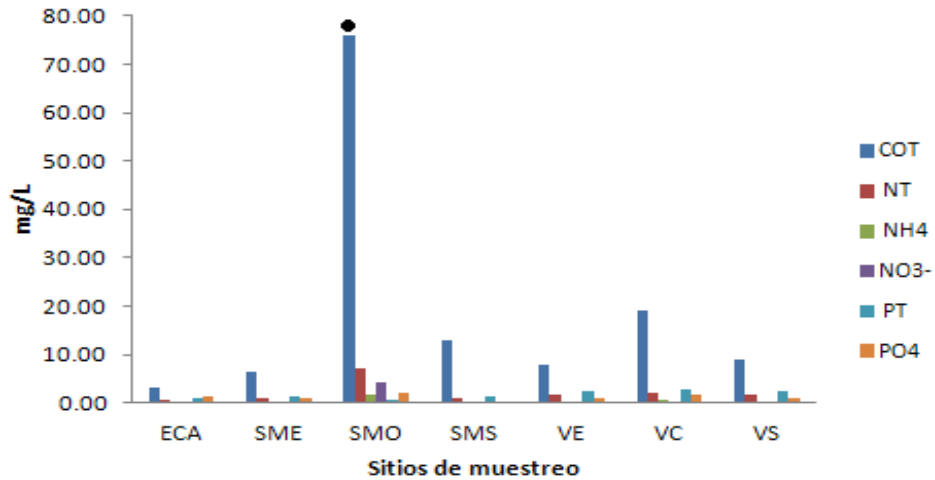


Figura 5. Nutrimientos en temporada de lluvias en el río Cuitzmala, Jalisco.

En la Figura 5 se observa que la concentración de COT estuvo muy por encima del resto de los nutrientes evaluados.

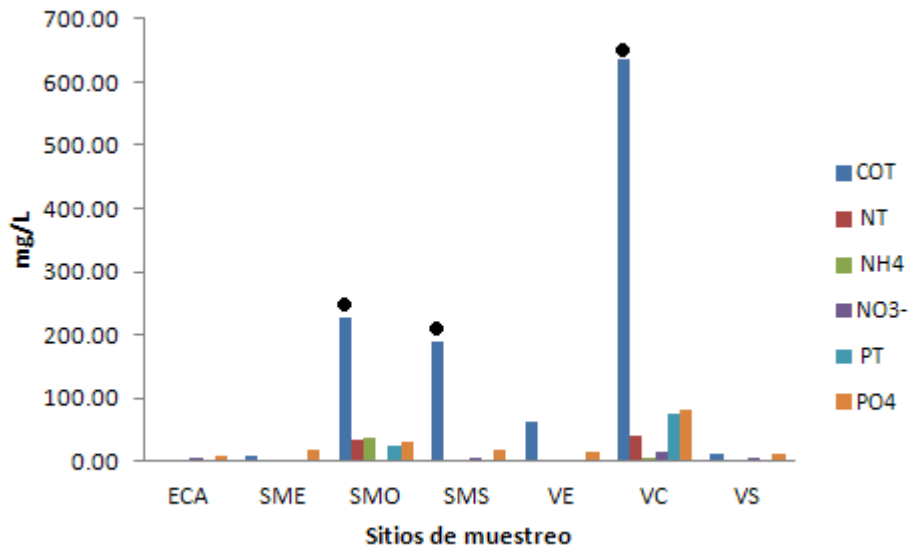


Figura 6. Nutrimientos en temporada seca en el río Cuitzmala, Jalisco.

Como se observa en la Figura 6, la concentración de nutrientes es mayor en temporada seca que en lluvias. Al mismo tiempo se observa que nuevamente la concentración de COT estuvo muy por encima del resto de los nutrientes evaluados.

Para identificar mejor la variación de concentración de nutrientes, se realizó un nuevo histograma para cada temporada que excluyó la concentración de COT. Los resultados se

muestran en las Figuras 7 y 8 para temporada de lluvias y temporada seca respectivamente.

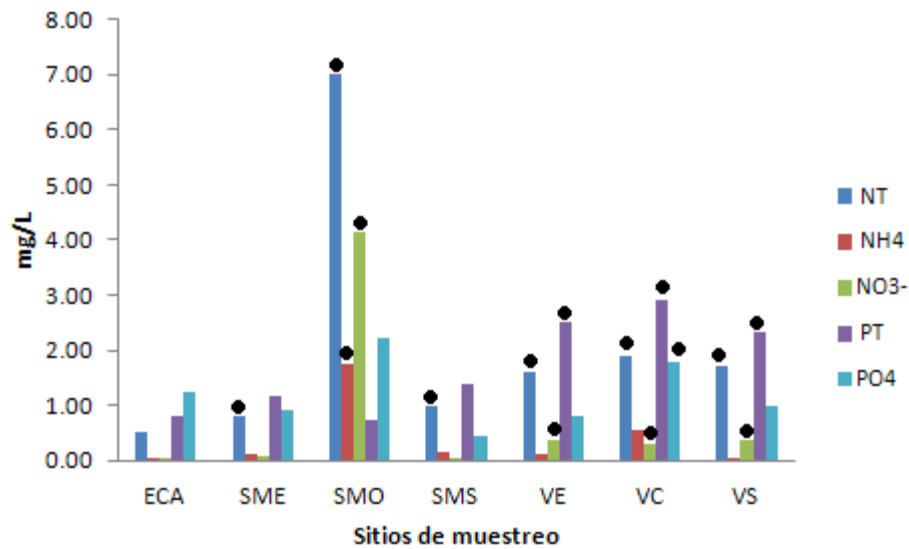


Figura 7. Nutrientes en temporada de lluvias en el río Cuitzmala, Jalisco.

En las Figuras 7 y 8 se observa de forma más clara la variación en la concentración de nutrientes evaluados. Resaltan el sitio SMO con una mayor concentración de nutrientes en temporada de lluvias y los sitios ECA con una menor concentración de lluvias, así como SMO y VC con las mayores concentraciones en temporada seca.

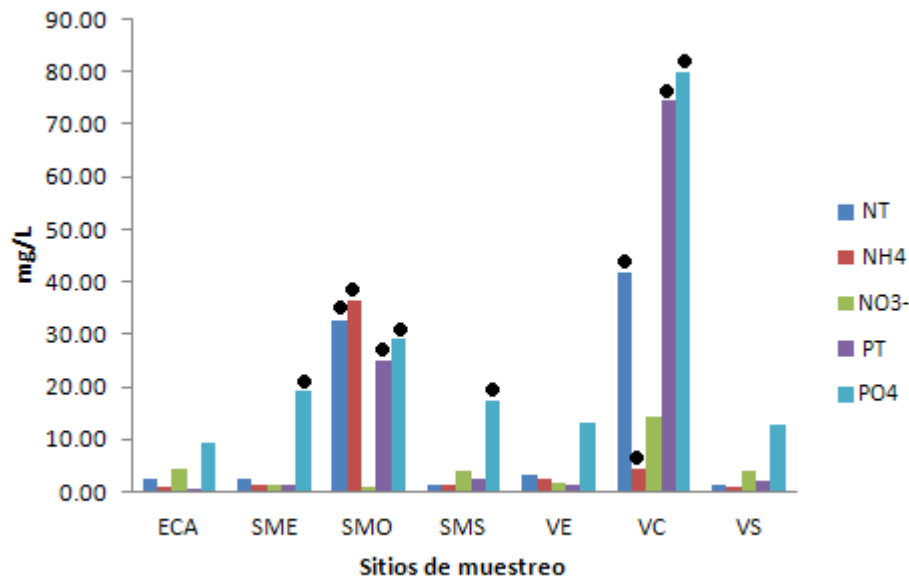


Figura 8. Nutrientes en temporada seca en el río Cuitzmala, Jalisco.

7.3.2 Físicoquímicos

Se compararon los promedios de los resultados obtenidos de cada parámetro físicoquímico evaluado con respecto a las temporadas muestreadas.

La temperatura varió a lo largo del río tanto en la temporada de lluvias como en la temporada seca (Figura 9). En temporada de lluvias se registró menor variación a lo largo de los sitios, de los 23°C a los 30°C, mientras que en temporada seca la variación fue de los 26°C a los 36°C. Se observa que en temporada seca la temperatura subió conforme el río se acercó a la desembocadura.

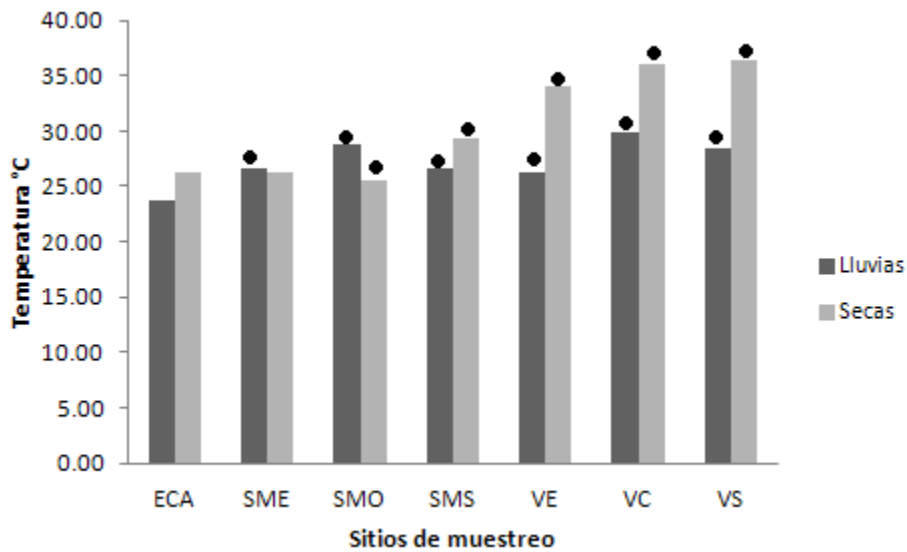


Figura 9. Variación temporal de temperatura en el río Cuitzmala, Jalisco.

El pH disminuyó en temporada seca en seis de los siete sitios muestreados (Figura 10), ya que se encontraron concentraciones de 6.35 a 8.82 en esta temporada. En temporada de lluvias la concentración de pH fue de los 7.92 en la parte alta de la cuenca a 9.14 en la parte baja de la cuenca.

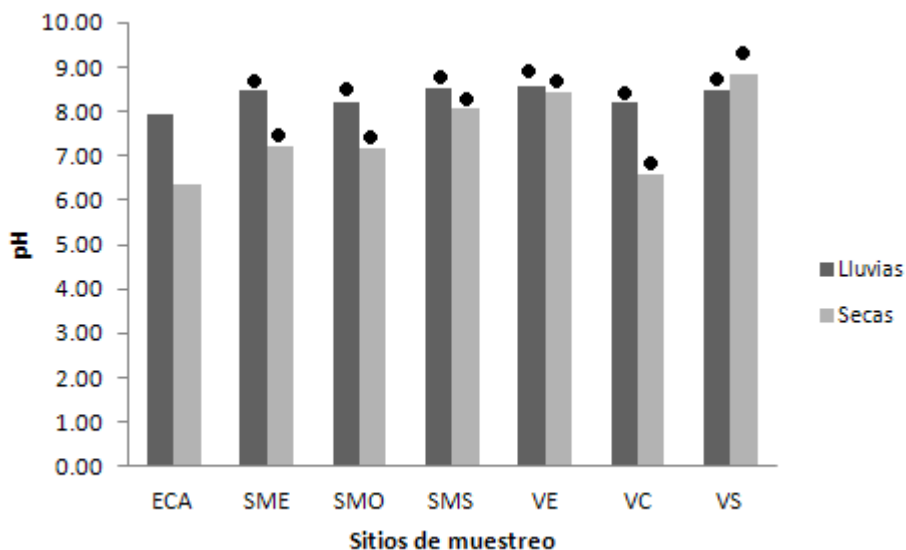


Figura 10. Variación temporal de pH en el río Cuitzmala, Jalisco.

La conductividad en temporada de lluvias fue menor en seis de los siete sitios evaluados (Figura 11). Destacan los sitios SMO en temporada seca y VC en temporada de lluvias con las más altas concentraciones.

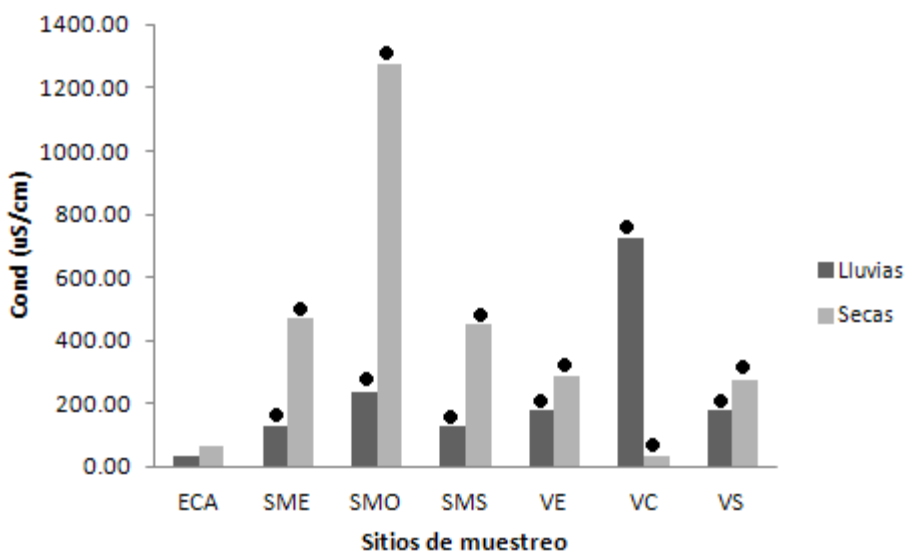


Figura 11. Variación temporal de conductividad en el río Cuitzmala, Jalisco.

El oxígeno disuelto (Figura 12) presentó una disminución de concentración en los sitios centrales de cada localidad (sitios SMO y VC) en la temporada seca. En temporada de lluvias la concentración aunque fue más estable que en temporada seca, presentó una disminución en la parte baja de la cuenca (sitios VE, VC, VS).

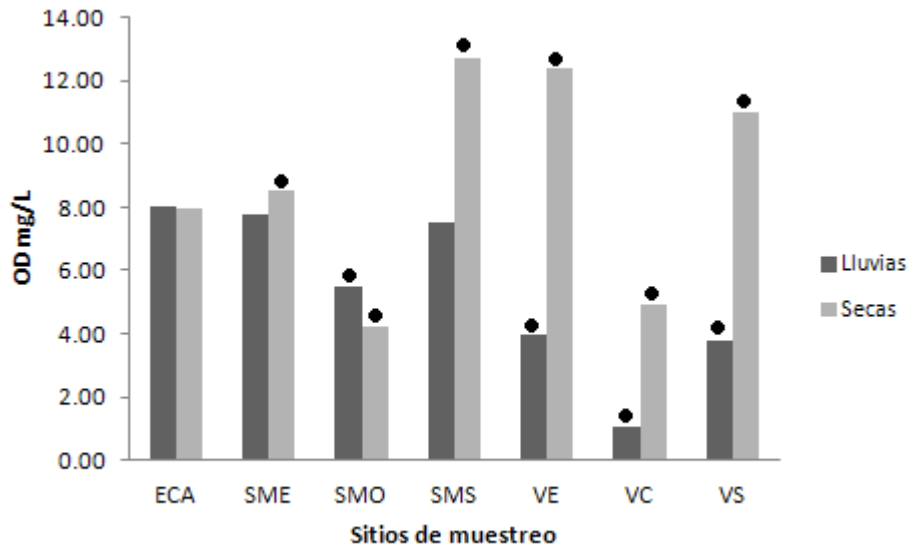


Figura 12. Variación temporal de oxígeno disuelto en el río Cuitzmala.

La DBO_5 se mantuvo estable en temporada de lluvias con respecto a la temporada seca, en donde solo los sitios SMO y VC presentaron concentraciones muy por encima de las registradas en temporada de lluvias (72.5 y 277.5 mg/L respectivamente) (Tabla 13).

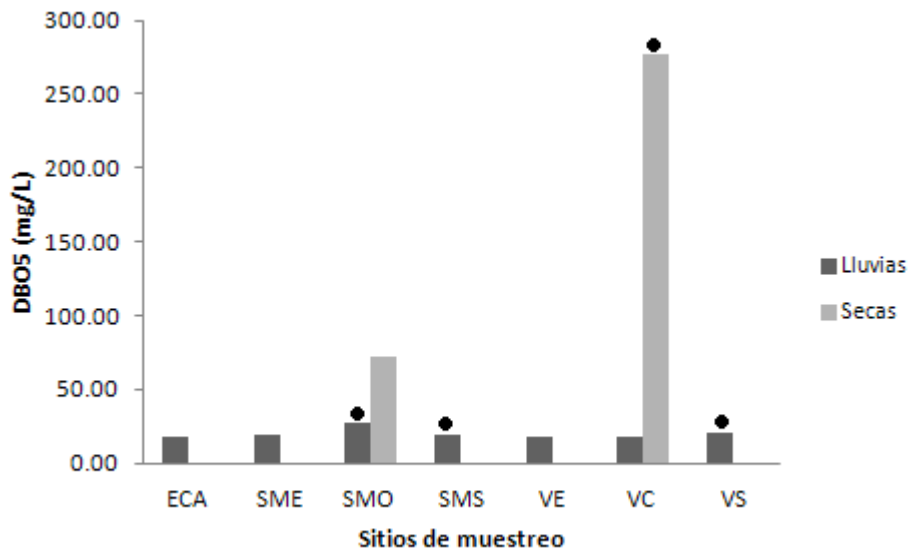


Figura 13. Variación temporal de Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días en el río Cuitzmala, Jalisco.

Los sólidos disueltos totales (Tabla 14) presentaron una mayor concentración en la temporada seca, con excepción del sitio VC que tuvo una concentración menor en esta temporada.

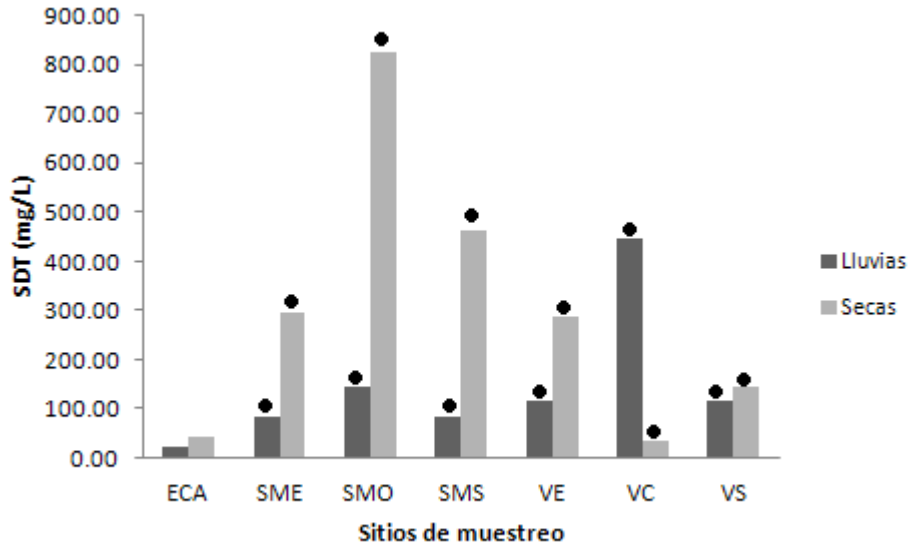


Figura 14. Variación temporal de Sólidos Disueltos Totales en el río Cuitzmala, Jalisco.

En los sólidos suspendidos totales (Figura 15) los sitios VE y VC resultaron con las mayores concentraciones en temporada seca con 502.60 y 274.80 mg/L respectivamente. Mientras que en temporada de lluvias fueron los sitios SMO y VC los que registraron las mayores concentraciones con 15.56 y 27.10 mg/L respectivamente.

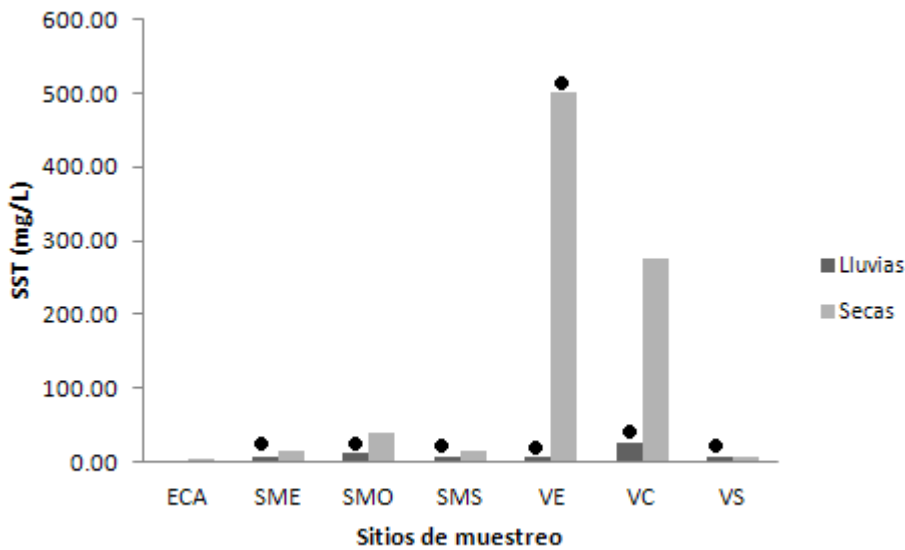


Figura 15. Variación temporal de Sólidos Suspendidos Totales en el río Cuitzmala, Jalisco.

7.3.2 Bacteriológicos

Se detectaron CF en mayor densidad en los sitios SMO y VC en las dos temporadas analizadas (Figura 16), aunque fue el sitio VC en que registró la mayor densidad con 7500 y 71667 UFC en temporada de lluvias y en temporada seca respectivamente.

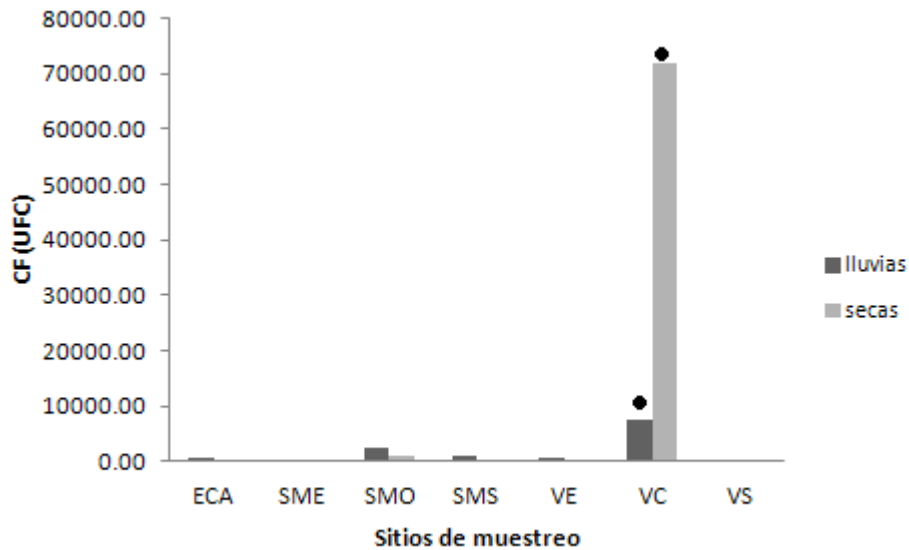


Figura 16. Variación temporal de Coliformes Fecales en el río Cuitzmala, Jalisco.

La densidad de EF resulto mayor en temporada de lluvias que en la temporada seca (Figura 17). El sitio SMO registró la mayor densidad en la temporada seca (40333 UFC), mientras que los sitios SMO y VC tuvieron las mayores densidades en temporada de lluvias (1200 y 22333 UFC respectivamente).

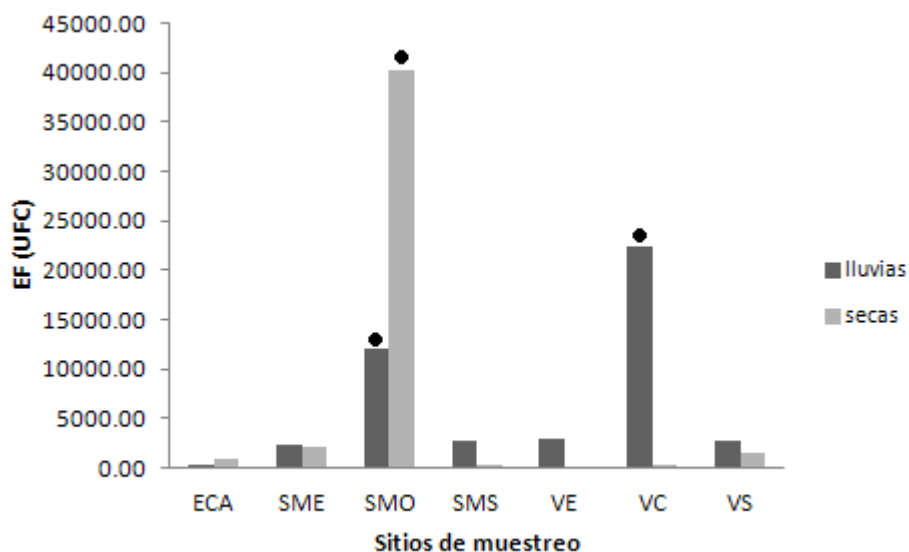


Figura 17. Variación temporal de Enterococos fecales en el río Cuitzmala, Jalisco.

7.4 Diferencias entre los sitios problema

A través de las pruebas de ANDEVA (Anexo IV), se determinó que si existían diferencias significativas entre los sitios identificados como problema (sitios SMO y VC) en la mayoría de los parámetros evaluados.

Al mismo tiempo se determino la procedencia de la contaminación fecal a través del cociente CF/EF. Destacan los sitios SMO, SMS, VE y VC en temporada de lluvias con aporte de animales domésticos, y el sitio VC en la temporada seca con aporte humano (Tabla 12).

Temporada/ Localidad	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS
Lluvias	1.71	0.01	0.20	0.38	0.24	0.34	0.07
Seca	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	371	0.00

Tabla 12. Procedencia de la contaminación fecal en el río Cuitzmala (determinado a partir del cociente CF/EF).

7.5 Análisis de componentes principales

Con la finalidad de reducir las variables e identificar los parámetros que están influyendo más en la calidad del agua, se realizó un análisis factorial, para lo cual, primero se debe verificar que las variables están correlacionadas en la población, para ello se realizó una prueba de esfericidad de Barlett (Tabla 13), la cual consiste en una estimación de ji-cuadrado a partir de una transformación del determinante de la matriz de correlaciones, donde el valor obtenido fue de 0.000. Además se complementó con el índice KMO, que indica con valor entre 0.5 y 1 que es apropiado aplicar un análisis factorial (Tabla 13).

Tabla 13. KMO y prueba de Barlett

Kaiser-Meyer-Olkin Medida y adecuación de la muestra.		0.677
Test de esfericidad de Bartlett	Approx. Ji-cuadrada	1364.569
	Grados de libertad	136
	Sig.	0.000

Debido a que las variables están correlacionadas, la selección de los principales factores utilizando el método de componentes principales se determinó a partir la gráfica de sedimentación (Figura 18) y la varianza total explicada (Tabla 14). Se escogen componentes cuyos valores propios (autovalores) sean cercanos o mayores 1. Por lo que se seleccionaron tres componentes, mismo que explican el 79.65% de la varianza acumulada. Con esto, se realizó una correlación de las variables ambientales con los tres primeros componentes, a partir de su carga factorial. La Tabla 15 muestra la correlación existente entre cada variable y dicho componente, de modo que las cargas factoriales altas, indican que la variable esta correlacionada con cierto componente.

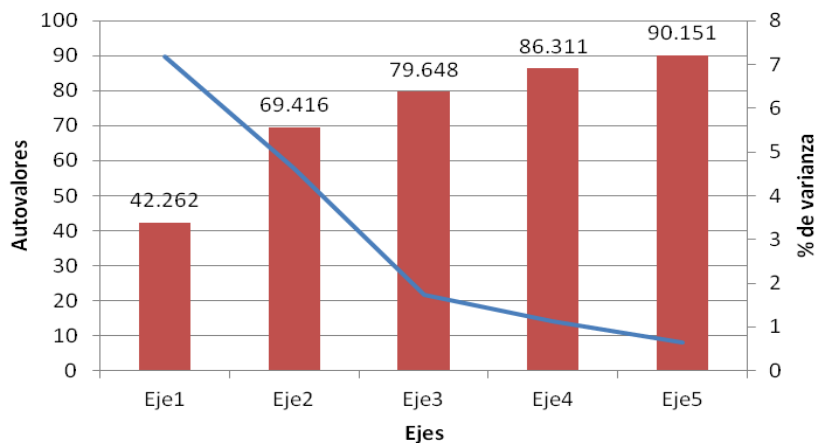


Figura 18. Gráfica de sedimentación

Tabla 14. Varianza explicada para cada eje

	Eje1	Eje 2	Eje3
Valores propios	7.185	4.616	1.74
Porcentaje	42.262	27.154	10.232
Porcentaje acumulado	42.262	69.416	79.648

Tabla 15. Carga factorial ACP

ACP variables	Componentes		
	1	2	3
A-COT (mg/L)	.937	-.206	.022
B- NH3 (mg/L)	.529	.778	.172
C-NO3- (mg/L)	.619	-.439	-.085
D-PO4 (mg/L)	.939	-.234	.125
E- PT (mg/L)	.954	-.192	-.095
F- NT (mg/L)	.975	.132	-.066
G-Temp °C	.429	-.510	.421
H-Cond (uS/cm)	.258	.872	.301
I-TDS (mg/L)	.263	.893	.244
J-DO (mg/L)	-.210	-.391	.750
K-pH	-.609	-.038	.153
L-Turbid+ (NTU)	-.085	.092	-.644
M-CF (UFC/100 mL)	.820	-.443	-.201
N-EF (UFC/100 mL)	.308	.884	-.095
O-DBO ₅ (mg/L)	.912	-.252	-.221
P-SS (mg/L)	.629	.721	.078
Q-SST (mg/L)	.406	-.351	.490

Se consideraron cargas factoriales superiores a 0.750 para los tres ejes, ya que es donde se tiene el 79.6% de la varianza explicada.

En el primer componente es el NT, en este se agrupan variables relacionadas con nutrimentos (PT, PO₄, COT), con excepción de la DBO₅.

El segundo componente son los TDS y agrupa variables relacionados con actividades antrópicas como EF, NH₄ y Conductividad.

En el tercer componente el OD tiene mayor carga factorial.

Con lo anterior se obtuvo una gráfica de correlaciones, en donde se agrupan todos los sitios evaluados por temporada con respecto a los tres parámetros que corresponden a la mayor carga factorial de cada eje (Figura 19).

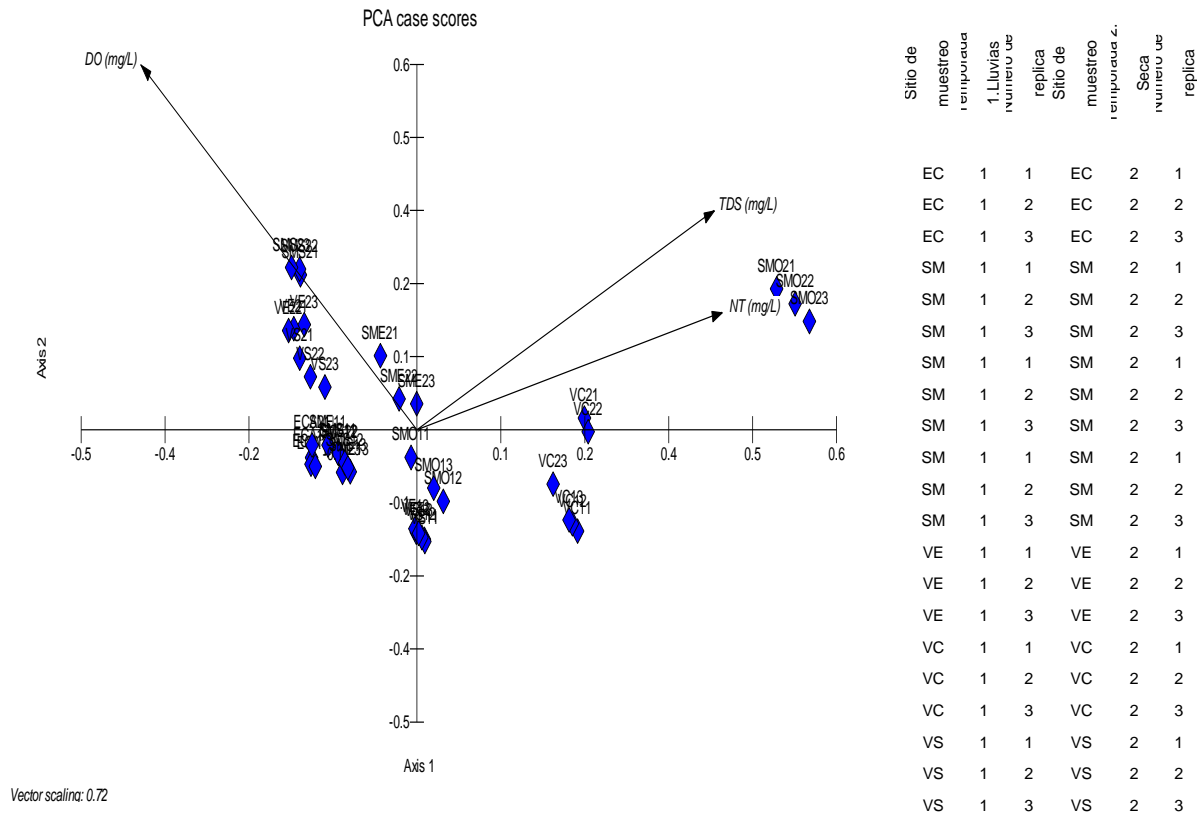


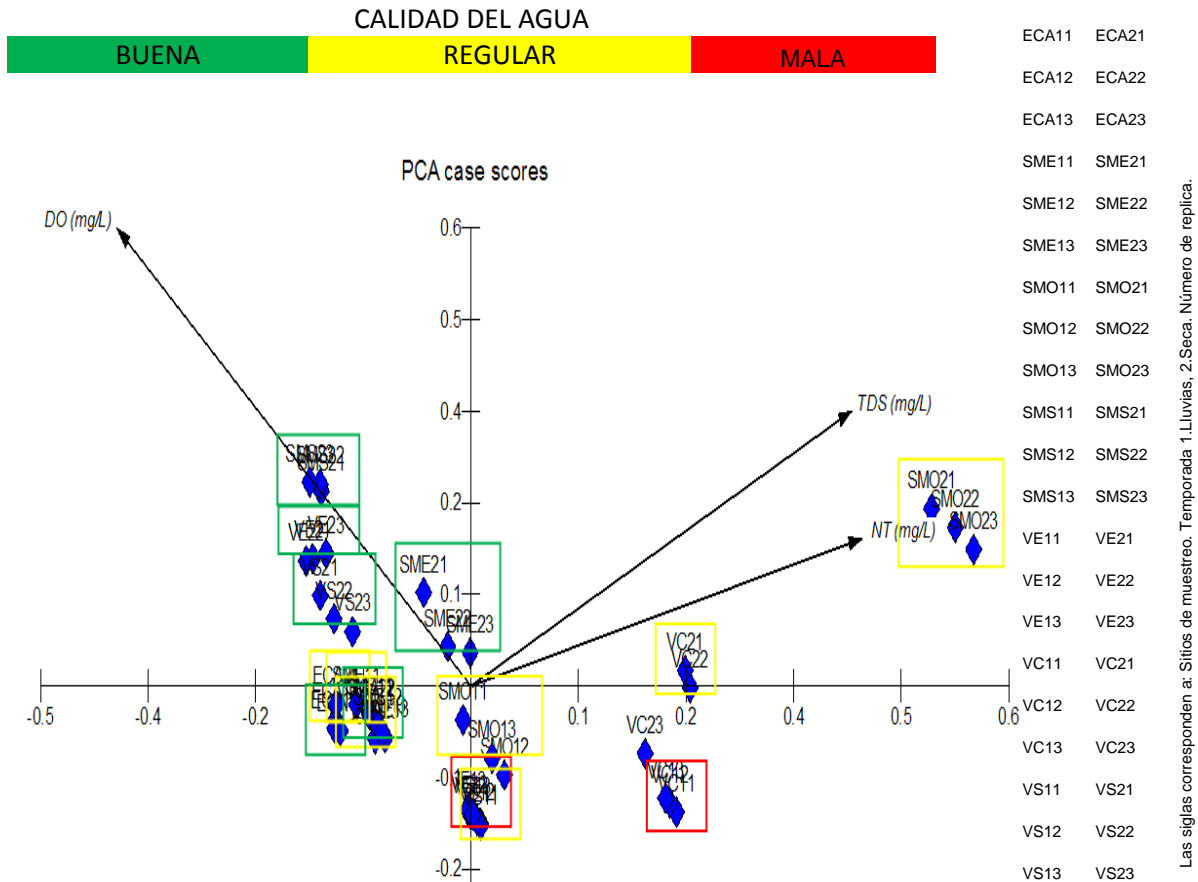
Figura 19. Gráfica de correlación.

En la Figura 19 se puede observar que tanto el primero como el segundo componente, están influyendo sobre los sitios SMO y VC para ambas temporadas, pero durante la temporada seca, esta influencia se hace más fuerte.

7.5.1 Componentes principales relacionados con los sitios de muestreo

Los valores del ICA corresponden con los resultados del ACP, ya que como se observa en la Figura 20, se agrupan los tres tipos de calidad (Buena, Regular y Mala) en relación con los parámetros con mayor carga factorial del ACP (Tabla 14). Se observa que los sitios centrales de las localidades evaluadas (sitios SMO y VC), están influenciados por los dos primeros componentes del ACP (Tabla 14) agrupando variables como

nutrimentos, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos disueltos, conductividad, amonio y enterococos fecales.



*Las siglas corresponden a: Sitios de muestreo. Temporada 1.Lluvias, 2.Seca. Número de replica.

Figura 20. Gráfica de correlación ACP-ICA

7.6 Calidad del agua del río Cuitzmala con respecto a las normas nacionales e internacionales

A partir de los análisis realizados, se observa que desde el punto de vista fisicoquímico, en temporada de lluvias, tanto el amonio como el pH registraron concentraciones por arriba del límite sugerido por la NOM-127-SSA-1994 (Tabla 16). Se destaca que parámetros como temperatura, OD y ortofosfatos no se consideran en las normas tanto nacionales como internacionales.

Tabla 16. Parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Cuitzmala en temporada de lluvias (septiembre 2010).

Localidad	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS	NOM 001. DOF,1997	NOM 127. DOF 2000	USEPA, 2005	Metcalf & Eddy, 1991 bajo/medio/alto
Parámetro*											
Temperatura (°C)	23.66	27.18	30.06	28.28	27.81	29.80	28.43	-	-	-	-
Oxígeno disuelto	8.01	7.58	5.98	7.92	4.19	0.84	3.98	-	-	-	-
pH	7.92	8.69	8.39	9.04	9.06	8.78	9.14	-	6.5-8.5	-	-
Conductividad (uS/cm)	33.00	129.32	244.38	138.81	192.76	777.07	196.00	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	17.50	18.50	27.00	19.50	18.00	17.50	20.00	75/150	-	-	110/220/400
Sólidos suspendidos totales	2.80	5.60	15.56	6.65	8.15	27.10	6.75	75/150	-	-	350/720/1200
Sólidos disueltos totales	22.00	82.11	147.38	87.13	122.82	479.14	123.85	-	-	-	250/500/850
Carbono orgánico total	3.07	6.57	76.00	12.87	7.80	19.20	9.10	-	-	-	80/160/290
Nitrógeno total	0.50	0.80	7.00	1.00	1.60	1.90	1.70	40	-	15-20/4-15	20/40/85
Amonio	0.04	0.11	1.73	0.13	0.13	0.56	0.06	-	0.50	-	12/25/50
Nitratos	0.03	0.09	4.15	0.02	0.36	0.29	0.37	10	10	45	0
Fosforo total	0.80	1.17	0.75	1.39	2.51	2.90	2.35	20	-	-	4/8/15
Ortofosfatos	1.23	0.91	2.23	0.43	0.80	1.78	1.00	-	-	-	-

* Todos expresados en mg/L a menos que se especifique

En el caso de los parámetros bacteriológicos (Tabla 17), se detectó una densidad de CF mayor a lo sugerido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 en los sitios SMO y VC. Mientras que los EF fueron registrados en casi todos los sitios evaluados con un conteo superior a las 1000 UFC/100 mL.

Tabla 17. Parámetros bacteriológicos en la cuenca del río Cuitzmala en temporada de lluvias (septiembre 2010).

Localidad/ Parámetro	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS	NOM 001. DOF,1997	NOM 127. DOF, 2000	USEPA, 2005
CF*	627	30	2433	1000	700	7500	193	2000	Ausente	-
EF*	367	2300	12000	2633	2933.33	22333	2733	-	-	-

*Expresados en Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

Para dar una idea de la presencia de cepas patógenas, lo que implica un riesgo para la población, se llevó a cabo la identificación de las colonias aisladas con medios selectivos. Estas identificaciones fueron realizadas en el laboratorio de Inmunología Molecular Microbiana de la Facultad de Medicina, UNAM por la microbióloga Isabel Amieva.

A continuación se describen brevemente los géneros y especies identificadas.

Acinetobacter lwoffii. Las bacterias de este género son patógenos oportunistas. Pueden causar infecciones en vías urinarias, neumonía, meningitis secundaria e infecciones en heridas. Se pueden encontrar en suelo, agua y aguas residuales. Los *Acinetobacter* son bacterias sensibles a desinfectantes con cloro (OMS, 2006).

Escherichia coli. Está presente en altas densidades en la microflora intestinal normal de personas y animales, donde por lo general es inocua. Sin embargo, en otras partes del cuerpo, puede causar enfermedades como meningitis, además se han determinado varios tipos de enteropatógenos, cuya vía de transmisión es por medio de aguas recreativas y aguas de consumo contaminadas con excrementos de ganado (OMS, 2006).

Klebsiella pneumoniae. Los microorganismos de este género pertenecen a la familia Enterobacteriaceae y está formado por varias especies como *K. pneumoniae* que puede causar infecciones graves como neumonía destructiva. Está presente de forma natural en muchos ambientes acuáticos, pero puede proliferar en aguas ricas en nutrientes (OMS, 2006); es sensible a la desinfección.

Pseudomonas aeruginosa. Puede causar diversas infecciones pero rara vez causan enfermedades graves en personas sanas sin algún factor que les torne una predisposición. Es un microorganismo común en el ambiente y puede encontrarse en las heces, suelo, agua y aguas residuales; es sensible a la desinfección (OMS, 2006).

Bordetella bronchiseptica. Es una bacteria patógena oportunista del tracto respiratorio de diversos animales, puede causar traqueobronquitis en perros, asociado también a bronquitis y neumonía en humanos. Estas infecciones pueden ocurrir por contacto con animales infectados, aunque se requieren ambientes cerrados (Murray *et al.*, 1995).

Durante el periodo seco se registraron concentraciones más altas que durante el periodo de lluvias en la mayoría de los parámetros evaluados (Tabla 17), en varios casos su concentración sobrepasa los límites permisibles de las normas nacionales e internacionales.

Tabla 18. Parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Cuitzmala en temporada seca (mayo 2011).

Localidad	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS	NOM 001. DOF, 1997	NOM 127. DOF, 2000	USEPA, 1995	Metcalf & Eddy, 1991 bajo/medio/alto
Parámetro*											
Temperatura (°C)	26.18	26.28	25.58	29.30	34.07	35.96	36.34	-	-	-	-
Oxígeno disuelto	7.92	8.12	4.49	12.72	12.39	4.89	11.02	-	-	-	-
pH	6.35	7.20	7.19	8.09	8.45	6.58	8.82	-	6.5 -8.5	-	-
Conductividad (µS/cm)	65.29	467.62	1277.15	449.22	287.0	32.29	273.83	-	-	-	-
DBO ₅	ND	ND	72.5	ND	ND	277.5	ND	75/150	-	-	110/220/400
Sólidos suspendidos totales	4.10	15.85	39.00	16.20	502.60	274.80	8.10	75/150	-	-	350/720/1200*
Sólidos disueltos totales	41.57	297.0	821.0	269.89	159.0	17.43	146.0	-	-	500	250/500/850
Carbono orgánico total	3.10	9.0	226.50	190.50	63.33	636.0	12.67	-	-	2.5	80/160/290
Nitrógeno total	2.50	2.33	32.50	1.50	3.33	41.67	1.50	40	-	15-20	20/40/85
Amonio	0.93	1.20	36.57	1.33	2.37	4.50	0.80	-	0.50	-	12/25/50
Nitratos	4.23	1.13	0.93	4.07	1.63	14.30	4.10	10	10	45	0
Fósforo total	0.02	1.37	24.93	2.40	1.50	74.73	1.97	20	-	-	4/8/15
Ortofosfatos	9.35	19.18	29.33	17.47	13.33	79.89	12.65	-	-	-	-

* Todos expresados en mg/L a menos que se especifique; ND. No detectado

En los parámetros bacteriológicos evaluados en temporada seca (Tabla 19), el grupo de CF no registró crecimiento en 100 mL en los sitios SME, SMS, VS, sin embargo el sitio VC, registró un conteo de 71667 UFC, valor mayor al sugerido por las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-127-SSA1-1994. Los EF registraron crecimiento en casi todos los sitios evaluados con excepción del sitio VE que no registró crecimiento en 100 mL.

Tabla 19. Parámetros bacteriológicos en la cuenca del río Cuitzmala en temporada seca (mayo 2011).

Localidad/Parámetro	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS	USEPA	NOM 001	NOM 127
CF*	13.33	0	1120	0	27	71667	0	-	2000	Ausente
EF*	940	2087	40333	80	0	193	1427	-	-	-

*Expresados en UFC.

7.7 Encuesta: Resultados del cuestionario

La localidad de La Eca tuvo un tamaño de muestra de 13 personas (n=13), San Miguel, de 27 personas entrevistadas (n=27), mientras que en Francisco Villa, se entrevistaron 41 personas (n=41).

Se debe considerar que los objetivos 4 y 6 presentan más de una opción de respuesta, por ello, el total de respuestas posibles excede el tamaño de la muestra (n). También se presenta la situación en que el total de respuestas es menor al tamaño de la muestra, esto se debe a que algunas personas no respondieron a la pregunta.

Cabe resaltar que aunque el acceso al agua es a través de una tubería en las tres comunidades, se considera que el agua es de origen superficial para las dos comunidades de la parte alta de la cuenta, ya que proviene del río, mientras que para la comunidad de Francisco Villa (localizada cuenca abajo), el agua se obtiene de pozos.

Los resultados de las encuestas aplicadas en las tres comunidades se presentan en tablas comparativas en el Anexo I.

7.7.1 Información general

Este apartado incluye información demográfica (sexo, lugar de nacimiento, edad); marginación social (educación, carencia de bienes); además de, relación del encuestado con el manejo del agua.

La proporción de mujeres fue mayor en dos de las tres localidades evaluadas, con un 69% y 81% para La Eca y San Miguel respectivamente.

El nivel de estudios fue mayor en Francisco Villa, con una persona con licenciatura completa; para San Miguel, el nivel máximo de estudios fue preparatoria completa (2 personas); mientras que en La Eca, el nivel máximo fue primaria completa.

En cuanto a los bienes, únicamente se preguntó acerca del material del piso de su vivienda, además del número de focos, parámetros sugeridos por la M. en E. Karina Caballero, Facultad de Economía, UNAM (comunicación personal). La mayoría de las personas encuestadas para las tres comunidades dijo tener piso de cemento (77% en La Eca, 78% en San Miguel, 59% en Francisco Villa); mientras que, en el caso de los focos, el mayor porcentaje se ubica entre los 5-8 focos (54% en La Eca, 67% en San Miguel, 46% en Francisco Villa). Solo en la comunidad de Francisco Villa se dijo tener más de 12 focos.

En relación con los cargos, sólo pocas personas entrevistadas: dos en La Eca (15%) y San Miguel (7%); mientras que cuatro (10%) en Francisco Villa, han estado relacionadas con el sistema de suministro de agua, ya sea como encargados, parte del comité, o para la cloración del agua.

7.7.2 Tipo de agua utilizada en las diversas actividades

En las comunidades evaluadas, la mayoría de los encuestados utilizan agua superficial para realizar sus actividades domésticas y de limpieza, mientras que para beber, utilizan agua embotellada (comercial) (Figura 21):

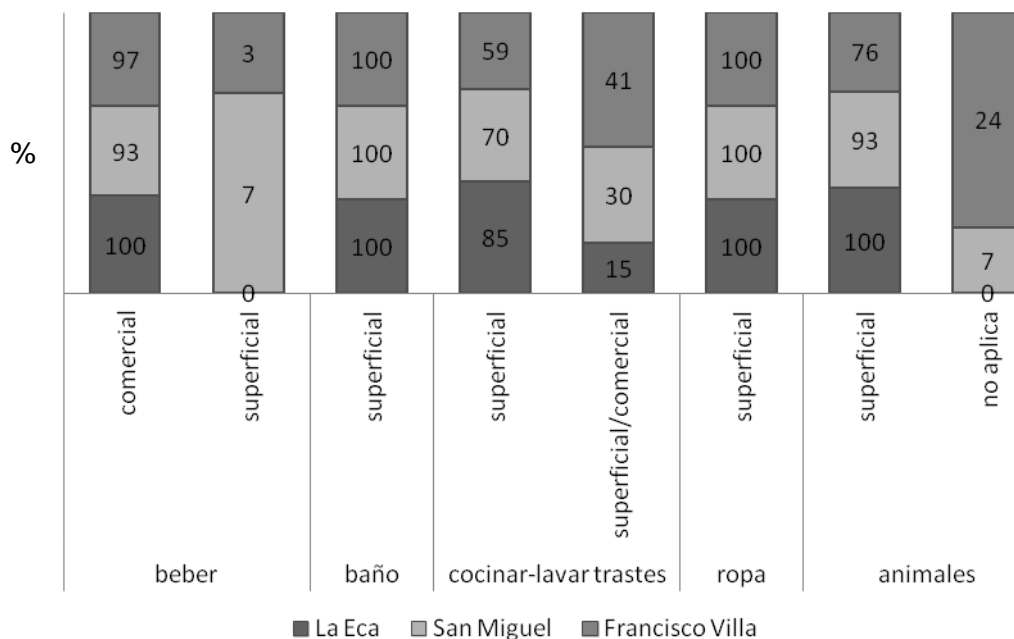


Figura 21. Tipo de agua utilizada para los diversos usos en comunidades de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco.

7.7.3 Cantidad de agua que se consume diariamente

Debido a que se reporta una carencia del servicio de agua en temporada seca, los contenedores de agua utilizados por cada uno de los encuestados varían en capacidad, cantidad y variedad de contenedores disponibles, por lo que no fue posible obtener una medida precisa de la cantidad de agua que se utiliza por día. La medida más directa que se logró obtener fue en relación a los garrafones de agua, ya que en este caso, si se reportó cantidad por día (Anexo II).

7.7.4 Implicaciones económicas relacionadas con la obtención del agua

Respecto a los otros usos y en relación con la distancia entre los hogares y la fuente de abastecimiento de agua, se observó que en La Eca y San Miguel ya cuentan con servicio de agua entubada proveniente del río, mientras que en Francisco Villa proviene de pozos, por lo que ya no se invierte tiempo ni esfuerzo en el acarreo del agua. La inversión actualmente es económica, ya que el servicio es proporcionado por un grupo de comuneros llamado "Comité de Agua", que se encarga del suministro y mantenimiento. Éste servicio tiene un costo de entre 1 y 10 pesos por mes, en la localidad de La Eca y de entre 10 y 100 pesos en San Miguel y Francisco Villa (Figura 22).

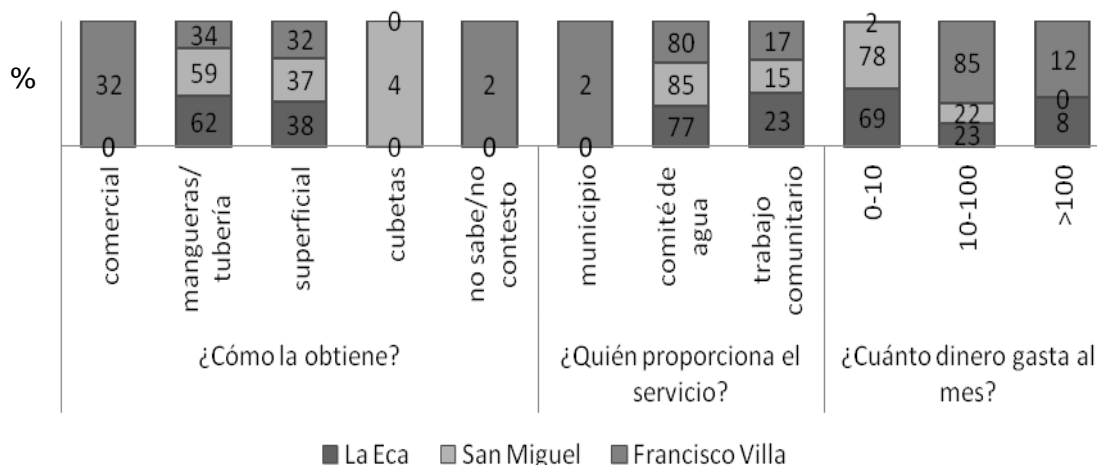


Figura 22. Obtención de agua en comunidades de la cuenca del río Cuiztmala, Jalisco.

En las tres comunidades, los encuestados afirman que el pago es justo por el servicio que tienen, ya que en el caso de La Eca y Francisco Villa, la mayoría de los encuestados (62 y 49% respectivamente) reporta que el servicio esta disponible todo el año, mientras que en San Miguel el 59% de lo encuestados reporta que dura casi todo el año (Figura 23).

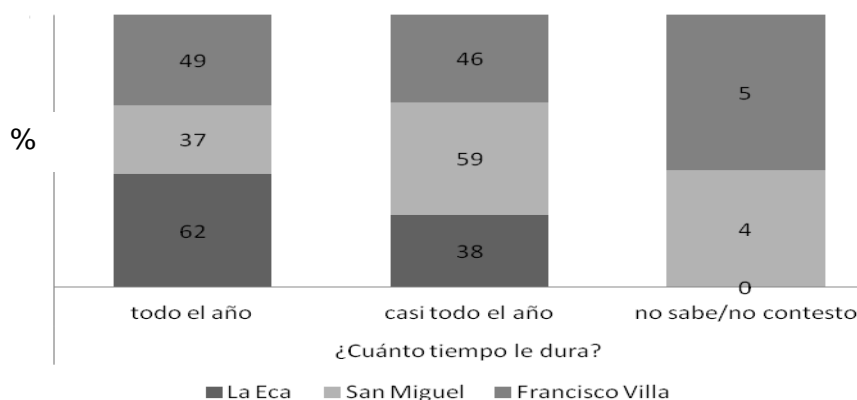


Figura 23. Tiempo que dura el servicio de agua entubada a lo largo del año en comunidades de la cuenca del río Cuiztmala, Jalisco.

7.7.5 Implicaciones relacionadas con la calidad del agua que se utiliza

Las preguntas relacionadas con este tema abordan el sabor del agua del río y la percepción de su calidad con respecto a las enfermedades que el consumo y/o la interacción con el agua superficial o de pozo podrían implicar. No se reportó cambios en sabor en las tres comunidades (Figura 24). Cabe destacar que el caso de Francisco

Villa solo el 29% reportó cambios en el sabor del agua, el porcentaje restante corresponde a las personas que no respondieron a la pregunta.

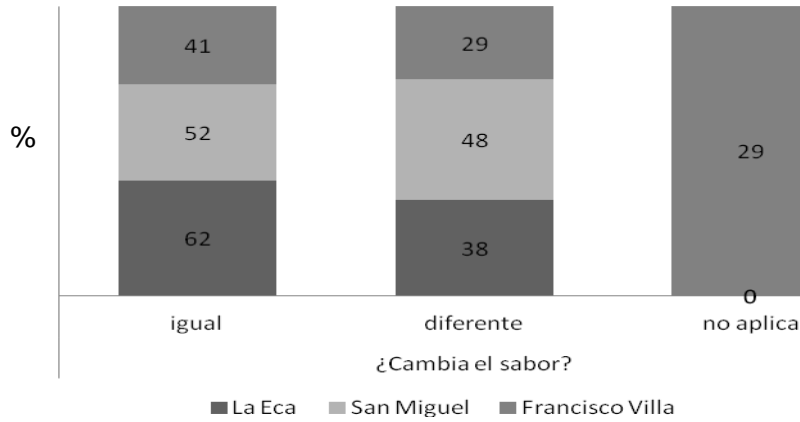


Figura 24. Calidad del agua con respecto al sabor en comunidades de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco.

Las enfermedades respiratorias resultaron ser las más frecuentes. Los más afectados según los encuestado en La Eca son la categoría de adolescentes y adultos; en San Miguel, niños, adolescentes, adultos y ancianos, y finalmente en Francisco Villa, al parecer resultaron ser los niños los más vulnerables (Figura 25).

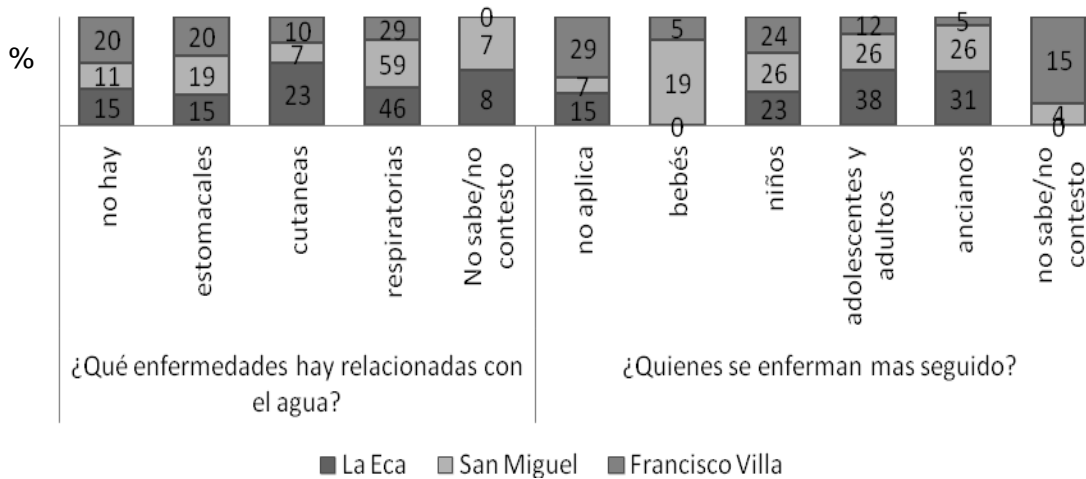


Figura 25. Enfermedades más comunes por grupo de edad en comunidades de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco.

Las pérdidas económicas derivadas de una enfermedad van de los 100 a los 300 pesos, en donde se incluye los gastos médicos, medicamentos, así como pérdidas económicas asociadas a los días de reposo derivados de una enfermedad (Figura 26).

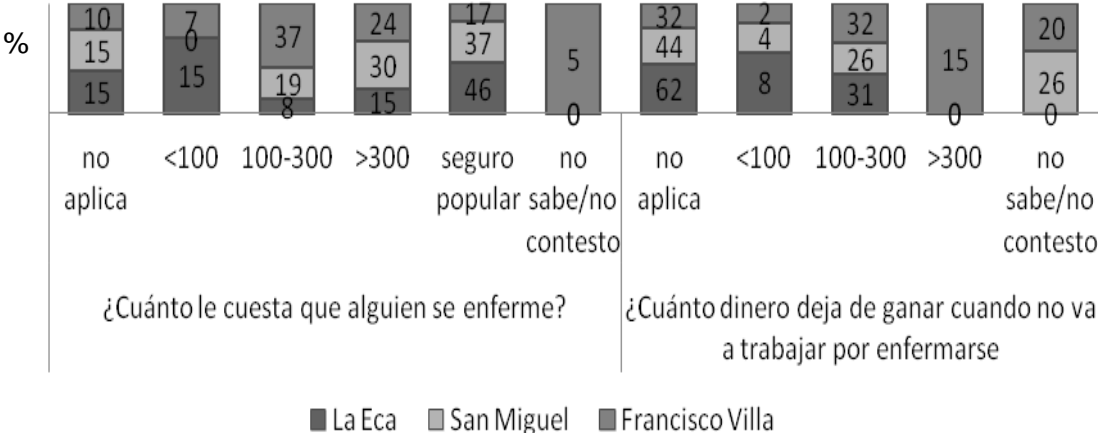


Figura 26. Pérdidas económicas asociadas a enfermedades más frecuentes en comunidades de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco.

7.7.6 Ingresos económicos

En las tres comunidades evaluadas, la mayoría de los encuestados no cuentan con un salario fijo (Figura 27).

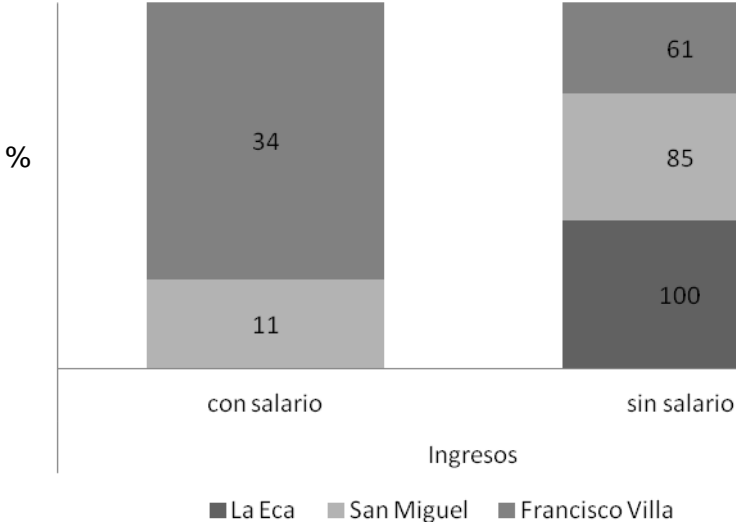


Figura 27. Ingresos económicos percibidos en comunidades de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco.

7.7.7 Recolección de aguas residuales y calidad de agua

La Eca y Francisco Villa cuentan en su mayoría con fosa séptica, mientras que San Miguel existe el servicio de drenaje que desemboca en el río Cuitzmala. Además, las tres comunidades cuentan (aunque en menor proporción) con mangueras que llevan sus aguas residuales al exterior de sus casas, mismas que se vierten al suelo o de manera directa en el río. Debido a lo anterior se busco conocer si las personas encuestadas perciben los riesgos sanitarios y ecológicos que representa realizar estas prácticas. Los resultados se muestran en la Figura 28, en donde se aprecia que únicamente en la comunidad de La Eca los encuestados reportan que estas aguas si salen de su casa y reconocen que pueden afectar tanto a las personas como a los animales que viven en el río, mientras que en San Miguel y Francisco Villa, los encuestados indican que el agua residual no sale de sus casas, ya que se la chupa la tierra, por lo que no consideran que afecte a sus vecinos.

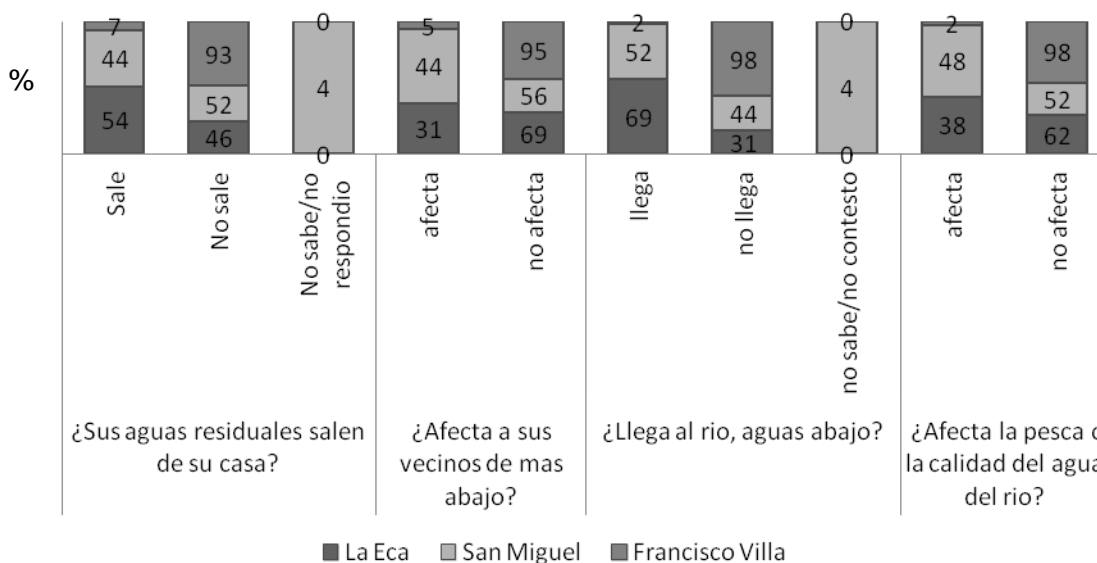


Figura 28. Afectaciones ecológicas y a la salud de las aguas residuales en comunidades de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco.

En relación con mejorar las condiciones del río, la mayoría de los encuestados afirmó que haría algo por mejorar las condiciones actuales en que se encuentra el río. En La Eca se declaró en un 38% que hace falta limpieza en el río, en San Miguel un 41% indicó que hay que limpiar el agua; y en Francisco Villa el 39% de los encuestados, proponen un sistema de drenaje (Figura 29).

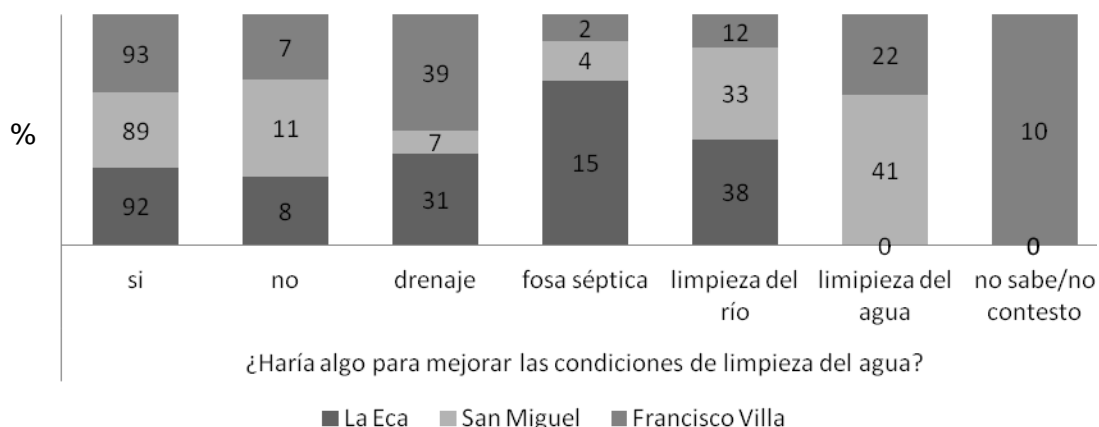


Figura 29. Soluciones para mejorar las condiciones actuales en las que se encuentra el río Cuitzmala

Posteriormente se abordó el tema de la calidad del agua, La Eca y Francisco Villa reportan que no hay cambios, mientras que San Miguel menciona que ha empeorado, por lo que también reporta que el agua esta sucia, al igual que Francisco Villa (Figura 30).

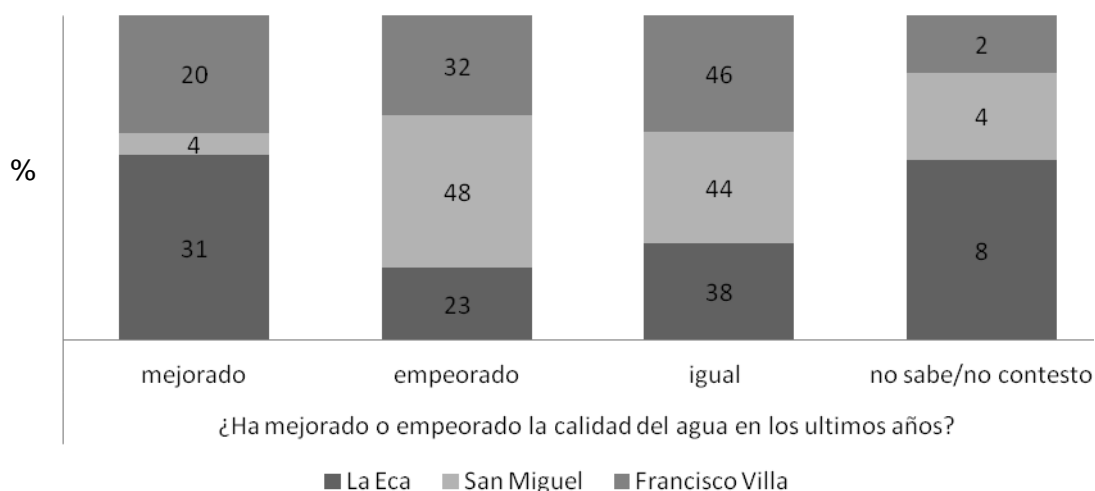


Figura 30. Percepción de los cambios en la calidad del agua del río Cuitzmala, Jalisco.

Aunque en las tres comunidades evaluadas se dijo consumir agua del río (La Eca, 69%; San Miguel, 44%; Francisco Villa 29%), solo la comunidad de La Eca lo hace durante todo el año; San Miguel consume más en temporada seca (26%); mientras que Francisco Villa

consume más en lluvias (22%). En los tres casos no hace ningún tratamiento previo al agua antes de consumirla (Figura 31).

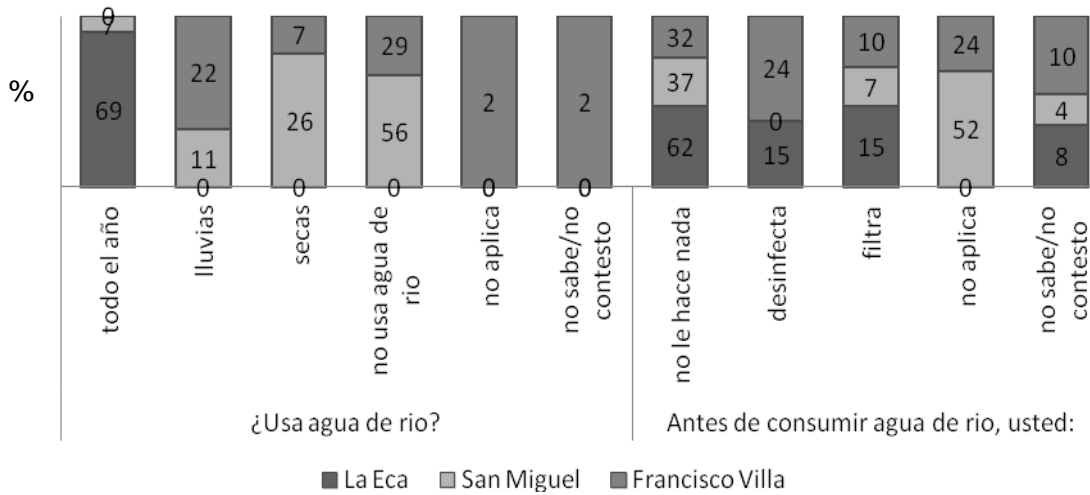


Figura 31. Consumo de agua de río en comunidades de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco.

En relación con el sistema de tratamiento de aguas residuales, alrededor del 70% de los encuestados en las tres localidades, afirman que si ayudaría a mejorar las condiciones sanitarias en las que viven contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales, mismo que están dispuestos a pagar entre 10 y 100 pesos por mes (Figura 32).

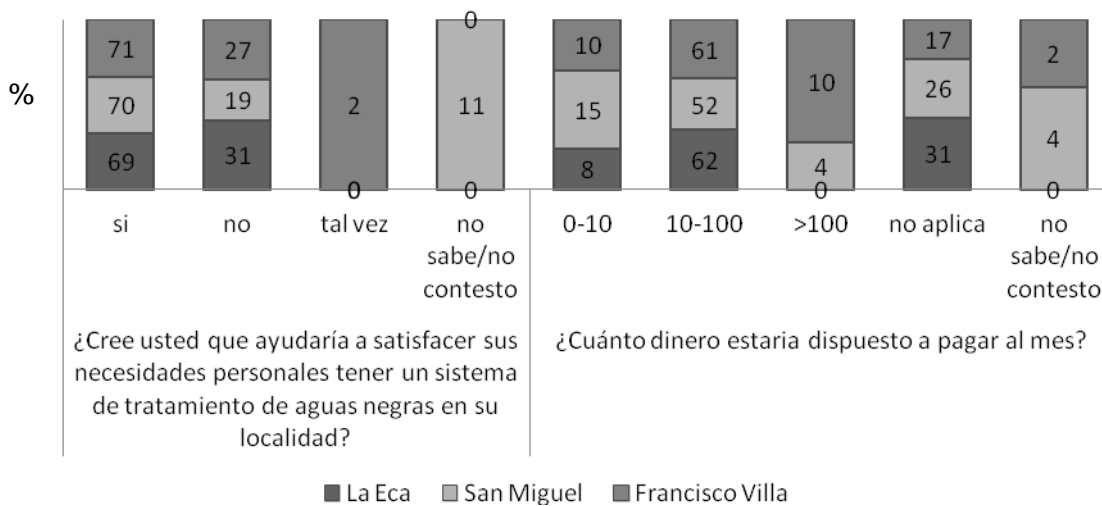


Figura 32. Recolección de aguas residuales en comunidades en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco.

8. Discusión

La calidad del río presenta variaciones a lo largo de la cuenca y en el tiempo, ya que los valores encontrados para la mayoría de las variables muestreadas superan a los reportados por López (2008) para el agua superficial en la cuenca del río Cuitzmala. Durante temporada de estiaje, parámetros como nutrientes, oxígeno disuelto, pH y conductividad, resultaron más altos debido probablemente a un efecto de concentración por disminución del volumen del caudal, ya que en esta investigación se registró mayor temperatura del agua y menor volumen en esta temporada. Sin embargo, aunque los valores son altos, parámetros como sólidos disueltos totales no superan los 600 mg/L, establecidos por la OMS (2006) como límite de una buena calidad de agua.

Una influencia importante en la conductividad, son las descargas de aguas residuales que aportan iones como NO_3^- (ya que en la época seca, se encontraron mayores concentraciones de nutrientes), y el intemperismo expresado en iones sodio, potasio, calcio o magnesio (ya que en la época de lluvias, se encontraron mayores concentraciones de sólidos disueltos y totales).

El oxígeno disuelto puede estar relacionado con la velocidad del caudal, ya que los sitios en donde el agua no tiene un flujo constante, hay una menor concentración de oxígeno disuelto, lo que de acuerdo con Contreras y Molero (1998) implica un deterioro ecológico ya que no es posible la sobrevivencia de peces y otras especies acuáticas. Además de que puede implicar posibles focos de infección para los habitantes locales.

En el periodo seco se encontró una mayor concentración de bacterias coliformes y enterococos fecales relacionados con bajos niveles de pH y bajas concentraciones de oxígeno disuelto, lo que corresponde con Contreras y Molero (1998), quienes indican que el agotamiento de oxígeno como resultado de los procesos de degradación, en conjunto con pH ácidos propician la proliferación de bacterias debido a descomposición y liberación de ácidos. Esto puede implicar posibles focos de infección, pues además de las bacterias indicadores encontradas en el presente trabajo, López (2008) identificó la presencia de *Vibrio cholerae*, bacteria asociada con graves enfermedades gastrointestinales.

La gran variación en demanda bioquímica de oxígeno registrada en los sitios centrales de cada localidad (que se hacen más evidentes durante el periodo seco), puede deberse a que de acuerdo con Seoáñez (1996), la concentración de DBO_5 depende de las especies

de microorganismos que se encuentren interactuando en el agua, su concentración y tipo de metabolismo, es decir, dicha variación pudo ser debida a la presencia de diversas bacterias como nitrificantes y/o de protozoos consumidores de oxígeno, que además se alimentan de bacterias.

En los sitios centrales denominados SMO y VC en las localidades evaluadas (San Miguel y Francisco Villa), se encontraron concentraciones que superan los límites permisibles de las normas nacionales e internacionales, y muy por encima del resto de los sitios de muestreo. La acumulación de residuos en estos sitios podría conducir al desarrollo de depósitos de sedimentos y condiciones anaerobias, que como indica Seoáñez (1996), causan turbidez y reducción en la penetración de luz en el cuerpo de agua afectando su calidad. Lo anterior se verifica con los resultados del ICA, en donde estos sitios tienen la menor calidad de agua para los tres usos evaluados; lo que puede representar un potencial foco de infección, ya que como se mencionó, las concentraciones bacterianas superan las recomendaciones de las NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000) y NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1997).

Los enterococos fecales (aunque no son considerados en las normas), resultaron tener un conteo superior a las 1000 UFC/100 mL en todos los sitios evaluados, lo que refleja una disminución en la calidad del recurso.

Las altas concentraciones de nutrimentos en los puntos SMO y VC, pueden ser resultado de las descargas agropecuarias locales, ya que Torales y Lazos (en prensa) reportan uso de agroquímicos a las orillas del río, y del arrastre desde cuenca arriba, debido a que la OMS (2006) indica, que la presencia de nitrógeno, amonio, nitratos y fósforo son derivados de los efectos de estas actividades, a causa de la aplicación de fertilizantes inorgánicos u orgánicos y de los purines de la producción ganadera.

Es probable que los nutrimentos encontrados en la presente investigación como nitrógeno total, amonio, nitratos y fósforo total respondan a las actividades agropecuarias pues registraron concentraciones por encima de las sugeridas en las normas mexicanas. El amoniaco remarca la influencia ganadera ya que según la OMS (2006), concentraciones por encima de los 0.2 mg/L, denotan una clara influencia de la ganadería intensiva. El Fósforo total está más relacionado con las actividades domésticas y agrícolas, debido a que APHA (2005) indica que es un componente de los fertilizantes. El material en suspensión también está relacionado con las actividades agropecuarias, ya que de

acuerdo con Seoáñez (1996) este material proviene del arrastre desde la parte alta y media de la cuenca, consecuencia de la erosión de los suelos que sigue a un proceso de deforestación, pastoreo o mala práctica agrícola.

En el caso de nutrimentos derivados de residuos orgánicos antrópicos que se aportan al río, los ortofosfatos presentes en las muestras de agua examinadas, pueden reflejar el uso de detergentes, ya que las concentraciones encontradas, son mayores en los sitios de descarga directa. El amoníaco por su parte, puede ser resultado de descomposición y desecho tanto de animales como de humanos a través de la orina (ya que de acuerdo con las encuestas es una práctica común en la zona); material en suspensión como heces fecales (coliformes y enterococos fecales).

En relación con el aporte bacteriano fecal de estos dos sitios, se observó que el sitio central de San Miguel, tiene un mayor aporte de contaminación fecal derivada de humanos, al obtenerse un coeficiente CF/EF menor a 1, tal como indican Matcalf y Eddy (1991) y APHA (2005). El sitio central de Francisco Villa, registró un mayor aporte de contaminación fecal animal, registrando un coeficiente CF/EF de 371, valor muy encima del indicado por los mismos autores.

De esta manera, en la zona se detectan fuentes de contaminación puntual y no puntual que aportan contaminantes sobre el agua del río Cuitzmala (superficial). Las primeras son evidentes en los sitios centrales, a través de descargas de aguas residuales desechadas de manera directa al río a través de un tubo o manguera; mientras que las segundas, son consecuencia de la escorrentía procedente de las zonas agropecuarias, fosas sépticas, además los desechos de animales silvestre y el acceso directo del ganado para tomar agua del río.

Se considera que para determinar la calidad del agua del río no es suficiente con evaluar las concentraciones de cada parámetro por separado ya que el ICA es mayor en la temporada de estiaje (Tabla 10), aún cuando las mayores concentraciones de cada parámetro fueron registradas en esta temporada (Tabla 18). Sin embargo el análisis del conjunto permitió identificar a esta temporada como la de mayor calidad. Por ejemplo, el pH registrado durante la temporada de estiaje fue mayor, lo que de acuerdo con Contreras y Molero, (1998), es más favorable para la flora y fauna acuática, además de que estos valores son más cercanos a lo indicado por la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000) sobre uso y consumo humano.

Asimismo, los conteos bacterianos fueron menores en temporada seca, resultado de factores medioambientales como la precipitación, ya que según la OMS (2006) y Vikaskumar *et al.*, (2007), al aumentar las lluvias se puede aumentar la contaminación microbiana y con ello los conteos de coliformes.

Los valores del ICA corresponden con los resultados del ACP. Se agrupan los tres tipos de calidad (Buena, Regular y Mala) en relación con los parámetros con mayor carga factorial del ACP (Tabla 15). Se observa que los sitios centrales de las localidades evaluadas (sitios SMO y VC), están influenciados por actividades antropogénicas, al encontrarse más relacionados con variables como nutrimentos, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos disueltos, conductividad, amonio y enterococos fecales, que responden a elementos de aguas residuales y derivadas de actividades agropecuarias.

De esta manera, es probable que parámetros como: nitrógeno total y oxígeno disuelto estén determinando de manera categórica la calidad del agua (Figura 19). El primero asociado con otros nutrimentos como carbono orgánico total y fósforo total, influenciando la densidad bacteriana y con ello la turbidez ya que según la OMS (2006), nutrimentos como el nitrógeno y el fósforo total, pueden estimular la proliferación de bacterias, lo que se relaciona con la cantidad de coliformes fecales encontradas, donde a menor turbidez, menor conteo de bacterias fecales. Mientras que el oxígeno disuelto está relacionado con el pH y los conteos bacterianos.

En relación con los aspectos sociales, se encontró que las personas encuestadas en las tres comunidades entienden y perciben el agua del río como un bien que debe mantenerse en buenas condiciones, ya sea notando cambios en la calidad del agua (a través de dermatitis perciben cuando de cuenca arriba, lavan y/o desollan sus animales en el río), recolectando residuos sólidos del río (en la comunidad de La Eca existe un grupo de mujeres que limpia el río cada tres días), e incluso a través de la organización social con respecto a la demanda de agua en cantidad y calidad (las tres comunidades reciben agua a través de tubería proporcionado por un “comité de agua”).

Se encontraron diferencias en las proporciones de hombres y mujeres encuestados. En La Eca y San Miguel se encuestaron más mujeres, mientras que en Francisco Villa, fueron más hombres los encuestados. Lo anterior debido probablemente a la hora en la cual fue realizada la encuesta, pues en las comunidades de la parte alta, las encuestas se realizaron por la mañana, antes de mediodía (horario en que los hombres se encuentran

trabajando), y en Francisco Villa, la encuesta fue aplicada por la tarde. Lo anterior tiene implicaciones en las percepciones de acuerdo al sexo del encuestado, ya que mientras las mujeres tienen una idea más clara en lo que respecta a agua para uso doméstico, los problemas de contaminación y enfermedades relacionados con la descarga de aguas residuales, los hombres intervienen más en temas relacionados a costos e infraestructura. Por ejemplo: el volumen de la pileta o tinaco que tienen en su casa, además de gastos derivados de enfermedades.

Hay una diferencia entre el origen de agua que se utiliza para los diversos usos. La parte alta de la cuenca utiliza agua superficial (del río), y la parte baja de la cuenca utiliza agua subterránea (de pozos). Esta situación también fue reportada por Solórzano (2008).

En la presente investigación encontramos que las personas actualmente consumen agua embotellada para beber y en algunos casos cocinar debido a los riesgos que se perciben al consumir agua del río, ya que Torales y Lazos (en prensa) reportan mortalidad en los años 40s por infecciones gastrointestinales derivadas de la ingesta de agua del río, e incluso con la finalidad de prevenir estas enfermedades, se instaló la planta embotelladora “La subidita blanca” localizada en la comunidad de La Eca. También Solórzano (2008) encontró reportes de infecciones gastrointestinales asociadas al uso de agua de río.

En relación con la cantidad de agua que se consume se encontró que para evitar la carencia de agua durante la temporada de estiaje los habitantes locales cuentan con más de un contenedor de agua como sistema de almacén de agua. Estos contenedores varían en capacidad, cantidad y variedad, por lo que no fue posible establecer cuál es el consumo real en litros por día. Solo el caso del garrafón arrojó resultados más precisos en cuanto a consumo diario, mismo que varía de acuerdo al número de integrantes de la familia. Al respecto, Solórzano (2008) reporta que no es posible establecer una medida de la cantidad de agua que se utiliza, en parte debido a que no hay medidores instalados, y a que los habitantes locales no muestran interés en contabilizarla ya que la perciben como un recurso disponible en cantidad suficiente, pero que si, ha venido disminuyendo en su calidad debido principalmente al desmonte.

Contrario a lo que se esperaba, en la parte alta de la cuenca el agua llega a través una red de tuberías operado y administrado por un “Comité de Agua”. Este comité formado por habitantes locales se encarga de que el agua sea transportada desde la fuente de donde se extrae, hasta los hogares de cada uno de los habitantes, además de costear y cobrar

por el servicio. Lo mismo sucede en la parte baja de la cuenca donde el agua es extraída de pozos a través de un sistema de bombeo y es transportado por tuberías operadas y administradas por habitantes locales. Estos resultados coinciden con lo reportado por Torales y Lazos (en prensa) y Solórzano (2008), quienes también encontraron que tanto en la parte alta como en la parte baja de cuenca, el servicio es totalmente comunal y no cuentan con ayuda del gobierno.

Las personas encuestadas concuerdan en que la organización y administración del comité de agua es buena, afirman pagar lo justo por el servicio que reciben. En La Eca, el agua les dura todo el año (resultado de la cercanía con el nacimiento del río), mientras que en San Miguel y Francisco Villa les dura “casi todo el año”, resultado de que el periodo de lluvias solo dura cuatro meses, por lo que en temporada seca existen reportes de escasez de agua en estas comunidades lo que concuerda con el estudio de Solórzano (2008).

No se registró una asociación entre el consumo de agua superficial (de río) con la incidencia de enfermedades gastrointestinales, ya que el consumo de agua para beber es en su mayoría comercial, lo que impide que se asocien las enfermedades con dicho consumo. Lo anterior puede ser consecuencia de enfermedades gastrointestinales causadas en el pasado como resultado del consumo de agua del río, mismas que han sido registradas por Torales y Lazos (en prensa) y Solórzano (2008).

Contrario a lo que se esperaba, se reporta mayor incidencia de enfermedades respiratorias. En este sentido, dado que, dentro de la identificación bacteriana fueron encontradas especies como *Acinetobacter lwoffii*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Bordetella bronchiseptica*, mismas que son causantes de enfermedades respiratorias como: neumonía y meningitis, es posible establecer una relación entre estos hallazgos y los resultados de las encuestas en donde se afirma que las enfermedades respiratorias son las más comunes. Sin embargo, no es posible establecer una relación directa entre el consumo o interacción con el agua del río Cuitzmala, y dichas enfermedades, ya que se requiere de hacer un cuadro clínico en cada paciente para poder dilucidar si se trata de las bacterias reportadas en este trabajo.

Por otra parte, a pesar de que algunos de los encuestados dijeron tener seguro popular, se indican gastos derivados de enfermedades. De esta manera, en las tres comunidades se perciben gastos que van de los 100 a los 300 pesos por cada día que se mantengan inactivos o incapacitados para realizar sus actividades diarias por concepto de

enfermedad y, de igual manera entre 100 y 300 pesos de gastos derivados de pagar los medicamentos. De esta forma la pérdida total por enfermedad va de los 200 a los 900 pesos, lo que representa una gran inversión si consideramos que la mayoría de los encuestados en las tres comunidades reporta no contar con un salario fijo.

A pesar de que los encuestados no reciben un salario fijo, al igual que lo reportado por Solórzano (2008) todos pagan por el servicio de agua e incluso afirman que el precio que pagan por el servicio de agua es justo.

Es evidente un aporte antrópico en los sitios centrales de cada localidad, ya que en las tres comunidades la fosa séptica es el principal mecanismo de recepción de aguas negras, en conjunto (aunque en menor proporción) con tubos y mangueras que conectan los residuos de manera directa e indirecta al río. Estos datos coinciden con lo reportado por Solórzano (2008) para las localidades de La Eca y Zapata (comunidad vecina a Francisco Villa), y con lo reportado por Sánchez (2010) para la comunidad de San Miguel. Incluso en San Miguel se reporta la existencia de drenaje en una parte de la comunidad, sin embargo Sánchez (2010) encontró que este drenaje sale a un potrero, lo que aumenta los posibles efectos nocivos a la salud.

La percepción de los encuestados sobre los efectos de estas prácticas, es que no hay efectos, es decir, San Miguel y Francisco Villa reportan que si los tubos y mangueras no salen de la casa, el agua tampoco lo hace y por tanto no puede afectar a los vecinos de aguas abajo, además, La Eca y San Miguel están de acuerdo con que no llega al río e incluso los habitantes de Francisco Villa concuerdan con los de las otras dos comunidades en que no se afecta a la pesca, a pesar de que Solórzano (2008), reporta que 14 de 35 encuestados en La Eca y 36 de 44 entrevistados en la localidad de Zapata (localidad vecina a Francisco Villa) sí perciben una disminución en la cantidad de peces, lo que puede estar asociado al marco muestral, que en dicha investigación fue mayoritariamente de hombres y en la presente investigación fue de mujeres, y que como ya se indicó la percepción de los servicios varía de acuerdo al sexo.

En general los encuestados no tienen una visión de las consecuencias de descargar sus aguas residuales al río o a la tierra. Únicamente en la localidad de La Eca existe una preocupación por ello, incluso Torales y Lazos (en prensa) reportan que *“algunos productores empiezan a interesarse por cuidar los socioecosistemas, ya que tienen claro que el procesos productivo que llevan a cabo tiene consecuencias en la calidad de vida, la*

salud y el paisaje". Lo anterior probablemente influenciado por las aguas contaminadas que reciben del rancho "El Camalote", además de la cantidad de residuos sólidos que se tira al río resultados de practicas recreativas en la cascada llamada "Las Brisas" (a un costado de La Eca); por lo que son más susceptibles a los cambios en el río. En esta localidad tienen una mejor organización social (existe un comité de limpieza del río, formado por mujeres que limpian el río de los residuos sólidos cada tercer día), incluso comentan que no se hacen más cosas por falta de dinero.

La mayoría de los encuestados afirmó que haría algo por mejorar las condiciones actuales en que se encuentra el río, entre las actividades que se proponen son: limpieza del río (principalmente en La Eca y San Miguel), además de sistema de drenaje (en Francisco Villa).

La calidad del agua es percibida a través de su apariencia en conjunto con los desastres climatológicos que se presentan a lo largo del año, ya que algunas personas encuestadas en San Miguel y Francisco Villa hacen referencia a eventos de inundación que trae consigo el periodo de lluvias, mismas que ahora gracias a un bordo que construyeron, han disminuido, por lo que el agua ya no se estanca en sus patios.

Los encuestados identifican también una disminución en la calidad del agua (aunque en una muy baja proporción), ya que se reporta como sucia y/o con "maromeros" (larvas de mosco). Incluso en algunos casos se pudo observar que las piletas contenían peces vivos para evitar el desarrollo de estas larvas. Estos datos coinciden con los reportados por Solórzano (2008) para la comunidad de La Eca (en donde se reporta una disminución de la calidad debido a la tala, cambios en las crecientes del río, y en menor proporción basura y drenajes que desembocan en le río.) y con Sánchez (2010) para la comunidad de San Miguel (quién encontró desconfianza de los habitantes al consumir agua del río debido a desechos derivados de animales).

En relación con el sistema de tratamiento de aguas residuales, la mayoría de los encuestados en las tres localidades, afirman que ayudaría a mejorar las condiciones sanitarias en las que viven contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales, mismo que están dispuestos a pagar entre \$10-\$100 por su mantenimiento.

La intención de preguntar a los habitantes sobre la necesidad de contar con un sistema como éste, es que de nada serviría proponer un sistema de esta naturaleza para resolver

el problema de contaminación, si la gente local no lo va a hacer parte de sus vidas y si no están dispuestas a colaborar, ya que de ello depende el éxito del sistema en la localidad.

En este sentido, la valoración del río así como de los recursos hidrológicos va más allá de un sentido utilitario y económico, ya que como lo indica Solórzano (2008), los habitantes locales sienten gran aprecio por el paisaje estético que proporcionan los sistemas acuáticos, además de las actividades recreativas.

9. Propuestas

Debido a que en los resultados obtenidos se encontró que los sitios centrales de cada localidad muestran alteraciones en la calidad del agua, mismas que pueden resultar nocivas para la salud de los habitantes locales y del ecosistema, y a que Torales y Lazos (en prensa) indican que la última recesión económica de Estados Unidos trajo como consecuencia el regreso de paisanos a estas tierras, lo que podría generar un mayor deterioro de la calidad del agua con el aumento de la población. Se propone un manejo integral de agua, que de acuerdo con Falkenmark (2003), implica tres aspectos fundamentales:

- Económico. Relaciones de costo-beneficio, financiamiento, operación y mantenimiento de infraestructura e incentivos para fomentar la aplicación de agua para distintas funciones.
- Social: Bienestar humano, salud, producción socio-económica, alimentaria, producción de energía.
- Ecológicos: Recuperación o mantenimiento del ecosistema, mantenimiento de la adecuada calidad de agua.

La cuenca del río Cuitzmala está conformada por poblaciones rurales, que carecen de infraestructura sanitaria como: sistemas de abastecimiento de agua potable y de eliminación de aguas residuales, además de disposición de residuos sólidos, entre otros servicios, por lo que se hace necesario proponer una infraestructura cuyo principal propósito es mejorar la calidad de vida de los habitantes locales, beneficiando a los usuarios presentes y futuros, además de resolver posibles efectos nocivos en la salud.

En la práctica, la aplicación de los métodos de tratamiento debe tener en cuenta fundamentalmente la naturaleza y las propiedades fisicoquímicas de las aguas o efluentes a tratar (Domènech *et al.*, 2001). Es por ello que se realizó el estudio de la calidad del agua en las comunidades de San Miguel y Francisco Villa como representantes de la parte alta y baja de la cuenca

De acuerdo con los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, se considera que los sitios centrales en San Miguel y Francisco Villa (sitios SMO y VC),

vierten de manera directa al río aguas residuales de tipo municipal, ya que son generadas en casas habitación (Jiménez, 2001), y se caracterizan por ser una mezcla de residuos domésticos que incluyen aguas negras (desechos fecales) y aguas grises, constituidas por aguas de lavabos, regaderas, lavadoras y cocinas fundamentalmente (Ruiz *et al.*, 2000); por lo que no presentan problemas para su tratamiento biológico (Olivo y Martínez, 2000).

Por ello se plantea un sistema de tratamiento de aguas residuales que por su simplicidad y bajo costo, pueda ser fácilmente utilizado, demostrando la factibilidad de aplicación de un modelo integral autosustentable, que permita la participación de la propia comunidad en la solución del problema.

Aunque para cada sistema de tratamiento se considera un costo aproximado, es importante resaltar que en México, el servicio de tratamiento y disposición de aguas residuales se encuentra a cargo de los municipios, por lo que es éste quien debe proveer los recursos necesarios para implementar las plantas de tratamiento (CONAGUA, 2010). Además de los municipios existen los organismo de cuenca, a cargo de la Comisión Nacional del Agua, que se encargan de administrar y custodiar las aguas nacionales, así como los bienes que se vinculan a éstas, vigilando el cumplimiento de la Ley de Aguas Nacionales y proveer lo necesario para la preservación de su calidad y cantidad para lograr su uso integral sustentable (CONAGUA, 2012).

Para la localidad de Francisco Villa, se considera un sistema de tratamiento biológico no convencional, es decir, que utilice componentes del medio natural, en los que el efecto depurador se relaciona con la interrelación de la vegetación, el suelo y los microorganismos (González, 2009). Estos sistemas se caracterizan por requerir un mínimo de personal de operación, por un menor consumo energético y una menor producción de lodos.

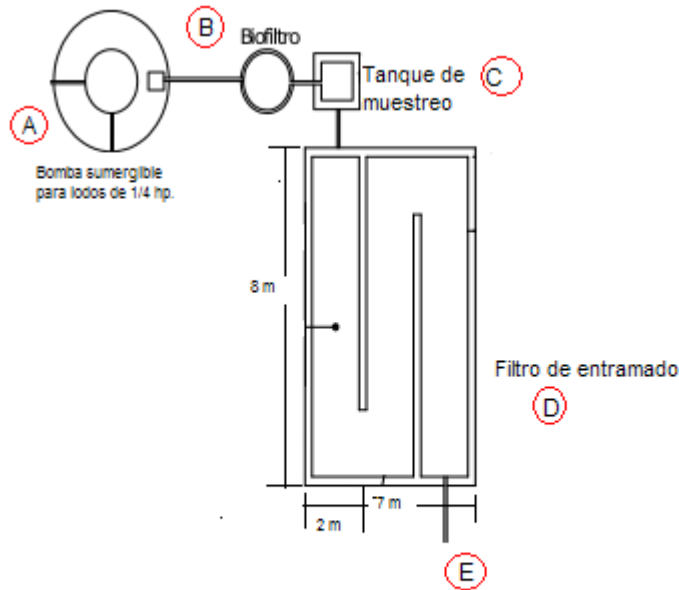
Para minimizar la concentración de los contaminantes se han desarrollado técnicas de remediación en suelo, agua y sedimento (Manacorda y Cuadros, 2005), como la fitorremediación. Está técnica desarrollada para la recuperación de aguas contaminadas, consiste en utilizar plantas, sistemas microbianos de las plantas, enmiendas del suelo y técnicas agronómicas para contener, inmovilizar, remover, estabilizar y/o degradar compuestos contaminantes en suelo y agua (EPA, 2000). Algunos contaminantes se absorben por las planta y pueden transformarse en gases que se liberan al aire cuando la

planta transpira o pueden ser metabolizados por los microorganismos que viven cerca o en las raíces de las plantas (EPA, 2001).

Para la propuesta de tratamiento, se considera un sistema combinado de biofiltración sobre lecho orgánico (BF) y humedal tipo entramado de raíces (ER) (Figura 33), ya que según los estudios de González, (2009) y Madera *et al.*, (2000), ésta combinación es eficiente para remover contaminantes de aguas residuales domésticas, alcanzándose porcentajes de remoción de entre 89.7 y 99.9% para nitrógeno amoniacal, ortofosfatos, coliformes, cumpliendo así con lo establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996, para el vertimiento a cuerpos de agua nacionales.

El sistema consta de una fosa séptica con capacidad para 1000 L (se puede utilizar la que ya tienen), con una bomba sumergible con cuerpo de acero inoxidable, que se conecta a través de tubería de PVC hidráulico de 1 ½ pulgada con el biofiltro sobre lecho orgánico de 1 m en cada lado por 2 m de alto. Esto, se conectará con un humedal artificial de 7 m de ancho x 8 m de largo y 0.60 m de alto (en forma de L), construido con cemento y tabicón, y con una pendiente de 10%, que concluya con una tubería que desagüe en el canal o en alguna pila para su posterior reúso (González, 2009).

El agua residual es bombeada desde la fosa séptica (Figura 33-A) al biofiltro (33-B) en donde atraviesa por gravedad hasta caer en un registro (33-C) para luego entrar al entramado de raíces (33-D) y finalmente salir por la tubería de desagüe (33-E).



SISTEMA COMBINADO BF + ER

Esquema en planta.

Figura 33. Esquema del sistema BF+ER. Modificado de González, 2009.

De acuerdo con González (2009), las ventajas de este sistema son:

- a) es de fácil construcción.
- b) con bajos gastos de mantenimiento y operación (Puede tener un costo aproximado de \$20,000 por casa, que se reduciría a solo \$3,500 si el gobierno cubre los costos de plomería y obra civil).
- c) el mantenimiento lo puede realizar el propio usuario.
- d) no requiere de áreas grandes.
- e) trata el influente *in situ*, con lo que no se requiere conexión al sistema de alcantarillado, mientras que el efluente puede reutilizarse o reincorporarse al ambiente sin necesidad de transportarse a otras áreas.
- f) se obtiene una alta calidad fisicoquímica del agua.
- g) es versátil, ya que soporta variaciones en el caudal desde los 100 l/d hasta los 400 l/d,
- h) no se desprenden olores que puedan atraer vectores de enfermedades.
- i) tiene efectos positivos aguas abajo.
- j) se puede realizar una instalación en serie a tres casas, con lo que se reducirían los costos.

De esta manera, no sólo se mejoraría la calidad del agua, disminuyendo así las posibles afectaciones a la salud de los habitantes locales, sino que también, se disminuye la

cantidad de agua utilizada. El efluente (producto final del tratamiento) obtenido puede ser utilizado para usos como: lavado de vehículos (evitando que los laven en el río), riego de plantas (mitigando la demanda de agua superficial de la agricultura), descargas de agua en baños, ente otros. Lo anterior promueve un uso sustentable del recurso.

Las desventajas son que se requiere de una inversión particular y de ser posible, ayuda del gobierno para implementar dicho sistema. Sin embargo, ya que en las últimas décadas el gobierno ha participado en programas asistenciales y de obra pública en la zona (Torales y Lazos, en prensa), parece posible contar con su financiamiento.

Este sistema requiere de la instalación y puesta en funcionamiento de un sistema modelo, para lo cual se requerirá contar con la participación ciudadana. Hay que realizar la gestión necesaria para la obtención de permisos y financiamiento. Capacitar a los interesados en adquirir dicha tecnología para su instalación y mantenimiento, mediante visitas al sistema modelo, folletos, pláticas, y/o talleres. Además de hacer labor social para motivar a la gente, ya que aunque al parecer la gente está muy abierta a las opciones, se requiere de cierta inversión para lograr que esto sea posible. Se requiere de una interacción continua entre los actores involucrados, tomadores de decisiones y academia para que se pueda llevar a cabo la ejecución de estas propuestas con la confianza de que están respaldadas por la metodología científica pertinente.

En la comunidad de San Miguel, se plantea se aproveche la arquitectura existente, sin embargo, se requerirá de mantenimiento, capacidad técnica, además de gastos (aunque mínimos, ya que se está aprovechando el espacio) en infraestructura.

Considerando que Noyola (2003), indica que las lagunas de estabilización se utilizan para tratar aguas residuales municipales. Se propone como posible solución al problema de la contaminación en San Miguel, acondicionar el espacio de su pequeña laguna de oxidación resultado del rompimiento de la tubería que desechaba sus aguas residuales al río, para adaptar una serie de lagunas con diferentes requerimientos de oxígeno, siguiendo el proceso que se describe en la Figura 20, y con ello acelerar el proceso de recuperación del río en este sitio. Estas lagunas se deben adaptar de tal forma que exista una ligera pendiente negativa conforme se acerque a la zona de descarga del efluente.

Una laguna de estabilización es una excavación en el suelo donde se almacena el agua residual para su tratamiento por medio de la actividad microbiana, en condiciones

controladas. Cuando el agua residual es descargada en una laguna de estabilización, de inmediato se inicia un proceso de autopurificación (CONAGUA, 2007).

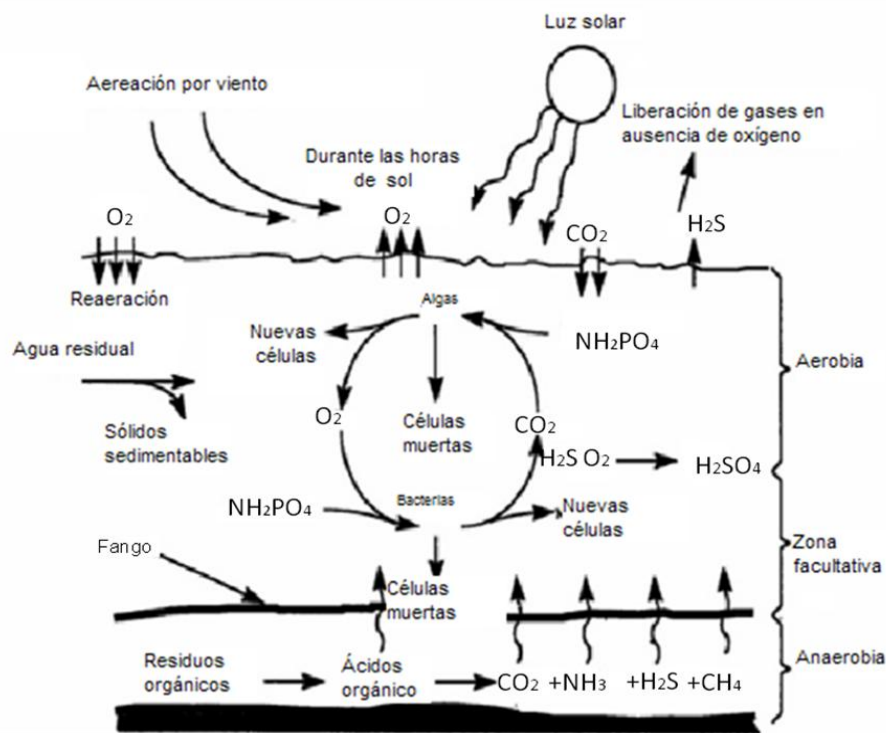


Figura 20. Representación esquemática de la estabilización de residuos en un estanque. (Modificado de Metcalf y Eddy, 1991).

Este sistema, se inicia con tanque de hasta 10 m de profundidad en donde las condiciones anaerobias prevalecen con excepción de la superficie. En este primer tanque el dióxido de carbono (CO_2) es convertido a metano (CH_4), con lo que se logra una eficiencia de DBO_5 de hasta un 85% (Metcalf y Eddy, 1991).

Sigue una laguna facultativa, que recibe el efluente de la laguna anterior. Esta laguna se caracteriza por combinar tanto procesos anaerobios, aerobios y facultativos. En la zona expuesta a la intemperie existe actividad bacteriana aerobia además de algas. En la zona intermedia se llevan a cabo procesos tanto aerobios como anaerobios a cargo de bacterias facultativas, los materiales solubles y coloidales son oxidados, el dióxido de carbono producido en este proceso es utilizado por las algas de la superficie. Finalmente la zona más profunda es anaerobia, por lo que presenta la mismas características de la primer laguna sugerida (Metcalf y Eddy, 1991).

En última posición, se propone una laguna aeróbica de un metro y medio de profundidad, para maximizar la cantidad de oxígeno producido. Esta laguna debe ser más ancha en comparación con las anteriores y ubicarse pendiente abajo para maximizar la eficiencia de oxigenación al aumentar la superficie de contacto con la atmósfera (viento). El oxígeno producido ayuda a degradar compuestos como nutrientes. En esta etapa se pueden encontrar bacterias, algas fotosintéticas protozoarios y rotíferos, lo que ayuda a mejorar la calidad del agua que se dispondrá en el río (Metcalf y Eddy, 1991).

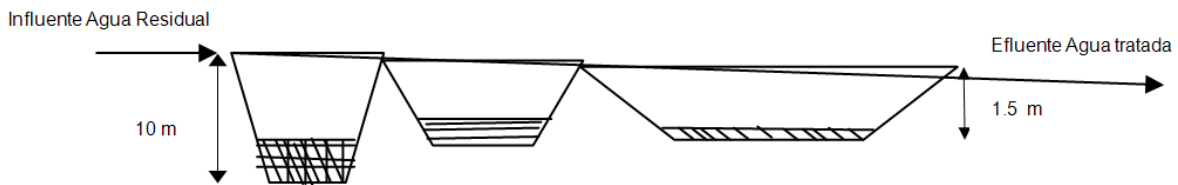


Figura 21. Sistema lagunar propuesto para la comunidad de San Miguel, Jalisco. Las ventajas de este sistema lagunar según Metcalf y Eddy (1991) y CONAGUA (1992) son:

- Es un proceso natural de autopurificación
- La estabilización de materia orgánica se realiza mediante la acción simbiótica de bacterias, algas y otros organismos.
- Sólo se requiere desazolver el sistema actual y modificar ligeramente los bordos (acondicionar el sitio), además de construir bordos intermedios.
- Se aprovecharía íntegramente la infraestructura existente.
- Se presentan procesos físicos de remoción de materia suspendida.
- Se favorecen condiciones químicas que permiten que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables.
- Cumple con las normas en relación a coliformes fecales y DBO_5 .

Las desventajas del sistema lagunar son:

- El costo de inversión, operación y mantenimiento estimado en 61 millones de pesos (CONAGUA, 2007).

Este sistema requerirá contar con la participación del gobierno municipal para solventar los gastos derivados de su instalación y puesta en funcionamiento, mientras que la participación ciudadana es fundamental para resolver el tema del mantenimiento. Hay que realizar la gestión necesaria para la obtención de permisos y financiamiento. Capacitar a los interesados en el mantenimiento del sistema, promover la participación ciudadana mediante folletos, pláticas, y/o talleres.

A gran escala se propone una planta de tratamiento para riego agrícola de 35 m³, ya que la agricultura de riego es una de las principales actividades económicas en la zona y por tanto es una de las principales demandantes de agua superficial. Lo que implica que sea vea disminuido en cauce del río Cuitzmala, provocando mayor escasez de agua. Este sistema requerirá de una mayor inversión en comparación con las dos anteriores, ya que necesita espacio, infraestructura y personal capacitado para el mantenimiento de la planta. El cambio de uso de suelo podría implicar alteraciones en el ecosistema debido a la compactación del suelo y cambios en la filtración del agua, sin embargo, de realizarse, podría ahorrarse mucha agua en la zona, obtenerse combustible natural (metano) y mejorar el saneamiento, ya que además se propone complementar con un sistema de alcantarillado en las tres comunidades evaluadas.

Para lograr esta construcción se propone incluir el presupuesto municipal y estatal para solventar dichos gastos.

Según Noyola (2003), la selección más adecuada para tratar un agua residual doméstica, además de residuos orgánicos rurales (agropecuarios), es un proceso anaerobio, seguido de un aerobio. Se propone una planta de tratamiento con reactor de lecho de lodos (UASB, Uplow Anaerobic Sludge Blanket). Ésta consiste en una zona de reacción en la parte inferior, donde se acumula la biomasa en forma de gránulos, en el fondo se ubican los de mejor sedimentabilidad y encima los más ligeros, formando el lecho de lodos. Un separador gas-sólido-líquido en la parte superior que impide la salida de los sólidos del reactor, separando a su vez, el biogás del efluente líquido (Ruiz *et al.*, 2000). Se trata de un sistema totalmente anaeróbico, es decir, sin la inyección del aire.

Debido a que el metabolismo de las bacterias anaeróbicas es muy lento, se requieren altos tiempos de retención hidráulica (TRH). Ello implica que sólo una pequeña fracción del residuo orgánico es transformado, el resto es convertido en metano como resultado del metabolismo bacteriano.

Tratar el agua involucra la generación de lodos residuales, lo que representa un riesgo a la salud social y ambiental ya que contienen grandes cantidades de materia orgánica, partículas no degradables (Boušková *et al.*, 2005), además de microorganismos patógenos y parásitos vivos (Winkler 1996; Rojas, 2001). Sin embargo, con el sistema UASB, estos lodos son tratados al mismo tiempo para reducir su volumen, aumentar su

estabilidad biológica, para con ello, producir un material inofensivo para su disposición (Vaca, 2008).

Una técnica efectiva para el tratamiento de lodos residuales en la digestión anaerobia termofílica, ya que además de que el biosólido (lodo que ha sido sometido a procesos de estabilización. NOM-004-SEMARNAT-1996 (DOF, 2003), producido puede ser utilizado como fertilizante, hay una gran producción de biogás (Vaca, 2008) que se puede utilizar en la misma planta con finalidades energéticas (Ruiz *et al.*, 2000).

Este proyecto integral, podría solucionar el problema de saneamiento al proporcionar tratamiento al 100% de las aguas residuales generadas y llevar a niveles altos la cobertura de alcantarillado. Por otro lado, la calidad del agua tratada cumplirá con lo que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1997), para el vertimiento en cuerpos de agua nacionales y su aplicación al suelo para riego agrícola.

Ello implicará realizar una evaluación ambiental del proyecto, ante autoridades correspondientes en materia de recursos naturales, además de la autorización de impacto ambiental, debido a los posibles efectos ecológicos que implique la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales.

10. Conclusiones

De acuerdo con el ICA, en términos generales los sitios evaluados en río Cuitzmala presentan una buena calidad en temporada de estiaje, para uso público urbano, agrícola y recreativo, con excepción de los sitios centrales de cada localidad, que presentan una mala calidad para los tres usos.

Los parámetros que determinan el comportamiento del sistema en cuanto a calidad de agua son oxígeno disuelto, nutrimentos (en lo que destaca el nitrógeno total), y sólidos disueltos totales.

Los resultados de conteos bacterianos y nutrimentos están asociados con las actividades productivas y domésticas de cada localidad.

Los sitios centrales de cada localidad (SMO y VC) requieren monitoreo. Además, constituyen un potencial riesgo de transmisión de agentes infecciosos de transmisión hídrica, responsables de enfermedades bacterianas respiratorias y gastrointestinales.

Las actividades humanas aportan contaminantes en la cuenca que están influyendo en la calidad del agua río abajo.

Se reafirma que los drenajes y fosas sépticas con los que cuentan las localidades son insuficientes.

En la zona se detectan posibles focos de infección relacionadas con enfermedades respiratorias.

En las comunidades evaluadas, se desarrollan prácticas de uso del suelo que favorecen la incorporación de contaminantes en el agua cuando se vierten aguas residuales domésticas, desechos de animales muertos, además de los lixiviados procedentes de las actividades agropecuarias, lo que modifica la calidad del agua y contribuye a la modificación del ciclo hidrológico.

Los habitantes de las comunidades analizadas han cambiado sus costumbres en lo que respecta a consumo de agua, ya que perciben los riesgos a la salud que representa beber agua directamente del río.

Las mujeres son las que tienen una idea más clara de los beneficios que tiene contar con agua en cantidad y calidad suficiente, no sólo para satisfacer sus necesidades diarias, sino también en lo que respecta a sus actividades económicas.

Es necesaria la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, en los sitios centrales de cada localidad (sitios problema), con la intención de aprovechar las aguas residuales tratadas en beneficio de los actuales y futuros usuarios, además de resolver los efectos nocivos que estas pueden causar.

Se sugiere incluir en las normas oficiales mexicanas algunos de los parámetros evaluados en el presente trabajo tales como: sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, turbidez, además, incluir a los enterococos fecales en los parámetros bacterianos.

Bibliografía

American Public Health Association (APHA). American Water Work Association, Water Environmental Federation. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. United Book Press, Washington. D.C.

Asano, T. y A. Levine. 1998. 1996. Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present and future. *Water Science and Technology*. (33):1-14.

Atil, H., Y. Unver. 2001. Multiple Comparisons. *Journal of Biological Sciences* 1 (8):723-727.

Ávila García, Patricia. 2007. *Las cuencas hidrológicas de México y su vulnerabilidad socioambiental por el agua*. En: José Luis Calva (Coord.), Sustentabilidad y desarrollo ambiental, UNAM. Editorial Miguel Ángel Porrúa. México, D.F. HC140.E5 S87 2007 /

Banco Mundial. 2007. *El manejo del agua en territorios indígenas en México*. Vol. 4. Departamento de México y Colombia. Región de Latinoamérica y el Caribe. Washington, D.C.

Berg G., Daniel R. Dahling, Gerald A. Brown, Donald Berman. 1978. Validity of fecal coliforms, total coliforms, and fecal streptococci as indicators of viruses in chlorinated primary sewage effluents. *Applied and Environmental Microbiology* 36(6): 880-884.

Berger, J. 1993. Ecological restoration and nonIndigenous plant species: A review. *Restoration Ecology* 2(1): 74-82.

Berkes, F., C. Folke. 1998. *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press. Cd. United Kingdom.

Boušková, A., M. Dohányos, J. Schmidt, I. Angelidaki. 2005. Strategies for changing temperature from mesophilic to thermophilic conditions in anaerobic CSTR reactors treating sewage sludge. *Water Research* 39:1481-1488.

Bray, D. 1995. Peasant organization and the permanent reconstruction of nature. *Journal of Environment and Development* 4: 185-204.

Brooks K., Foilliot P., Gregersen H., DeBano L. 1997. *Hydrology and management of watersheds*. Iowa State. University Press/Ames. Iowa. 2nd ed. 502 p.

Bullock, S. H. 1986. Climate of Chamela, Jalisco, and Trends in the South Coastal Region of Mexico. *Achieves for Meteorology Geophysics, and Bioclimatology* 36:297-316.

Burgos, A. 1999. *Dinámica Hidrológica del Bosque Tropical Seco de Chamela, Jalisco, México*. Tesis Maestría en Ciencias Biológicas (Ecología y Ciencias Ambientales), UNAM. México, D.F.

Carabias, J., Landa R. 2005. *Agua, medio ambiente y sociedad*. UNAM, Colegio de México y Fundación Gonzalo Río Arronte. México, D.F.

Carabias, J., V. Arriaga, V. Cervantes. 2007. *Las políticas públicas de la restauración ambiental en México: Limitantes, avances, rezagos y retos*. Boletín de la Sociedad Botánica en México 80: 85-100.

Castillo, A. 2009. Conservación y Sociedad. En: *Capital Natural de México II*. Estado de conservación y tendencias de cambio. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México: pp. 761-801.

Castillo, A., A. Magaña, A. Pujadas, L. Martínez, C. Godínez. 2005. Understanding the interaction of rural people with ecosystems: A case study in a tropical dry forest of Mexico. *Ecosystems* 8: 630-643.

Castillo, A., A. Magaña, A. Pujadas, L. Martínez, C. Godínez. 2006. *Comunicación para la conservación: análisis y propuesta para la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, Jalisco*. En: Barahona A. y L. Almeida. *Educación para la Conservación*. UNAM, México. D.F.

Castillo G., C. Etcheberrigaray, J. Millañir, J. Raín y B.J. Dutka. 1998. *Saneamiento integral del agua de consumo en comunidades indígenas del sur de Chile*. En: XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería sanitaria y Ambiental. Noviembre 1998. Lima-Perú.

Ceballos G., A. Szekely, A. García, P. Rodríguez y F. Noguera. 1999. *Programa de manejo de la Reserva de Biósfera Chamela- Cuixmala*. INE/SEMARNAP. México, D.F.

- Cervantes, V., J. Carabias, V. Arriaga. 2008. *Evolución de las políticas públicas de restauración ambiental*. En: *Capital Natural de México, Vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad*. CONABIO, México: 155-226.
- Cifuentes, E., J. Hernández, L. Venczel, R. Pineda. 1997. *Enfermedades diarreicas agudas en México*. Organización Panamericana de la Salud.
- Cifuentes, E., L. Suárez, M. Solano, R. Santos. 2002. Diarrheal diseases in Children from a water reclamation site in Mexico City. *Environmental Health Perspectives* 110 (9) 6 p.
- Contreras, A. y M. Molero. 1998. *Introducción al estudio de la contaminación y su control*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid: p.432.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2010. *Índices de marginación*. México.
- Comisión Estatal del Agua de Jalisco. 2012. <http://www.ceajalisco.gob.mx/>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2012. www.conagua.gob.mx/**OCFS**
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2010. *Estadísticas del Agua en México 2010*. Comisión Nacional del Agua. México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2007. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diseño de lagunas de estabilización*. Comisión Nacional del Agua. México.
- Cotler, H. 2004. *El manejo integral de cuencas en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México. D.F.p. 264.
- Cotler, H., E. Durán, C. Siebe. 2002. Caracterización morfoedafológica y calidad de sitio de un bosque tropical caducifolio. En: F. Noguera, J. Vega, A. García, M. Quezada. *Historia Natural de Chamela*. Instituto de Biología. UNAM. México: 17-79.
- Daily, G. C. 1999. Developing a scientific basis for managing Earth's life support systems. *Conservation Ecology* 3 (2):14. <http://www.consecol.org/vol3/iss2/art14>
- Diario Oficial de la Federación. 2000. NOM-127-SSA1-1994. *Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. México, D.F.

Diario Oficial de la Federación. 1997. NOM-001-SEMARNAT-1996. *Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. México, D.F.

Diario Oficial de la Federación. 1998. NOM-002-SEMARNAT-1996. *Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal*. México, D.F.

Diario Oficial de la Federación. 2003. NOM-004-SEMARNAT-1996. *Protección ambiental lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*. México, D.F.

Domènech, X., Jardim, W.F. y Litter, M. 2001. *Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes*. En: Eliminación de contaminantes por catálisis heterogénea. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), Digital Grafic: 3–26.

Dourojeanni, A. 2004. *Si sabemos tanto sobre qué hacer en materia de gestión integrada del agua y cuencas ¿Por qué no lo podemos hacer?* En: El manejo integral de cuencas en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México: 135-171.

Enciclopedia de los municipios. Estado de Jalisco. Villa Purificación. Fecha de consulta: diciembre 2011.

<http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/jalisco/mpios/14068a.htm>

Enciclopedia de los municipios. Estado de Jalisco. La Huerta. Fecha de consulta: Diciembre 2011.

<http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/jalisco/mpios/14043a.htm>

Falkenmark, M. 2003. Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges. *Freshwater, Society and Ecosystems*: 358, 2037-2049.

Ferguson, C., A. de Roda, N. Altavilla, D. Deere y N. Ashbolt. 2003. Fate and transport of surface water pathogens in watersheds. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 33, 299-361.

Flores, P., E. Domínguez. 1998. *Estudio de saneamiento integral del río Tepozotlán, México*. En: Memorias del Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Noviembre. Lima-Perú.

García, R. 2002. *Manual de prácticas de laboratorio de sanitaria*. Facultad de ingeniería. Universidad Autónoma de Chihuahua. México: 43p.

Gleick, P. 2003. Water use. *Annual Reviews Environmental Resource* 28:275-314.

González, J. 2004. *El manejo de cuencas en Cuba: Actualidad y retos*. En: El manejo integral de cuencas en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México: 21-40.

González, J. 2009. *Estudio de un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado para pequeñas comunidades, empleando trozos de material orgánico leñoso y plantas vivas*. Tesis Maestría en Ciencias Biológicas (Restauración ecológica), UNAM. México, D.F.

Howell, J., S. Coyne y P. Cornelius. 1995. Fecal Bacteria in Agricultural Waters of the Bluegrass Region of Kentucky. *Water Quality*.

Hynes H. 1979. *The Ecology of Running Waters*. Liverpool University Press. 4ª ed. Cd. Gran Bretaña.

Universidad Nacional Autónoma de México. 2009. *Informe técnico: Sistema de Indicadores para el rescate de los ríos Magdalena y Eslava*. Programa Universitario de Medio Ambiente. UNAM. México, D.F:132.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2005. *XII Censo de población y vivienda*. México. <http://www.inegi.org.mx/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. *Geografía, Aspectos del territorio estatal*. México. <http://www.inegi.org.mx/>

Jawson, M., L. Elliott, K. Saxton y D. Fortier. 1982. The Effect of Cattle Grazing on Indicator Bacteria in Runoff From a Pacific Northwest Watershed.

Jin, G., Jeng HW., Bradford H., Engle AJ. 2005. Comparison of E. coli, enterococci, and fecal coliform as indicator for brackish water quality assessment. *Water Environment Research* 76(3): 245-255.

Jiménez, B. 2001. *La Contaminación Ambiental en México*. Editorial Limusa. México, D.F: 925.

León-Portilla, M.1992. El agua: universo de significaciones y realidades en Mesoamérica. En: *Ciencias*, (28) Octubre. UNAM. México. 8p. <http://www.ejournal.unam.mx/cns/no28/CNS02802.pdf>

López, D. 2008. *Elaboración de criterios para la restauración de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco con base en un análisis de agua*. Tesis Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas-Restauración ecológica, UNAM. México. D.F.

López, H. 1998. *La metodología de encuesta*. En: Galindo- Cáceres, J. Técnicas de investigación en sociedad, cultura y comunicación. Pearson-Addison Wesley-Longman, México: 33-73.

Maass, J. M. 2003. *El agua como elemento integrador de los procesos funcionales del ecosistema*. En: Ávila, P. Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI. El Colegio de Michoacán. SEMARNAT-IMTA. México: 109-116.

Maass, J. M., P. Balvanera. A. Castillo, G. Daily, H. Mooney, P. Ehrlich, M. Quesada, A. Miranda, V. Jaramillo, F. García-Oliva, A. Martínez-Yrizar, H. Cotler, J. López-Blanco, A. Pérez-Jiménez, A. Búrquez, C. Tinoco, G. Ceballos, L. Barraza, R. Ayala, J. Sarukhán. 2005. Ecosystems Services of Tropical Dry Forest: Insights from Long-term Ecological and Social Research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and Society* 10(1):17

Maass, J. M., V. Jaramillo, A. Martínez-Yrizar, F. García, A. Rérez, J. Sarukhán. 2002. *Aspectos funcionales del ecosistema de Selva Baja Caducifolia en Chamela, Jalisco*. En: Noguera, F., J. Vega, A. García y M. Quesada. Historial Natural de Chamela, Instituto de Biología. UNAM. México, D.F: 525-542.

Madera C., Silva J. y Peña M. 2000. *Sistemas combinados de tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico – filtro anaerobio – humedales: una alternativa*

sostenible en pequeñas comunidades de países tropicales. Seminario internacional sobre métodos naturales de tratamiento de aguas residuales. Cali – Colombia.

Madigan, M.T., John M., J. Parker. 2004. *Brock: Biología de los microorganismos*. 10º Ed. Prentice Hall. Barcelona: 992.

Magaña, M. 2003. *Actitudes y percepciones de productos rurales y sus familias hacia la conservación de la selva y el área natural protegida*. Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, Jalisco. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 217p.

Mara, D. 1980. *Sewage treatment in hot climates*. John Wiley & Sons. Chichester. Gran Bretaña: 166.

Marques, M. 2004. *Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico Biológicas*. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México. 626p.

Martínez, S. 2007. *La agregación del suelo como indicador de calidad en un ecosistema tropical seco*. Tesis maestría. Colegio de Postgraduados.

Meays, C., K. Broersma, R. Nordin y A. Mazumder. 2004. Source tracking fecal bacteria in water: a critical review of current methods. *Journal of Environmental Management*. 73: 71-79.

Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. 3 Ed. McGraw-Hill. New York:1334.

Millenium Ecosystem Assessment. 2003. *Ecosystems and Human well-being*. Island Press. Washington, D.C. http://pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf

Monstert, E., C. Pahl-Wostl, Y. Rees, B. Searle, D. Tâbara, J. Tippett. 2007. Social Learning in European River-Basin Management: Barriers and Fostering Mechanisms from 10 River Basins. *Ecology and Society* 12 (1):19.

Montoya, O. 2007. Aplicación del análisis factorial a la investigación de mercados. *Scientia Et Technica* 13:281-268.

Ruíz I., Álvarez J. y Soto M. 2000. *El potencial de la digestión anaerobia en el tratamiento de aguas residuales urbanas y efluentes de baja carga orgánica*. En: II Congreso Ibérico sobre planteamiento e gestión de agua. Universidad de Coruña. Facultad de Ciencias. España.

Russildi, G. 2010. *Implementación de monitoreo comunitario de escurrentía en las afluentes de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco, México*. Tesis Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Saldaña E. A. 2008. *Prioridades de restauración para la recuperación de servicios ecosistémicos asociados a los aspectos hidrológicos de la cuenca del río Cuitzmala, en el pacífico mexicano*. Tesis Maestría en Ciencias Biológicas (Restauración Ecológica), UNAM. México. DF.

Sánchez, M. 2010. *Los beneficios del monte: Percepción social y consumo de los servicios ecosistémicos derivados de la biodiversidad vegetal en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco*. Tesis Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental), UNAM. México.

Sarukhán, J. y J. M. Maass. 1990. *Bases ecológicas para un manejo sostenido de los ecosistemas: el sistema de cuencas hidrológicas*. En: Leff, E. Medio ambiente y desarrollo en México. Vol 1. Universidad nacional Autónoma de México. (CICH)-Porrúa. México: 81-114.

Schneeweiss, H., H. Mathes. 1995. Factor Analysis and Principal Components. *Journal of Multivariate Analysis* 55: 105-124.

Secretaría de Economía. DGN. NMX-AA-028-SCFI-2001. *Análisis de agua – Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas – Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-028-1981)*. México, D.F.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2011. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/07_agua/cap7.html

Seoáñez, M. 1996. *Ingeniería del Medio Ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid: 701.

Skraber S., B. Gassilloud, and C. Gantzer. 2004. Comparison of coliforms and coliphages as tools for assessment of viral contamination in river water. *Applied and Environmental Microbiology* 70(6): 3644-3649.

Society for Ecological Restoration International (SER). 2011. <http://www.ser.org/content/spanishprimer.asp>

Solís, J., Marco C., Javier H., Cecilia C., Jorge R., Marcos M. 1999. *Jalisco a Futuro: Construyendo el Porvenir 1999-2025*. Universidad de Guadalajara. México, Guadalajara: 324.

Solorzáno, S. 2008. *Percepciones sobre servicios ecosistémicos relacionados con el agua en comunidades rurales de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco*. Tesis Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental), UNAM.

Tiedemann, A., D. Higgins, T. Quigley, H. Sanderson y C. Bohn. 1988. Bacterial Water Quality Responses to Four Grazing Strategies-Comparison with Oregon Standars.

Toledo, A. 2009. *Agua, Hombre y Paisaje*. En: Foro Metropolitano: Primero el agua. Asamblea legislativa del Distrito Federal. IV legislatura. Universidad Autónoma de la Ciudad de México. México, D.F: 9-38.

Toranzos, G., G. A. McFeters, J. J. Borrego, M. Savill. 2007. Detection of microorganisms in environmental freshwaters and drinking waters. En: Hust., C. *Manual of Environmental Microbiology*. 3rd Ed. American Society for Microbiology Press, Washington, D.C: 249-261.

Tortajada, C. 2005. *Hacia una gestión del agua en México: retos y alternativas*. Grupo editorial Miguel Ángel Porrúa. México, D.F.

Uriarte M. 2007. Presentación en: Krieger, P. *Acuápolis*. Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM. México, D.F: 281.

US Environmental Protection Agency (USEPA). 2001. *A citizen's guide to bioremediation*. EPA. 542-F-01-001

US Environmental Protection Agency (USEPA). 2000. *Introduction to Phytoremediation*. EPA. 600-R-99-107.

US Environmental Protection Agency (USEPA). 2001. *A citizen's guide to phytoremediation*. EPA. 542-F-01-002

Vargas, R., N. Piñeyro. 2005. *El hidroscoPIO*. Serie de manuales de educación y capacitación ambiental. México, D.F: 305.

Vázquez, V., D. Soares, A. de la Rosa y A. Serrano. 2006. *Gestión y cultura del agua*. Tomo II. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México. 342.

Villa, S., H. Guiscafré, H. Martínez, O. Muñoz, G. Gutiérrez. 1999. *Mortalidad estacional por diarrea entre los niños mexicanos*. Boletín de la Organización mundial de la salud. Recopilación de artículos 1: 77-81.

Vikaskumar, G., R. Hugh, P. Geary, P. Coombes, T. Roberts, T. Rothkirch. 2007. Comparisons of water quality parameters from diverse catchments during dry periods and following rain events. *Water Research*: 3655-3666

Vela, F. 2004. *Un acto metodológico básico de la investigación social: la entrevista cualitativa*.

Winkler, M. 1996. *Tratamiento biológico de aguas de desecho*. Editorial Limusa. México, D.F: 337.

Anexo I

Encuesta sobre usos y costumbre en torno al agua.

Fecha de la encuesta:	
Nombre del encuestador:	
Nombre de la comunidad y municipio:	
Nombre de la persona	¿Ha tenido cargos relacionados con el agua? SI NO
Sexo:	Fecha de nacimiento o edad:
Lengua materna:	
En donde nació:	
En dónde vive:	
¿Cuántos focos hay en su casa?	
¿De qué material es el piso de su casa?	
¿Cuál es el último año de estudios de usted?	
01 No estudio/Nada	07 Carrera Técnica
02 Primaria Incompleta	08 Preparatoria Incompleta
03 Primaria completa	09 Preparatoria completa
04 Secundaria Incompleta	10 Licenciatura Incompleta
05 Secundaria completa	11 Licenciatura completa
06 Carrera comercial	12 Maestría ó Doctorado

Objetivo 1: Conocer el tipo de agua que utilizan los pobladores locales de acuerdo a las actividades que desarrolla: ¿Cómo se utiliza el agua en la comunidad?

Para beber	Para bañarse	Para cocinar y lavar trastes	Para lavar ropa	Para los animales
Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea
Comercial	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial

Objetivo 2: Conocer la cantidad de agua que utilizan por día

Tambos (200 lts)	Tinacos	Cubetas		Pila, pileta	Garrafón
No usa/ No tiene	No usa/ No tiene	No usa/ No tiene	Cuántas	No usa / No tiene	No usa / No tiene
1	450 lts	15 lts		0 – 200 lt	1
2	600 lts	20 lts		200 – 500 lt	2
3	750 lts	25 lts		500 – 1000 lt	3
4	1100 lts			1000- 2000 lt	4
5	2500 lts			>2000 lts	5
	5000 lts				

Objetivo 3: ¿De dónde se obtiene el agua?

¿De dónde viene el agua que utiliza? ¿Cómo la transporta?	¿Quién le proporciona el servicio de agua?	¿Cuánto dinero gasta al mes?	¿Cuánto tiempo le dura?
Superficial	Municipio	\$0 - \$10	Un mes o menos
Subterránea	Comité del agua	\$10 - \$100	Casi todo el año
Comercial	Trabajo comunitario	Más de \$100	Todo el año
Cubetas	Personal		
Mangueras			

Objetivo 4: Conocer si ¿afecta a los pobladores? ¿Quiénes son más susceptibles?

En cuanto al sabor, ¿este cambia a lo largo del año?	¿Qué enfermedades hay relacionadas con el agua?	¿Quiénes se enferman más seguido?
Igual	Estomacales	Bebés
Diferente	Cutáneas	Niños (hasta la los 5 años)
	Gripa – dolor de cabeza	Adolescentes y Adultos
		Ancianos

Cuando alguien se enferma ¿Cuánto tiempo deja de realizar actividades (escuela o trabajo)?	¿Cuánto le cuesta que alguien se enferme? (considere visita al medico o curandero, medicina o remedios)	¿Cuánto dinero deja de ganar cuando no va a trabajar por enfermarse?
1 día	< \$100	< \$100
2 días	\$100 - \$300	\$100 - \$300
3 días	Más de \$300	Más de \$300
4 días	Trueque	
5 días		

Objetivo 5: Saber si todos los encuestados tienen un salario fijo

Con salario

Sin salario

Objetivo 6: Conocer si cuentan con un sistema de recolección de aguas residuales

¿Cómo desechan sus aguas negras?	¿Sale de su casa?	¿Sabe usted si esto les afecta a sus vecinos de más abajo?	¿Sabe si llega al río, aguas abajo?	Si llega: ¿afecta la pesca o la calidad del agua del río?
Drenaje	Sale	Afecta	Llega	Afecta
Pozo, Fosa séptica, letrina	No sale	No afecta	No llega	No afecta
Manguera				
Agua superficial				

¿Haría algo para mejorar las condiciones de limpieza de su agua?	¿Ha mejorado o empeorado la calidad del agua en los últimos años?	¿Cómo considera que está el agua de río?	Usa agua de río:
Si NO Drenaje Pozo, Fosa séptica, letrina Limpieza del río Limpieza del agua	Mejorado Empeorado Igual	Limpia Sucia	Todo el año Lluvias (Jun – Octubre) Seco (Nov – Mayo) No usa agua de río

Antes de consumir agua de río, usted:	¿Cree usted que ayudaría a satisfacer sus necesidades personales* tener un sistema de tratamiento de aguas negras en su localidad?	¿Está usted dispuesto a pagar por ese servicio?	¿Cuanto dinero estaría dispuesto a pagar al mes?
No le hace nada Se desinfecta (filtrar, hervir, gotas)	Si NO	Si No	\$0 - \$10 \$10 - \$100 Más de \$100

* Limpieza del río, drenaje, enfermedades, consumo de agua más limpia

Anexo II

Resultados de las encuestas aplicadas tres comunidades en la cuenca del río Cuitzmala.

Datos generales	La Eca (n=13)	San Miguel (n=27)	Francisco Villa (n= 41)
Género			
Hombres	4	5	22
Mujeres	9	22	19
Escolaridad			
Sin estudios	1	3	4
Primaria incompleta	5	11	11
Primaria completa	6	5	15
Secundaria incom.	0	1	4
Secundaria com.	0	4	3
Carrera técnica	0	1	0
Prepa incompleta	0	0	2
Prepa completa	0	2	1
Licenciatura comp.	0	0	1
Bienes			
Tipo de piso			
Cemento	10	21	24
Loseta	1	3	13
Varios	1	2	1
Tierra	0	0	1
Adoquín	0	0	1
Número de focos			
0-4	4	6	12
5-8	7	18	19
9-12	1	0	8
>12	0	0	2
Cargos relacionados con el agua			
Si	2	2	4
No	11	25	37

¿De dónde proviene el agua?	La Eca (n=13)	San Miguel (n=27)	Francisco Villa (n=41)
Para beber			
Comercial	13	25	40
Superficial	0	2	0
Subterránea	0	0	2
Para bañarse			
Superficial	13	27	0
Subterránea	0	0	41
Para cocinar			
Superficial	12	19	0
Comercial	1	8	17
Subterránea	0	0	24
Para lavar			
Superficial	13	27	0
Subterránea	0	0	41
Para los animales			
Superficial	13	25	0
Subterránea	0	0	31

¿Cuántos litros se consumen?	La Eca (n=13)	San Miguel (n=27)	Francisco Villa (n=41)
Tambos (200L)			
No tiene	12	27	31
1	0	0	8
2	0	0	1
3	0	0	0
4	0	0	0
5	1	0	1
Tinacos			
No tiene	9	15	12
100		1	0
200	1	1	0
450		3	11
600	2	3	5
750		3	2
1100	1	1	11
Cubetas			
No usa	13	27	34
1/15L	0	0	2
5/15L	0	0	1
1/20L	0	0	4
Piletas			
No tiene	4	0	13
1-200	1	8	7
200-500	1	5	9
500-1000	2	5	1
1000-2000	0	8	11
>2000	0	1	0
Garrafón			
1x1	2	2	0
1x2	4	7	7
1x3	1	5	16
1x5	6	0	2
Abastecimiento de agua	La Eca (n=13)	San Miguel (n=27)	Francisco Villa (n=41)
Desde donde viene			

Comercial	0	0	13
Mangueras	8	16	13
Superficial	5	10	0
Pozo	0	0	14
Cubetas	0	1	0
Servicio de agua			
Municipio	0	0	1
Comité de agua	10	23	33
Trabajo comunitario	3	4	7
¿Cuánto cuesta?			
0-10	9	21	1
10-100	3	6	35
>100	1	0	5
¿Cuánto dura?			
Todo el año	8	10	20
Casi todo el año	5	16	19

Calidad de agua	La (n=13)	Eca San (n=27)	Miguel Francisco (n= 41)	Villa	
¿El sabor ha cambiado?					
Igual	8		14	17	
Diferente	5		13	12	
Enfermedades relacionadas con el agua					
No hay	2		3	8	
Estomacales	1		5	9	
Cutáneas	2		2	3	
Respiratorias	5		16	13	
¿Quién se enferma?					
Bebés	3		6	3	
Niños	5		8	11	
Adolescentes y adultos	6		8	7	
ancianos	5		8	4	
Descanso por enfermedad					
1	0		2	9	
2	5		2	8	
3	4		8	9	
4	0		2	3	
5	2		8	7	
¿Cuánto cuesta?					
Seguro popular	6		10	7	
<100	2		0	3	
100-300	1		5	15	
>300	2		8	10	
¿Cuánto pierde?					
<100	1		1	1	
100-300	4		7	13	
<300	0		0	6	
Ingresos					
	La Eca (n=13)		San Miguel (n=27)		Francisco Villa (n= 41)
Con salario	0		3		14
Sin salario	13		23		23
pensión	0		0		2

Recolección de aguas residuales	La Eca (n=13)	San Miguel (n=27)	Francisco Villa (n= 41)
¿Cómo desechan sus aguas residuales?			
Drenaje	0	15	0
Fosa séptica	12	10	38
Manguera	7	5	1
¿Sale de su casa?			
Sale	7	12	3
No sale	6	14	38
¿Afecta a sus vecinos?			
Si	4	12	2
No	9	15	39
¿Llega al río?			
Si	9	14	1
No	4	12	40
¿Afecta la pesca?			
Si	5	13	1
No	8	14	40
¿Haría algo para mejorar?			
Si	12	24	38
No	1	3	3
¿Qué?			
Drenaje	4	3	16
Fosa séptica	2	1	1
Limpieza del río	5	10	5
Limpieza de agua		11	9
¿Ha cambiado la calidad del agua?			
Mejorado	4	1	8
Empeorado	3	13	13
Igual	5	12	19
¿Cómo está el agua del río?			
Limpia	7	13	20
Sucia	6	14	21
¿Usa agua de río?			
Todo el año	9	2	0

Lluvias	0	3	9
Seco	0	7	3
Antes de consumir el agua usted:			
Desinfecta	2	0	10
Filtra	2	2	4
No hace nada	8	10	13
¿Ayudaría contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales?			
Si	9	19	29
No	4	5	11
Tal vez	0	0	1
¿Pagaría por ese servicio?			
Si	9	19	31
No	4	5	10
¿Cuánto pagaría?			
0-10	1	4	4
10-100	8	14	25
>100		1	4

Anexo III

Índice de Calidad de Agua. Temporada de Lluvias.

PARÁMETRO	Unidades	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS
pH		7.92	8.69	8.39	9.04	9.06	8.78	9.14
Turbiedad	UTN	4.38	36.69	316.49	38.85	39.42	36.71	51.93
Temperatura	° C	23.66	27.18	30.06	28.28	27.81	29.80	28.43
Conductividad	microS/cm	33.00	129.32	244.38	138.81	192.76	777.07	196.00
DBO5	mg/L	17.50	18.50	27.00	19.50	18.00	17.50	20.00
SST	mg/L	2.80	5.60	15.56	6.65	8.15	27.10	6.75
PT	mg/L	0.80	1.17	0.75	1.39	2.51	2.90	2.35
CF	UFC/100mL	626.67	30.00	2433.33	1000.00	700.00	7500.00	193.33
NO3	mg/L	0.03	0.09	4.15	0.02	0.36	0.29	0.37
NH3	mg/L	0.04	0.11	1.73	0.13	0.13	0.56	0.06
SDT	mg/L	22.00	82.11	147.38	87.13	122.82	479.14	123.85
OD	%	94.59	91.85	75.25	92.88	49.07	9.93	45.91
PARÁMETRO	Wi							
Sitios de muestreo		ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS
OD	5	94.59	91.85	75.25	92.88	49.07	9.93	45.91
pH	1	79	47	58	37	37	44	35
Conductividad	2	100	86	67	83	0	43	73
Turbiedad	1	83	57	39	39	56	56	53
DBO5	5	17	17	13	16	17	17	16
CF	4	11	100	8	10	11	6	15
PT	2	38	32	39	29	22	21	23
NO3	2	100	100	18	100	55	60	54
NH3	2	100	94	27	87	87	45	100
SDT	1	8	5	3	4	4	2	4
PARÁMETRO	SUMA Wi	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS
OD	5	473	459	376	464	245	50	230
pH	1	79	47	58	37	37	44	35
Conductividad	2	200	171	134	167	0	87	146
Turbiedad	1	42	57	39	39	56	56	53
DBO5	5	87	84	65	81	86	87	80
CF	4	44	400	31	39	43	23	61
PT	2	76	64	78	59	45	42	46
SST								
NO3	2	200	200	36	200	109	121	108
NH3	2	200	189	53	175	175	89	200
SDT	1	4	2	2	2	2	1	2
Suma	24	1406	1673	872	1263	798	600	961
ICA	WQI %	59	70	30	53	33	25	40

Índice de calidad de agua. Temporada seca.

PARÁMETRO	Unidades	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS
pH		6.35	7.20	7.19	8.09	8.45	6.58	8.82
Turbiedad	UTN	4.33	1.32	26.72	0.65	0.09	11.70	1.56
Temperatura	° C	26.18	26.28	25.58	29.30	34.07	35.96	36.34
Conductividad	microS/cm	65.29	467.62	1277.15	449.22	287.00	32.29	273.83
DBO5	mg/L	0.00	0.00	72.50	0.00	0.00	277.50	0.00
SST	mg/L	4.10	15.85	39.00	16.20	502.60	274.80	8.10
PT	mg/L	0.02	1.37	24.93	2.40	1.50	74.67	1.50
CF	UFC/100mL	13.33	0.00	1120.00	0.00	26.67	71666.67	0.00
NO3	mg/L	4.23	1.13	0.93	4.07	1.67	14.30	4.10
NH3	mg/L	0.93	1.20	36.57	1.33	2.37	4.50	0.80
SDT	mg/L	41.57	297.00	821.00	269.89	159.00	17.43	146.00
OD	%	102.60	103.40	58.30	190.10	173.60	80.70	163.50
PARÁMETRO	Wi	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS
Sitios de muestreo								
pH	1	84	100	100	71	55	95	43
Conductividad	2	100	53	36	53	0	100	64
Turbiedad	1	83	100	60	100	100	70	100
DBO5	5	100	100	7	100	100	3	100
CF	4	100	100	9	100	100	3	100
PT	2	100	30	8	23	28	5	28
SST	2	100	96	69	95	27	33	100
NO3	2	100	100	100	100	100	100	100
NH3	2	47	43	13	42	34	27	49
SDT	1	100	100	95	100	100	100	100
PARÁMETRO	SUMA Wi	ECA	SME	SMO	SMS	VE	VC	VS
OD	5	513	517	292	951	868	404	818
pH	1	84	100	100	71	55	95	43
Conductividad	2	200	105	72	107	0	200	129
Turbiedad	1	42	100	60	100	100	70	100
DBO5	5	500	500	34	500	500	14	500
CF	4	400	400	38	400	400	12	400
PT	2	200	59	16	46	57	9	57
NO3	2	200	200	200	200	200	200	200
NH3	2	94	86	27	83	68	55	99
SDT	1	50	50	47	50	50	50	50
Suma	24	2282	2117	885	2507	2298	1108	2395
ICA	WQI %	95	88	37	104	96	46	100

Anexo IV

Análisis de varianza para nutrimentos

lluvias						seco					
Análisis de varianza COT						Análisis de varianza COT					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	7764.50	1	7764.497	29.33684	0.000091	Intercept	558046.8	1	558046.8	415.8691	0.000000
LOC	11754.60	6	1959.100	7.40213	0.001023	LOC	931005.2	6	155167.5	115.6344	0.000000
Error	3705.34	14	264.667			Error	18786.3	14	1341.9		
Análisis de varianza NT						Análisis de varianza NT					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	90.10714	1	90.10714	2102.500	0.000000	Intercept	3120.762	1	3120.762	428.3399	0.000000
LOC	89.74286	6	14.95714	349.000	0.000000	LOC	5338.238	6	889.706	122.1166	0.000000
Error	0.60000	14	0.04286			Error	102.000	14	7.286		
Análisis de varianza NH4						Análisis de varianza NH4					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	3.288386	1	3.288386	13.47068	0.002522	Intercept	975.261	1	975.2606	545.6497	0.000000
LOC	6.823914	6	1.137319	4.65896	0.008338	LOC	3127.867	6	521.3111	291.6690	0.000000
Error	3.417600	14	0.244114			Error	25.023	14	1.7873		
Análisis de varianza NO3						Análisis de varianza NO3					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	12.06888	1	12.06888	1236.927	0.000000	Intercept	396.0686	1	396.0686	9.208246	0.008920
LOC	40.67672	6	6.77945	694.820	0.000000	LOC	385.6781	6	64.2797	1.494446	0.250237
Error	0.13660	14	0.00976			Error	602.1733	14	43.0124		
Análisis de varianza PT						Análisis de varianza PT					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	60.28269	1	60.28269	213.5124	0.000000	Intercept	4899.69	1	4899.685	3296.639	0.00
LOC	13.76318	6	2.29386	8.1245	0.000642	LOC	13761.78	6	2293.630	1543.216	0.00
Error	3.95273	14	0.28234			Error	20.81	14	1.486		
Análisis de varianza PO4						Análisis de varianza PO4					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	30.07223	1	30.07223	76.74378	0.000000	Intercept	14071.47	1	14071.47	1758.934	0.000000
LOC	6.85593	6	1.14266	2.91604	0.046382	LOC	10952.09	6	1825.35	228.169	0.000000
Error	5.48593	14	0.39185			Error	112.00	14	8.00		

Análisis de varianza para fisicoquímicos

lluvias						seco					
Análisis de varianza TEMPERATURA						Análisis de varianza TEMPERATURA					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	14873.95	1	14873.95	432016.3	0.000000	Intercept	19593.56	1	19593.56	1955876	0.00
LOC	45.53	6	7.59	220.4	0.000000	LOC	413.49	6	68.91	6879	0.00
Error	0.48	14	0.03			Error	0.14	14	0.01		
Análisis de varianza pH						Análisis de varianza pH					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	1460.532	1	1460.532	221678.6	0.000000	Intercept	1199.923	1	1199.923	2597772	0.00
LOC	1.021	6	0.170	25.8	0.000001	LOC	16.981	6	2.830	6127	0.00
Error	0.092	14	0.007			Error	0.006	14	0.000		
Análisis de varianza CONDUCTIVIDAD						Análisis de varianza CONDUCTIVIDAD					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	1122868	1	1122868	11790112	0.00	Intercept	3516236	1	3516236	785096.3	0.00
LOC	925441	6	154240	1619521	0.00	LOC	3160432	6	526739	117608.9	0.00
Error	1	14	0			Error	63	14	4		
Análisis de varianza OD						Análisis de varianza OD					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	606.4344	1	606.4344	2629.865	0.000000	Intercept	1730.508	1	1730.508	2867.146	0.000000
LOC	123.2470	6	20.5412	89.079	0.000000	LOC	239.786	6	39.964	66.214	0.000000
Error	3.2283	14	0.2306			Error	8.450	14	0.604		
Análisis de varianza DBO5						Análisis de varianza DBO5					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	8122.333	1	8122.333	17056.90	0.000000	Intercept	52500.0	1	52500.00	33.63383	0.000046
LOC	206.000	6	34.333	72.10	0.000000	LOC	194287.5	6	32381.25	20.74486	0.000003
Error	6.667	14	0.476			Error	21853.0	14	1560.93		
Análisis de varianza SDT						Análisis de varianza SDT					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	434971.1	1	434971.1	2283598	0.00	Intercept	1332794	1	1332794	300694.7	0.00
LOC	348588.1	6	58098.0	305015	0.00	LOC	1345938	6	224323	50610.1	0.00
Error	2.7	14	0.2			Error	62	14	4		
Análisis de varianza SST						Análisis de varianza SST					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	2132.323	1	2132.323	2098.144	0.000000	Intercept	317450.8	1	317450.8	8.103901	0.012933
LOC	1202.800	6	200.467	197.253	0.000000	LOC	673265.9	6	112211.0	2.864528	0.049082
Error	14.228	14	1.016			Error	548416.2	14	39172.6		

Análisis de varianza para bacteriológicos

lluvias						seco					
Análisis de varianza Coliformes Fecales						Análisis de varianza Coliformes Fecales					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	66785833	1	66785833	15.16870	0.001619	Intercept	2.273024E+09	1	2.273024E+09	12.19867	0.003587
LOC	125490467	6	20915078	4.75033	0.007694	LOC	1.313907E+10	6	2.189846E+09	11.75228	0.000090
Error	61640200	14	4402871			Error	2.608672E+09	14	1.863337E+08		
Análisis de varianza Enterococos Fecales						Análisis de varianza Enterococos Fecales					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	8.794671E+08	1	879467143	86.52928	0.000000	Intercept	8.701730E+08	1	870172971	60.52876	0.000002
LOC	1.134170E+09	6	189028254	18.59817	0.000006	LOC	4.032111E+09	6	672018527	46.74524	0.000000
Error	1.422933E+08	14	10163810			Error	2.012667E+08	14	14376190		

Pruebas de Dunnett

Nutrientes

	COT		NT		NH4		NO3		PT		PO4	
	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=
	264.67	1341.9	.04286	7.2857	.24411	1.7873	.00976	43.012	.28234	MS=	.39185	8.0000
	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=
	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	1.4863	14.000	14.000
	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=
	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	df=14.000	14.000	14.000
ECA												
SME	0.999833	0.999966	0.342691	1.000000	0.999985	0.999884	0.950890	0.979296	0.901190	0.593002	0.971694	0.003934
SMO	0.000418	0.000025	0.000009	0.000009	0.004386	0.000009	0.000009	0.972373	0.999998	0.000009	0.258410	0.000012
SMS	0.939833	0.000117	0.045948	0.993749	0.999927	0.997975	0.999998	1.000000	0.591219	0.128436	0.457048	0.015986
VE	0.998260	0.238667	0.000081	0.997603	0.999941	0.617079	0.004955	0.991186	0.007339	0.506843	0.899493	0.369560
VC	0.682461	0.000009	0.000014	0.000009	0.633052	0.025705	0.027919	0.293453	0.001366	0.000009	0.763710	0.000009
VS	0.993716	0.999040	0.000037	0.993749	1.000000	0.999999	0.004583	1.000000	0.014820	0.262749	0.994852	0.540429

*La parte sombreada corresponde al periodo de lluvias

Fisicoquímicos

	TEMPERATURA		pH		CONDUCTIVIDAD		OD		DBO5		SDT		SST	
	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=	MS=
	.01002	.01002	.00659	.00046	.09524	4.4787	.23060	.60356	.47619	MS=	.19048	4.4324	23.795	39173
	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=
	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	1560.9	14.000	14.000	14.000	14.000
	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=	df=
	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	df=14.000	14.000	14.000	14.000	14.000
ECA														
SME	0.000009	0.679706	0.000012	0.000009	0.000009	0.000009	0.862526	0.844304	0.342691	1.000000	0.000009	0.000009	0.000031	1.000000
SMO	0.000009	0.000052	0.003079	0.000009	0.000009	0.000009	0.000061	0.000216	0.000009	0.163084	0.000009	0.000009	0.000028	0.999940
SMS	0.000009	0.000009	0.000011	0.000009	0.000009	0.000009	0.536348	0.000010	0.015037	1.000000	0.000009	0.000009	0.000935	1.000000
VE	0.000009	0.000009	0.000009	0.000009	0.000009	0.000009	0.000009	0.000017	0.999381	1.000000	0.000009	0.000009	0.000009	0.036260
VC	0.000009	0.000009	0.004368	0.000009	0.000009	0.000009	0.000009	0.004464	1.000000	0.000012	0.000009	0.000009	0.000011	0.394500
VS	0.000009	0.000009	0.000012	0.000009	0.000009	0.000009	0.000009	0.003809	0.002800	1.000000	0.000009	0.000009	0.000038	1.000000

*La parte sombreada corresponde al periodo de lluvias

Bacteriológicos

	Coliformes Fecales		Enterococos Fecales	
	MS=	MS=	MS=	MS=
	4403E3	1863E5	1016E4	1438E4
	df= 14.000	df= 14.000	df= 14.000	df= 14.000
ECA				
SME	0.998464	1.000000	0.938169	0.997855
SMO	0.785152	1.000000	0.002637	0.000009
SMS	0.999940	1.000000	0.885980	0.999566
VE	1.000000	1.000000	0.825646	0.999284
VC	0.006235	0.000091	0.000013	0.999908
VS	0.999868	1.000000	0.867125	0.999993

*La parte sombreada corresponde al periodo de lluvias

Análisis de varianza de nutrimentos: SMO vs VC

lluvias						seco					
Análisis de varianza COT						Análisis de varianza COT					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	13594.56	1	13594.56	14.70477	0.018544	Intercept	1115859	1	1115859	533.4892	0.000021
LOC	4839.36	1	4839.36	5.23457	0.084050	LOC	251535	1	251535	120.2584	0.000393
Error	3698.00	4	924.50			Error	8366	4	2092		
Análisis de varianza NT						Análisis de varianza NT					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	118.8150	1	118.8150			Intercept	8251.042	1	8251.042	370.1402	0.000043
LOC	39.0150	1	39.0150			LOC	126.042	1	126.042	5.6542	0.076167
Error	0.0000	4	0.0000			Error	89.167	4	22.292		
Análisis de varianza NH4						Análisis de varianza NH4					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	7.889067	1	7.889067	9.263092	0.038270	Intercept	2529.707	1	2529.707	3738.483	0.000000
LOC	2.065067	1	2.065067	2.424736	0.194426	LOC	1542.407	1	1542.407	2279.419	0.000001
Error	3.406667	4	0.851667			Error	2.707	4	0.677		
Análisis de varianza NO3						Análisis de varianza NO3					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	29.57040	1	29.57040	946.2528	0.000007	Intercept	348.0817	1	348.0817	2.514102	0.188014
LOC	22.34940	1	22.34940	715.1808	0.000012	LOC	268.0017	1	268.0017	1.935706	0.236522
Error	0.12500	4	0.03125			Error	553.8067	4	138.4517		
Análisis de varianza PT						Análisis de varianza PT					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	19.94727	1	19.94727	3459.064	0.000001	Intercept	14900.17	1	14900.17	3430.583	0.000001
LOC	6.91227	1	6.91227	1198.659	0.000004	LOC	3720.06	1	3720.06	856.499	0.000008
Error	0.02307	4	0.00577			Error	17.37	4	4.34		
Análisis de varianza PO4						Análisis de varianza PO4					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	24.16027	1	24.16027	31.22019	0.005033	Intercept	17893.51	1	17893.51	977.4920	0.000006
LOC	0.29927	1	0.29927	0.38672	0.567721	LOC	3835.48	1	3835.48	209.5258	0.000132
Error	3.09547	4	0.77387			Error	73.22	4	18.31		

Análisis de varianza de fisicoquímicos: SMO vs VC

lluvias						seco					
Análisis de varianza TEMPERATURA						Análisis de varianza TEMPERATURA					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	4809.869	1	4809.869	124877.6	0.000000	Intercept	5686.913	1	5686.913	163260.7	0.000000
LOC	1.520	1	1.520	39.5	0.003279	LOC	159.754	1	159.754	4586.2	0.000000
Error	0.154	4	0.039			Error	0.139	4	0.035		
Análisis de varianza pH						Análisis de varianza pH					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	403.7172	1	403.7172	25328.95	0.000000	Intercept	284.2817	1	284.2817	4264225	0.000000
LOC	0.0002	1	0.0002	0.01	0.910781	LOC	0.5643	1	0.5643	8464	0.000000
Error	0.0638	4	0.0159			Error	0.0003	4	0.0001		
Análisis de varianza CONDUCTIVIDAD						Análisis de varianza CONDUCTIVIDAD					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	1170744	1	1170744	128.1424	0.000347	Intercept	2570803	1	2570803	2525442	0.000000
LOC	481457	1	481457	52.6973	0.001912	LOC	2324868	1	2324868	2283847	0.000000
Error	36545	4	9136			Error	4	4	1		
Análisis de varianza OD						Análisis de varianza OD					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	63.05042	1	63.05042	124.5399	0.000367	Intercept	136.1361	1	136.1361	180.4880	0.000178
LOC	29.61482	1	29.61482	58.4965	0.001570	LOC	1.7281	1	1.7281	2.2911	0.204679
Error	2.02507	4	0.50627			Error	3.0171	4	0.7543		
Análisis de varianza DBO5						Análisis de varianza DBO5					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	2970.375	1	2970.375	4752.600	0.000000	Intercept	183750.0	1	183750.0	33.63383	0.004396
LOC	135.375	1	135.375	216.600	0.000124	LOC	63037.5	1	63037.5	11.53846	0.027357
Error	2.500	4	0.625			Error	21853.0	4	5463.3		
Análisis de varianza SDT						Análisis de varianza SDT					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	522740.2	1	522740.2	784110.2	0.000000	Intercept	1061645	1	1061645	69749.53	0.000000
LOC	138928.2	1	138928.2	208392.2	0.000000	LOC	974567	1	974567	64028.55	0.000000
Error	2.7	4	0.7			Error	61	4	15		
Análisis de varianza SST						Análisis de varianza SST					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	2729.813	1	2729.813			Intercept	147705.7	1	147705.7		
	199.757	1	199.757				83402.5	1	83402.5		
	0.000	4	0.000				0.0	4	0.0		

Análisis de varianza de bacteriológicos: SMO vs VC

Análisis de varianza Coliformes Fecales						Análisis de varianza Coliformes Fecales					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	148006667	1	148006667	9.688414	0.035781	Intercept	7.946848E+09	1	7.946848E+09	12.18529	0.025106
LOC	38506667	1	38506667	2.520620	0.187560	LOC	7.465248E+09	1	7.465248E+09	11.44683	0.027700
Error	61106667	4	15276667			Error	2.608670E+09	4	6.521675E+08		
Análisis de varianza Enterococos Fecales						Análisis de varianza Enterococos Fecales					
Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p	Effect	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercept	1.768167E+09	1	1.768167E+09	50.27962	0.002089	Intercept	2.463616E+09	1	2.463616E+09	49.10739	0.002183
LOC	1.601667E+08	1	1.601667E+08	4.55450	0.099744	LOC	2.416829E+09	1	2.416829E+09	48.17478	0.002263
Error	1.406667E+08	4	3.516667E+07			Error	2.006717E+08	4	5.016793E+07		