



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS**

INSTITUTO DE ECOLOGÍA

**“ELABORACIÓN DE CRITERIOS PARA LA RESTAURACIÓN DE LA
CUENCA DEL RÍO CUITZMALA, JALISCO CON BASE EN UN ANÁLISIS DE
AGUA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

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

P R E S E N T A

DIANA MAYRA LÓPEZ TAPIA

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MARISA MAZARI HIRIART

MÉXICO, D. F.

Febrero, 2008



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.

Se agradece ampliamente la beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (181876-CONACYT), y por el apoyo de la fundación PACKARD, mismas que permitieron la realización del programa de maestría en Ciencias Biológicas.

El Comité Tutoral del presente trabajo de investigación estuvo integrado por:

- **Dra. Marisa Mazari Hiriart**
- **Dr. Manuel Maass Moreno**
- **Dr. Luis Marín Stillman**

*Indudablemente a mi Familia, Nacho, Ruth, Fabián, Erika,
Ricardo, Melisa, Ana, Ángel y Zoraida.*

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Quiero agradecer principalmente a Marisa Mazari, quien confió en mí desde el primer día y supo orientarme en la realización de la presente.

A Manuel Maass por ser parte fundamental en el desarrollo de la investigación, y de quien recibí el apoyo y conocimiento.

A Luis Marín por aceptar ser parte del comité tutorial.

A Raúl Ahedo por su apoyo en la logística de las salidas de campo que hicieron posible este trabajo.

A la Estación de Biología Chamela por las facilidades otorgadas para la realización del trabajo de campo y de laboratorio.

A Álvaro Miranda y a la Fundación Cuixmala, A.C. por la ayuda y facilidades prestadas.

A Helena Cotler por todo el tiempo dedicado a la realización de la presente.

A Alfredo Pérez Jiménez por su confianza y comprensión.

A Gustavo Pérez Ortiz por su invaluable apoyo, paciencia, enseñanza, asistencia técnica y amistad.

A Leonel Álvarez quien sin su apoyo hubiera sido imposible el análisis con Sistemas de Información Geográfica. A Rigel Zaragoza Álvarez por su asesoría en Sistemas de Información Geográfica.

A Arturo Garrido por sus acertados comentarios.

A Georgina y Luz María por su gran apoyo durante la maestría.

A mis amigos y compañeros de la maestría por los inolvidables tiempos, gracias Ju, Andrea, Mariana y Edy.

A los compañeros de laboratorio de Ecología Química, Sara, Alberto, Josué, Ana y Jaz.

A Araceli y Denise por los ánimos en todo este proceso y su gran amistad.

Contenido

| | Pág. |
|--|------|
| Índice de tablas | i |
| Índice de figuras | ii |
| Resumen | iii |
| Abstract | iv |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1 Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala..... | 1 |
| 1.1.1 Selva baja caducifolia..... | 2 |
| 1.2.1 Dinámica hidrológica..... | 2 |
| 1.2 Generalidades de cuencas..... | 3 |
| 1.3 Perturbación y calidad del agua..... | 5 |
| 1.4 Restauración..... | 7 |
| 2. Objetivos e hipótesis | 8 |
| 3. Antecedentes | 9 |
| 4. Área de estudio | 11 |
| 4.1 Problemática..... | 13 |
| 5. Metodología | 14 |
| 5.1 Métodos de campo..... | 14 |
| 5.2 Métodos analíticos..... | 15 |
| 5.2.1 Análisis físicoquímicos..... | 15 |
| 5.2.2. Análisis bacteriológicos..... | 16 |
| 5.2.3 Análisis de datos..... | 17 |
| 6. Resultados | 19 |
| 6.1 Parámetros físicoquímicos..... | 20 |
| 6.2 Parámetros bacteriológicos..... | 29 |
| 6.3 Análisis estadístico..... | 32 |
| 6.4 Análisis espacial..... | 32 |
| 7. Discusión | 37 |
| 7.1 Parámetros físicoquímicos..... | 37 |
| 7.2 Parámetros bacteriológicos..... | 44 |
| 7.3 Análisis espacial..... | 47 |
| 7.4 Fuentes potenciales de contaminación en la cuenca..... | 49 |
| 7.5 Normas Oficiales Mexicanas..... | 51 |
| 8. Conclusiones | 52 |
| 9. Recomendaciones | 53 |
| Referencias | 57 |
| Anexo I. Descripción de los sitios de muestreo..... | 64 |
| Anexo II. Tabla de resultados de análisis físicoquímicos..... | 65 |
| Anexo III. Bacterias Indicadoras de contaminación..... | 66 |

Índice de tablas

| | Página |
|---|--------|
| Tabla 1. Algunas fuentes de contaminación difusa e impactos en cuerpos de agua Modificado de (USEPA, 1997)..... | 6 |
| Tabla 2. Análisis de varianza, para la comparación entre épocas de secas y lluvias en el año 2004, para el río Cuitzmala..... | 32 |
| Tabla 3. Descripción de áreas de influencia para cada sitio de muestreo en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 35 |
| Tabla 4. Cambio en la composición del agua de lluvia al paso por el ecosistema (García- Oliva et al. 2006)..... | 42 |
| Tabla 5. Cociente CF/EF para aproximarse al origen de la contaminación bacteriana (Geldreich y kenner, 1969)..... | 45 |
| Tabla 6. Posibles fuentes de contaminación fecal en sitios de muestreo en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 46 |
| Tabla 7. Límites permisibles de calidad de agua | 51 |
| Tabla 8. Funciones primarias y agregadas de los márgenes de río..... | 54 |
| Tabla 9. Zonas de margen de río y su importancia ecológica..... | 55 |

Índice de figuras

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Localización geográfica de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco..... | 11 |
| Figura 2. Áreas de influencia para cada sitio de muestreo en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 19 |
| Figura 3. Variación temporal de la temperatura (°C) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 20 |
| Figura 4. Variación temporal del pH en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 21 |
| Figura 5. Variación temporal de la conductividad (µS/cm) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 21 |
| Figura 6. Variación temporal de la salinidad (‰) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 22 |
| Figura 7. Variación temporal de oxígeno disuelto (mg/L) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 23 |
| Figura 8. Variación temporal de NH ₄ (mg/L) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 24 |
| Figura 9. Variación temporal de NO ₂ (mg/L) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 25 |
| Figura 10. Variación temporal de NO ₃ (mg/L) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 25 |
| Figura 11. Variación temporal de nitrógeno total (mg/L) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 26 |
| Figura 12. Variación temporal de ortofosfatos (mg/L) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 27 |
| Figura 13. Variación temporal de fósforo total (mg/L) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 27 |
| Figura 14. Variación en época de secas de surfactantes aniónicos (mg/L) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 28 |
| Figura 15. Variación temporal de los conteos de coliformes totales (UFC/100 ml) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 29 |
| Figura 16. Variación temporal de los conteos de coliformes fecales (UFC/100ml) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 30 |
| Figura 17. Variación temporal de los conteos de enterococos fecales (UFC/100 ml) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 30 |
| Figura 18. Variación temporal de los conteos de <i>Vibrio</i> spp. (UFC/100ml) en el río Cuitzmala, Jalisco..... | 31 |
| Figura 19. Mapa de uso de suelo y vegetación, y área de influencia de los sitios de muestreo en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco..... | 33 |

RESUMEN

La Reserva de la Biósfera Chamela-Cuitzmala (RBCC), en el estado Jalisco, está conformada por las cuencas del río Cuitzmala y del arroyo Chamela. En la RBCC se protegen 10 tipos de vegetación, entre las que se incluye a la selva baja caducifolia (SBC). La SBC está sometida a presiones antrópicas en las que destaca los patrones de conversión. Se evaluó la calidad del agua para la cuenca del río Cuitzmala a efecto de identificar prioridades de restauración.

Se realizaron análisis físico-químicos y bacteriológicos, a fin de determinar el impacto del uso de suelo en la calidad de los cuerpos de agua superficial y subterránea que se encuentra en la cuenca del río Cuitzmala. Se realizó un análisis espacial a fin de determinar las áreas de influencia para cada sitio de muestreo.

Se encontró que no existen diferencias significativas en los parámetros analizados en el ciclo anual (secas y lluvias) del año 2004, con excepción del fósforo total. Se determinaron seis áreas de influencia para cada uno de los sitios de muestreo; en el sitio 1 (S1) se encontró que los valores para nitrógeno total fueron elevados para ambas épocas; para el sitio 2 (S2) se encontró que los valores para el fósforo total fueron elevados para ambas épocas; para el sitio (S3) los grupos de coliformes fecales y enterococos fecales fueron predominantes en la época de lluvias; para el sitio 4 (S4), se encontraron que los valores para nitrógeno total fueron elevados en ambas épocas, así como la presencia de coliformes fecales, coliformes totales, enterococos fecales y *vibrio* spp. en ambas épocas; para el sitio 5 (S5) y sitio 6 (S6) se encontró que los valores de nitrógeno total fueron elevados para ambas épocas. Así mismo, se determinó, que de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas, NOM-001-ECOL-1996 y NOM-127-SSA1-1994 sobre los parámetros medidos no sobrepasaron los límites permisibles, excepto para el grupo de las coliformes fecales y enterococos fecales. Igualmente, se aplicó el cociente CF/EF a fin de determinar la posible fuente de contaminación de origen fecal animal y origen humano. Los valores relativamente altos para algunos parámetros, se deben tanto al impacto de las actividades humanas, como a la dinámica del sistema, debido que forman parte de la selva baja caducifolia.

ABSTRACT

The Chamela-Cuitzmala Biosphere Reserve (CCBR) is part of the Cuitzmala River and the Chamela Creek's basins, which belongs to the Mexican state of Jalisco. The tropical deciduous forest (TDF) is one of the ten (10) types of vegetations protected at the CCBR. The TDF is submitted to antropic pressures, in which the conversion standards are predominant. In this investigation, the Cuitzmala River's quality was evaluated in order to identify the restoration priorities in the zone.

In addition, bacteriological and physicochemical analyses were conducted, with the objective to determine the impact of the land use, reflected in the quality of the Cuitzmala River's surface and subterranean water bodies. Also, a spatial analysis was executed with the purpose of identify the influence areas for each monitoring point.

In this research job, it was found that there were no significant differences in the analyzed parameters in the annual cycle (dry and rain seasons) for year 2004; the only exception was the total phosphate. Six influence areas were determined for each of the respective monitoring sites; at the Site 1 (S1) the result was that the total nitrogen values were high in both seasons; at the Site 2 (S2) it emerged that the total phosphate values were also high for both seasons; at Site 3 (S3) the fecal coliforms and fecal enterococcus were predominant during the rain season; for the Site 4 (S4), it was found, that the total nitrogen values were high in both seasons, also adding the presence of fecal coliforms, total coliforms, fecal enterococcus and vibrio species in both seasons; for Site 5 (S5) and Site 6 (S6) the result was that the total nitrogen values were high in both seasons. In the same way, according to the Mexican Official Norms: NOM-001-ECOL-1996 and NOM-127-SSA1-1994, it was concluded that, in relation to the parameters measured, these did not over passed the permitted parameters, with the exception of the fecal coliforms and fecal enterococcus groups. Also, the coefficient FC/FE was applied, in order to determine the possible source of contamination from animal and human fecal origin. The relative high values, for some parameters, are due to, in one hand, the human activities impact; and, to the system dynamic; all this due to the fact that the mentioned parameters are naturally located in the tropical deciduous forest.

1. Introducción

1.1 Reserva de la Biosfera Chamela-Cuitzmala

La Reserva de la Biosfera Chamela-Cuitzmala (RBCC), se sitúa en el Municipio de la Huerta, en el estado de Jalisco. La RBCC está conformada por parte de la Cuenca del río Cuitzmala y la del arroyo Chamela.

Se encuentra ubicada en la región neotropical, al noroeste de la provincia fisiográfica denominada Planicie Costera Suroccidental y en la Subprovincia Sierras de la Costa de Jalisco y Colima de la provincia Sierra Madre del Sur. Los terrenos de la reserva varían de nivel del mar, hasta aproximadamente 400 m. de altitud, existe una planicie relativamente extensa de alrededor 1000 ha en la parte baja del río Cuitzmala, el resto de la reserva son lomeríos, entre los que destacan los cerros Careyes, Colorado y Maderas.

En la RBCC se protegen 10 tipos de vegetación, que incluyen la selva baja caducifolia (SBC), selva media y hábitats acuáticos vulnerables (Ceballos *et al.*, 1999).

El tipo de suelo predominante de acuerdo a la clasificación de FAO-UNESCO (1973) y Cotler *et al.*, (2002) es el regosol eútrico en las superficies con pendiente de 35° a 45° y el feozem háplico en los sitios de menor pendiente (menor a 5°) dentro de la unidad geológica llamada Bloque de Jalisco, donde la mayoría de los afloramientos en el área están formados por granitos, granodioritas y tonalitas pertenecientes al Batolito de Puerto Vallarta. Suelo en menor proporción son Leptosol, Cambisol, Fluvisol, Solonchak, Vertisol, Luvisol y Gleysol (Cotler *et al.*, 2002).

El área de la RBCC se subdivide en zonas con diferentes lineamientos y normas de manejo, se encuentra conformada por una zona núcleo, rodeada de una zona de amortiguamiento. Fuera de los límites de la RBCC se encuentra la zona de influencia, la cual está constituida por propiedades privadas y ejidales que comprenden un conjunto de pequeños centros de población y áreas rurales ubicados en las inmediaciones de la reserva, además de los poblados de Careyes y Cuitzmala, el ejido José María y Morelos, el ejido Emiliano Zapata con las localidades de Zapata y Villa, así como el poblado de Chamela (Ceballos *et al.*, 1999).

1.1.1 Selva Baja Caducifolia

El bosque tropical caducifolio (BTC) o selva baja caducifolia (SBC), está distribuido sobre grandes áreas en regiones del trópico seco en el mundo (Murphy y Lugo, 1986; 1995), en el norte del continente americano, el bosque tropical caducifolio se extiende del norte de Panamá hasta el noroeste de México en climas tipo-Aw₀i de acuerdo a la clasificación de de Copen modificado por García (1988), lo que significa que se trata de un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, dominando bajo los 1,000 msnm.

Una de las características más sobresalientes de la selva baja caducifolia (SBC), es su carácter caducifolio, ya que la mayoría de las especies vegetales pierden sus hojas durante el período seco. La precipitación se concentra entre los meses de junio y octubre, con una media anual de 679 mm (García-Oliva *et al.*, 1995), la temperatura media anual es de 24.9°C. (Bullock *et al.*, 1995).

1.2.1 Dinámica hidrológica

En la SBC, el agua constituye el factor limítrofe para llevar a cabo los procesos productivos, no sólo porque llueve poco a lo largo de la mayor parte del año, sino porque el período de lluvias está concentrado en cuatro-cinco meses del año. Debido a que es el ciclo hidrológico el que controla la cantidad de agua disponible en el ecosistema, así como su distribución espacio-temporal.

Por una parte, la precipitación pluvial, es la principal entrada de agua al ecosistema, seguida por la humedad atmosférica, que en éste caso, por su cercanía al mar, constituye una fuente continua de esta.

La interceptación por su parte, determina que no toda el agua que se precipita en la selva alcance el suelo, ya que una parte es interceptada por el dosel de la vegetación donde almacena, y regresa a la atmósfera en forma de evaporación.

La infiltración implica la entrada de agua en el suelo, dependiendo de muchos factores, entre los más importantes están la profundidad del suelo, textura, contenido de materia orgánica, estructura (que determina la forma, distribución y conectividad de los poros en el suelo) y la humedad antecedente.

De manera que, la humedad del suelo está dada por el agua infiltrada que percola a horizontes más profundos, la cual es retenida por la matriz del suelo, y por la transpiración, ya que una gran proporción de la humedad del suelo es absorbida por las raíces de las plantas, y es conducida por su sistema vascular hasta las hojas, donde, se evapora a la atmósfera mediante evapotranspiración; la evaporación en cambio, contribuye poco al total de pérdidas, ya que el suelo se encuentra continuamente cubierto de una densa capa de mantillo que actúa como aislante térmico. En conjunto la evapotranspiración (transpiración + interceptación + evaporación del suelo y vegetación) es la principal vía de salida de agua del sistema.

Cuando el agua que es absorbida por la vegetación, ni es retenida en la matriz del suelo, sucede la escorrentía, ya que se mueve como flujo bajo el suelo con la pendiente, hasta alcanzar la parte baja de la cuenca. La ruta que sigue el agua de escorrentía, puede ser subsuperficial (en los primeros centímetros por debajo del suelo), o basal (flujos más profundos y en contacto con el material parental), e infiltración profunda (Maass *et al.*, 2002).

1.2 Generalidades de cuencas

Una manera de entender la dinámica hidrológica, es a través del uso de unidades de manejo llamadas cuencas, las cuales se definen como la superficie terrestre drenada por un sistema fluvial continuo y bien definido, cuyas aguas vierten a otros cuerpos de agua, y en donde los límites están generalmente determinados por una división principal de acuerdo con el relieve (Brooks *et al.* 1997; Carabias y Landa, 2005), además, que representan unidades integrales, ya que los flujos de materia y energía están íntimamente ligados al ciclo hidrológico (García-Oliva *et al.*, 2006. González (2000) las define como *cuenca hidrográfica superficial (CHS)*, así como *Cuenca hidrológica subterránea (CHSt)*, la cual es la superficie terrestre definida por límites naturales relacionados con la geología y geomorfología fundamentalmente, donde tienen lugar procesos de flujo y de acumulación de masas de aguas subterráneas, y cuyas características dependen de las condiciones climáticas y geomorfológicas regionales y locales.

En el manejo de cuencas, se pueden definir zonas o unidades, de acuerdo a su aprovechamiento o uso, dados por procesos naturales:

- 1) La cuenca alta o zona de producción, es la zona donde se controlan los insumos primarios del ecosistema fluvial y, donde el agua, los sedimentos, la materia orgánica particulada, y los minerales disueltos, fluyen de las montañas hacia los canales, al valle aluvial y a la desembocadura.
- 2) La zona de transferencia o transporte, la cual está integrada por la pared de ríos que la constituyen, a través de los cuales, se transportan los materiales minerales y nutrientes.
- 3) La zona de almacenamiento, zona de alta productividad biológica, o zona costera es donde los materiales se depositan, se retienen y se encuentran disponibles en forma de nutrientes, en esta zona se incluye el litoral costero y esté sujeta a condiciones cambiantes por el flujo de mareas.

La importancia de las cuencas radica es que son unidades funcionales, sobre las cuales es posible llevar a cabo planificación, y donde se concretan las políticas de desarrollo socioeconómico y medioambiental (González, 2000; Brooks *et al.*, 1997), ya que esta reúne condiciones de unidad geográfica natural específica y propia.

Entre estas características están: su carácter de independencia relativa, por sus límites naturales bien definidos; su dinámica funcional integrada, dado fundamentalmente por los intercambios de sustancia y energía que tienen en la dinámica de los componentes del clima y del agua, su principal fuente.

González (2000) y Carabias y Landa (2005) definen el manejo de cuencas, como el proceso complejo que le da orden a un conjunto de acciones dentro de la Cuenca Hidrológica Superficial o Subterránea, encaminado a lograr un desarrollo social y económico sostenible en el tiempo, además de la protección del medioambiente.

1.3 Perturbación y calidad del agua

Las cuencas, como unidades de manejo, están sometidas a diferentes presiones que ocasionan su deterioro, entre éstos podemos encontrar las de tipo natural y las del tipo antrópico.

Los impactos naturales, como transporte de sedimentos procedentes de la erosión y sustancias contaminantes tienen lugar durante tormentas o fenómenos climáticos, específicamente para ríos tropicales, los cuales están sometidos a patrones de lluvias estacionales, por lo cual tienden a presentar un ciclo estacional en la descarga de los ríos (Payne, 1986) así como también en las inundaciones, elevación del nivel del mar e inundación de zonas costeras.

Los impactos del uso de la tierra se pueden clasificar de acuerdo al daño, es decir, sobre los procesos hidrológicos directamente como en escorrentía superficial, caudales punta, caudal base, recarga del agua subsuperficial, recarga de la humedad del suelo, erosión y carga de sedimentos; así como sobre la calidad del agua, esto es incorporación de materia orgánica y nutrientes, agentes patógenos, salinidad, metales pesados, régimen térmico, entre otros.

La calidad de agua son las características físicas, químicas o biológicas de los cuerpos de agua y está en relación con el uso específico, ya que por ejemplo la calidad del agua para irrigación puede ser no aceptable para agua de consumo humano.

La contaminación del agua significa que ha sido degradada de alguna forma por acción humana, o por eventos naturales, tales como tormentas, fuego o erupciones volcánicas (Brooks *et al.*, 1997). Una buena calidad implica la capacidad ecológica de sostener un cuerpo de agua y mantener un balance integrado, una comunidad adaptada de poblaciones con cierta diversidad, esto es, organismos funcionales y comparables con la biota natural de la región. (Novotny *et al.*, 2005).

Los tipos de contaminación se pueden clasificar en puntuales y no-puntuales. Los primeros están asociados con industrias y descargas municipales, la cuales son vertidas a los cuerpos de agua, por lo tanto puede ser medida y tratada en un punto; los segundos se refiere a la alteración difusa que ocurre en un área, usualmente amplia, se asociada con actividades de uso de suelo, tales como agricultura, prácticas forestales, pastoreo y drenaje urbano (Brooks *et al.*, 1997).

Algunas fuentes de contaminación difusa y los efectos que tiene en los cuerpos de agua se presentan en la Tabla 1 (Modificado de USEPA, 1997).

| Fuentes | Contaminantes comunes asociados |
|----------------------|--|
| Agricultura | Turbidez, fósforo, nitratos, temperatura, sólidos totales. |
| Actividad forestal | Turbidez, temperatura, sólidos totales. |
| Pastoreo | Bacterias fecales, turbidez, fósforo, nitratos, temperatura. |
| Minería | pH, alcalinidad, sólidos totales disueltos. |
| Sistemas sépticos | Bacterias fecales (por ejemplo, Escherichia coli, enterococos), nitratos, fósforo, oxígeno disuelto/demanda bioquímica de oxígeno (DBO), conductividad, temperatura. |
| Construcciones | Turbidez, temperatura, oxígeno disuelto, DBO y sólidos totales. |
| Escorrentías urbanas | Turbidez, fósforo, nitratos, temperatura, conductividad, OD y DBO. |

Con respecto a la hidrología, la calidad del agua se puede ver afectada por procesos como la precipitación, la escorrentía y los caudales, ya que muchos impactos están regidos por acontecimientos inusuales extremos como el transporte de sedimentos y sustancias ajenas al sistema. Estos impactos se intensifican en laderas a través de las redes hidrográficas que drenan los caudales procedentes de dichas laderas. Y aún más cuando las laderas sufren cambios estructurales por construcciones, como presas o carreteras.

Como regla general, los impactos de las actividades del uso de la tierra sobre los procesos hidrológicos y de sedimentación sólo se pueden verificar en las cuencas de menor tamaño (hasta algunas decenas de kilómetros cuadrados), donde se pueden distinguir de los procesos naturales y de otras fuentes de degradación. Por tanto, el uso de instrumentos y mecanismos económicos será probablemente más efectivo también a esta escala.

Un análisis de calidad de agua nos ayuda a determinar las características físicas, químicas o biológicas de los cuerpos de agua de un sistema ya que está en relación con el uso específico, que se le pretende dar (Waite, 1984).

1.4 Restauración

De acuerdo con la Sociedad para la Restauración Ecológica de Estados Unidos (SER por sus siglas en inglés) la restauración ecológica es el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER, 2002). Los programas de restauración ecológica permiten disminuir la degradación de los recursos forestales, aminorar la erosión del suelo, coadyuvar al desarrollo silvícola, energético, agrícola y pecuario, así como preservar el estado de los ecosistemas. Para que se pueda llevar a cabo la restauración ecológica se requiere de los siguientes procesos: la reconstrucción física, el restablecimiento de las condiciones hídricas y modificaciones químicas (González, 2002, Large, 1996). Es por lo tanto, una forma de manejo diseñada y ejecutada en ámbitos como las agencias de gobierno, comunidades rurales y organizaciones no gubernamentales.

La ecología de la restauración por su parte, es una disciplina que desarrolla y pone a prueba el cuerpo teórico para reparar ecosistemas dañados (Palmer *et al.*, 1997). Downs *et al.*, (2002) y Large *et al.*, (1996) definen a la restauración ecológica en cuerpos de agua específicamente ríos, como “el regreso completo estructural y funcionalmente a un estado pre-dañado”. Enfatiza que, para que se pueda llevar a cabo la restauración, los ríos deben ser vistos como sistemas dinámicos. Ya que la mayoría se enfoca en “parches” dentro de los sistemas de ríos, y no se consideran como estados transicionales o ecotonales que son características distintivas de sistemas fluviales; la variedad ecotonal surge de la diversidad morfológica del medio de la zona de inundación de ríos así como de la dinámica hidrogeomorfológica de cada río. Una manera correcta de enfocar las investigaciones de ecosistemas de ríos es entendiendo los cambios temporales, longitudinales, verticales y laterales del sistema (Downs *et al.* 2002, Petts, 1996).

Dentro de la misma investigación, para una efectiva restauración de ríos se necesita un entendimiento detallado de hidráulica de flujos y transporte de sedimentos, entendido como el marco conceptual de ecosistemas de ríos, que incluye las causas de la degradación de los mismos, así como el desarrollo de objetivos para la restauración de sistemas con una perspectiva multifuncional.

2. Objetivos e hipótesis

2.1 Objetivo general

Evaluación de la calidad de los cuerpos de agua de la cuenca del río Cuitzmala con el fin de identificar prioridades de restauración.

2.2 Objetivos particulares

- Determinar la calidad de los cuerpos de agua (superficial y subterránea) del río Cuitzmala.
- Determinar los posibles efectos del uso de suelo dentro de la cuenca en la calidad del agua superficial y subterránea.
- Con base en el análisis de calidad de agua de los cuerpos de agua, identificar prioridades de restauración.

2.3 Hipótesis

- La calidad de los cuerpos de agua (subterránea y superficial) de la cuenca del río Cuitzmala para consumo humano son afectados por las actividades productivas (agricultura y ganadería) que se llevan a cabo la cuenca.
- La determinación de la calidad del agua de los cuerpos de agua superficial y subterráneo ubicados dentro de la cuenca del río Cuitzmala, permitirán la identificación del tipo de contaminante(s) prioritario (s) en el sistema, con el fin de proponer modificaciones en el uso de suelo, tendientes a una recuperación.

3. Antecedentes

En la RBCC, específicamente en la cuenca del arroyo Chamela, se han realizado diversos estudios de corte hidrológico entre los que se encuentra el proyecto de investigación a largo plazo (Maass *et al.*, 1994), donde principalmente se han medido balances, bancos y flujos internos de agua, energía y nutrientes. El llevar a cabo este estudio por varias décadas, ha permitido avanzar en un conocimiento integral sobre los procesos que estructuran y controlan la dinámica funcional de la SBC.

El presente trabajo de investigación, está enmarcado dentro de un proyecto de investigación a largo plazo en la RBCC y sus alrededores, lo que permitirá generar mayor información respecto a la dinámica hidrológica de la cuenca del río Cuitzmala, y los servicios ambientales que ésta provee.

Con respecto a la SBC en la cuenca del arroyo Chamela, se han obtenido resultados en cuanto a algunos factores que influyen en el ciclo hidrológico, y que pueden ser considerados para el presente estudio. En cuanto a la precipitación; Las lluvias poco frecuentes, pero muy intensas tienen un alto poder erosivo (García-Oliva *et al.*, 1995). Poco se sabe sobre la capacidad que tiene el ecosistema para utilizar directamente la humedad atmosférica, sin embargo la presencia de epifitas y líquenes de la zona son evidencias de un uso directo por parte de la vegetación.

En cuanto a la interceptación, anualmente el dosel intercepta el 21% de la precipitación directa. El mantillo logra interceptar 6.5% de la lluvia anual, ocurriendo picos de interceptación en mayo coincidentes con los picos de acumulación de hojarasca en el suelo (Burgos, 1999).

En lo que se refiere a la cantidad y calidad del agua: El efecto protector del suelo, dado por la cobertura vegetal se observa claramente cuando la selva es transformada en potreros (Maass 1995, Maass *et al.*, 1988), al desaparecer el dosel de la vegetación y el mantillo por efecto de la roza, tumba y quema, el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo rompe sus agregados y generan una costra que reduce significativamente la tasa de infiltración, lo que aumenta la escorrentía superficial y acelera la erosión (Maass y García-Oliva, 1990).

En cuanto a la Infiltración, a pesar de lo poco profundo de los suelos en la cuenca, tienen una buena capacidad de infiltración, que medida a nivel de toda la cuenca, alcanza valores promedio de 58.8 mm/h (Cervantes, 1988). Entre 50% y 70% del agua, que ingresa al ecosistema de selva baja, regresa a la atmósfera vía transpiración (Barradas y Fanjul 1985).

En Chamela, la escorrentía promedio es de 45 mm anuales, lo que representa alrededor del 7% de la precipitación promedio anual (Cervantes, 1988).

4. Área de estudio

La cuenca del río Cuitzmala se localiza en la parte occidental del país y en la vertiente del Océano Pacífico. Fisiográficamente se localiza al Noreste de la Sierra Madre del Sur y las subprovincias de las sierras de la costa de Jalisco y Colima.

Es una cuenca exorreica y se encuentra en la región RH-15 de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua, en la costa de Jalisco, el río Cuitzmala se localiza en la subcuenca a1095, que abarca los ríos San Nicolás-Cuitzmala.

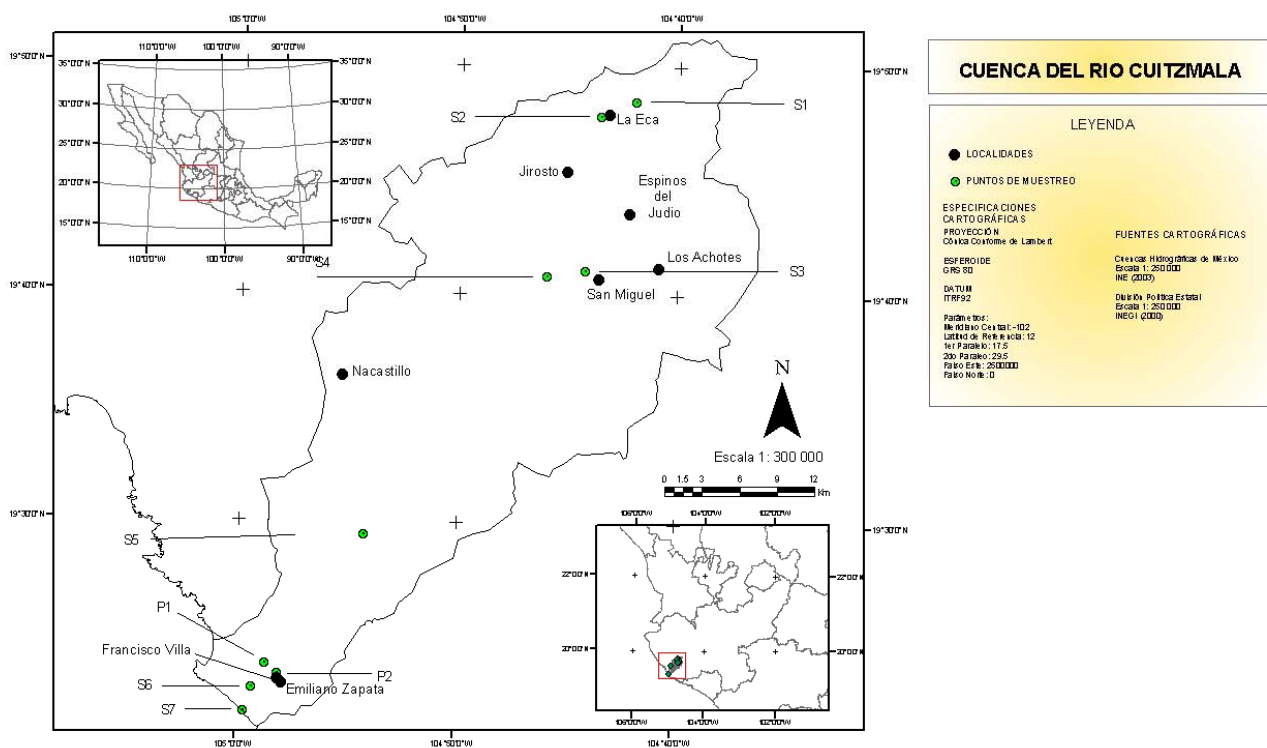


Figura 1 Localización geográfica de la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco.

Políticamente, la cuenca se localiza en los municipios de Villa Purificación y la Huerta, con 62 y 34 localidades respectivamente, con 3,263 habitantes para Villa Purificación y 2,933 habitantes para la Huerta. Este último es un municipio costero y limita con el Océano Pacífico.

El área de la cuenca del río Cuitzmala presentado por la SARH en el Boletín Hidrológico No. 41 y en la carta hidrológica de aguas superficiales del INEGI (1981) es de 1,080 km². El punto de mayor altitud de la cuenca se ubica a 1,770 msnm en el cerro Bramon. Las coordenadas geográficas de ese punto son 19° 50' 27" latitud norte y 104°36'34" longitud oeste.

Agua Superficial. El río Cuitzmala nace en las estribaciones del cerro Bramón, el cual se localiza a unos 15 km al noreste de la localidad de Purificación. Desciende desde una altitud de 1,500 msnm con el nombre del río Jirosto, el cual es el afluente principal y con dirección suroeste. Aguas abajo, recibe las aguas del río San Miguel por la margen de la izquierda, y a partir de aquí describe una curva con el arroyo Tene, desde ésta última aportación se le conoce como río Higuierillas. La longitud total de esta corriente, se estima en 85 km. La zona baja, está constituida por material no consolidado con posibilidades altas, se encuentran rellenos principalmente por depósitos aluviales, que varían en su granulometría de grava a arena, derivados substancialmente de la erosión de rocas graníticas; dichos rellenos cubren rocas ígneas, tanto intrusivas como extrusivas, que en algunos lugares llegan a servir como barrera (INEGI, 1981).

Agua Subterránea. La región RH15 cuenta con una serie de acuíferos, entre los cuales se encuentra la cuenca, dichos acuíferos son de tipo libre, con formaciones geológicas que permiten que el agua subterránea esté sometida a presión atmosférica, su origen se debe a los rellenos de valles, dados por la erosión de las rocas preexistentes; derivando en areniscas, conglomerado y aluvión cuya granulometría es de grava a limo. Los usos a que se destina el agua en la mayoría de los valles es: riego, doméstica, pecuario, industrial y recreativo. La unidad geohidrológica de Cuitzmala se clasifica como unidad de material consolidado con posibilidades bajas está constituida por rocas ígenas (granito) tonalita, monzonita, diorita, toba ácida e intermedia, metamórfica (gneis) por su origen y escaso fractura y sedimentarias (caliza, arenisca, conglomerado, yeso y lutita) dada su recristalización, contenido de arcilla y escaso fracturamiento.

4.1. Problemática

El BTC o SBC en la zona, está sometido a presiones antrópicas en las que destaca los patrones de conversión de la selva, que dependen en gran parte de las condiciones locales como topografía, tipo de suelo, duración de estación de secas, conocimiento tradicional, así como de actividades económicas de los campesinos, el tipo de sistema de tenencia de la tierra y presiones tanto económicas, como sociales.

De Ita Martínez y Barradas (1986) encontraron que en las zonas de lomeríos se desarrolla la agricultura de temporal, agricultura de humedad y pastizales cultivados, y en las planicies la agricultura de temporal con agricultura comercial principalmente de mango, plátano, papaya, tamarindo, coco de agua y maíz de subsistencia, agricultura de humedad y de riego básicamente.

En las últimas tres décadas, la selva ha sido transformada a praderas para uso ganadero extensivo (De Ita Martínez, 1983; Gutiérrez, 1993). Esta transformación presenta tres etapas principales: la primera etapa, corresponde a la roza y a principios de la época de secas (noviembre) se realiza la tumba, y la quema a finales de la misma (mayo). La siguiente etapa es la primera estación de crecimiento: que dura de la época de lluvias hasta el inicio de la época de secas. La última etapa es el pastoreo intensivo, la cual se inicia en la temporada de secas después de la primera estación de crecimiento.

Aunado a las prácticas de manejo, la geomorfología de la zona influye en la pérdida de vegetación y erosión ya que el bosque tropical seco (TDF por sus siglas en inglés) ocupa laderas y superficies umbrales y el bosque tropical subcaducifolio (TSF por sus siglas en inglés) se expresa en tierras planas y áreas riparias (Lott *et al.*, 1987). Uno de los problemas causados por la perturbación de la selva se ve reflejado en la calidad de los cuerpos de agua.

5. Métodos

5.1 Métodos de campo

La delimitación del área de estudio se realizó con ayuda de mapas topográficos, geológicos, uso de suelo, así como recorrido de campo. Se localizó el río Cuitzmala, así como sus tributarios, río Jirosto y San Miguel, así como los pozos de extracción, ubicados en la planicie costera.

Se localizaron las fuentes de contaminación potenciales del río Cuitzmala, tales como asentamientos humanos, zonas de bosques perturbados, tipo de actividades productivas realizadas en la cuenca como, ganadería y agricultura. También se localizaron zonas de selva conservadas para realizar comparaciones.

El número de sitios de muestreo se estableció de acuerdo con las siguientes características de la USEPA (Environmental Protection Agency), 1997 por sus siglas en inglés): debe haber puntos mínimos indispensables requeridos para establecer la calidad de agua en un estudio, por lo que es importante contemplar las entradas y salidas de agua localizables en el mapa, que sea un sitio representativo de la cuenca, que el río o tributario conservara agua todo el año, así como accesibilidad.

Así como también seleccionar aquellos puntos de afluentes que por su volumen y/o contenido de contaminantes resulte indispensable evaluar o cuantificar. De tal forma que en este estudio los sitios de muestreo comprendieron descargas de agua doméstico, descarga de retorno agrícola, de zona con actividad pecuaria, descarga de escorrentías de bosque degradado y conservado, así como pozos de abastecimiento.

Además se consideran los puntos deseables, lo que implica una transformación de la calidad del agua de una serie o secuencia de aportes, para obtener mayor información posible a lo largo, ancho y profundo del cuerpo de agua en estudio.

Para la obtención de muestras, se establecieron un total de nueve sitios de muestreo, siete para obtención de muestras de agua superficial (S1 a S7), abarcando desde la parte alta de cuenca hasta la desembocadura del río Cuitzmala al mar. Así como dos pozos de extracción para el abastecimiento de agua para uso y consumo

humano (P1 y P2) con base en los criterios mencionados. Los sitios de muestreo fueron geoposicionados con un GPS 12 Personal Navigator de la marca GARMIN Modelo 99 (Anexo I).

En la frecuencia en el muestreo se tomó en cuenta la propia naturaleza del cuerpo de agua, el mínimo requerido de datos es por lo menos la estación de lluvias y la de secas por lo que se realizaron dos muestreos, correspondientes a época de secas (mayo) y lluvias (noviembre) del año 2004.

Finalmente se tomaron muestras de agua para un análisis de la calidad del agua, 1 L para bacteriológicos, 500 mL para físico-químicos y 500 mL para detergentes. El tipo de recipiente seleccionado fue de acuerdo con el APHA (1998). Características según la USEPA (1991): obtener una parte representativa del material bajo estudio (volumen de agua), la cual debe conservar las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original, por lo que para cada parámetro de interés se llevó a cabo la preparación del material y las condiciones tanto de preservación y análisis propuestos por la APHA (1998).

A fin de realizar el análisis de la calidad de agua, se seleccionaron una serie de parámetros que ayudaran a caracterizar el tipo de contaminantes, es decir, que se viertan al sistema de estudio.

5.2 Métodos analíticos

5.2.1 Análisis físicoquímico

El análisis de parámetros físicos se realizó *in situ* con una sonda multisensor marca Hach, para monitorear la calidad del agua. Se tomaron datos sobre temperatura (°C), pH, conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidad ($^{\circ}/\text{oo}$) y oxígeno disuelto (mg/L).

El análisis de parámetros químicos se realizó mediante el método de espectrofotómetro marca Hach DR2400 y siguiendo los métodos de la APHA (1998).

- Amonio: se determinó mediante el método salicilato (LR 0.02 a 2.50 mg/L N-NH₃).

- La determinación de nitritos se realizó mediante el método de deionización (LR 0.002 a 0.300 mg/L N-NO₂).
- La determinación de nitratos se realizó mediante el método de reducción de cadmio, el cual implica una transformación a nitritos, a través de la reacción con un agente a color rojo, el color se intensifica proporcionalmente a la cantidad de nitritos, por espectrofotometría se leyó a una longitud de onda de 543 nm de bajo rango. (LR 0.01- a 0.50 mg/L N-NO₃).
- Nitrógeno total: se determinó mediante el método digestión de persulfato (LR 0.5 a 2.50 mg/L N).
- La determinación del fósforo reactivo (ortofosfatos) se leyó a una longitud de 700-800 nm de rango mediante el método aminoácido (0.23 a 30.00 mg/L P-PO₄³⁻), ácido ascórbico PhosVer3 USEPA (0.02 a 250 mg/L P-PO₄³⁻).
- La determinación del fósforo total se realizó mediante el método PhosVer3 digestión con ácida USEPA (0.060 a 3.50 mg/L P), método de molibdato con digestión ácida con persulfato (0.02 a 1.10 mg/L-PO₄³⁻).
- Surfactantes aniónicos (detergentes) mediante el método violeta cristal (0.002 a 0.275 mg/L como ABS).

Para llevar a cabo la digestión de las muestras de nitrógeno total y fósforo total, se utilizó el digestor Reactor Block 200 de la marca Hach modelo DRB200.

5.2.2 Análisis bacteriológico

Para el análisis bacteriológico se tomaron muestras de agua en recipientes 1 L de polipropileno marca Nalgene, previamente esterilizadas en autoclave (120°C/ 15-.20 min) las cuales permanecieron perfectamente cerradas hasta la toma de la muestra.

El método utilizado para analizar las muestras bacteriológicas fue el método de filtración a través de membrana, mediante medios selectivos para cada grupo bacteriano. Se utilizaron membranas de 0.45 µm (acetato de celulosa Millipore MF tipo HA, Millipore Corp, Bedford, MA, USA). Se utilizó un cojinete absorbente cuando los medios fueron líquidos, tal es el caso de coliformes fecales y totales, y se uso agar para el aislamiento de los enterococos fecales

En el caso de las muestras ambientales, excepto para los pozos, se realizaron diluciones (10^{-1} y 10^{-2}) para poder cuantificar las bacterias, en buffer de fosfatos a pH 7, la dilución fue 1:1. Se homogenizaron con un vortex GENEI modelo SI-T236.

Para el grupo de las coliformes totales se utilizó caldo M-Endo (Becton Dickinson, Cockeysville, M,D, USA), y se incubaron 24 horas a $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Para el grupo de las coliformes fecales se utilizó el caldo M-FC (Becton Dickinson, Cockeysville, M,D, USA) incubándolas por 24 horas a $44.5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

El grupo de los enterococos se incubó en un medio KF (Becton Dickinson, Cockeysville, M,D, USA) por 48 horas a $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

El grupo *Vibrio* spp. se incubaron en un medio TCBS (Becton Dickinson, Cockeysville, M,D, USA) por 24 horas a $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Para su cuantificación se seleccionaron aquellas cajas que presentaban entre 20 y 60 colonias para realizar los conteos, los resultados se reportan en unidades formadoras de colonias por 100 mL (UFC/100 mL).

Para establecer el posible origen de la contaminación (humana o animal) se utilizó el cociente coliformes fecales/estreptococos fecales CF/EF) (Gerba, 2000).

5.2.3 Análisis de datos

Se elaboraron mapas con el sistema de información geográfica ARCGIS 9.1 (2005), localizando los puntos de muestreos en mapas topográficos, uso de suelo y vegetación (INEGI 2000-2004) así como geológico (Martínez, 2007).

Se determinaron áreas de influencia hidrológicas para cada punto de muestreo. De acuerdo a la metodología de Cotler *et al.*, (2007). Como fuente cartográfica para la delimitación de la cuenca del Río Cuitzmala se ha tomado el mapa elaborado por el Instituto Nacional de Ecología (2003) Cuencas Hidrográficas de México, y para la delimitación de las áreas de influencia o subunidades, éstas fueron trazadas a partir de criterios topográficos (morfográficos) e hidrográficos (red de drenaje superficial) tomando en cuenta la influencia potencial de los sitios de muestreo sobre los afluentes hasta la conectividad con el río principal de la cuenca.

Una vez delimitadas las áreas de influencia, se determinó el uso de suelo y vegetación relativa para cada una de las áreas.

Para poder determinar diferencias de entre épocas de lluvias y secas se elaboró una comparación estadística así como entre sitios de muestreo. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA; $p < 0.05$) con el programa estadístico STATGRAPHICS PLUS 4.0. Se realizó el análisis a cada parámetro tomado y muestreado, excepto para detergentes ya que sólo se muestrearon en época de lluvias. Se aplicó el método Box-Cox para realizar el análisis de parámetros bacteriológicos.

Con fines de determinar los límites permisibles de calidad del agua, según su uso, se utilizaron las siguientes NORMAS OFICIALES MEXICANAS: NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000), salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. En materia de exámenes bacteriológicos determina el límite permisible de organismos indicadores. NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997), Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

6. Resultados

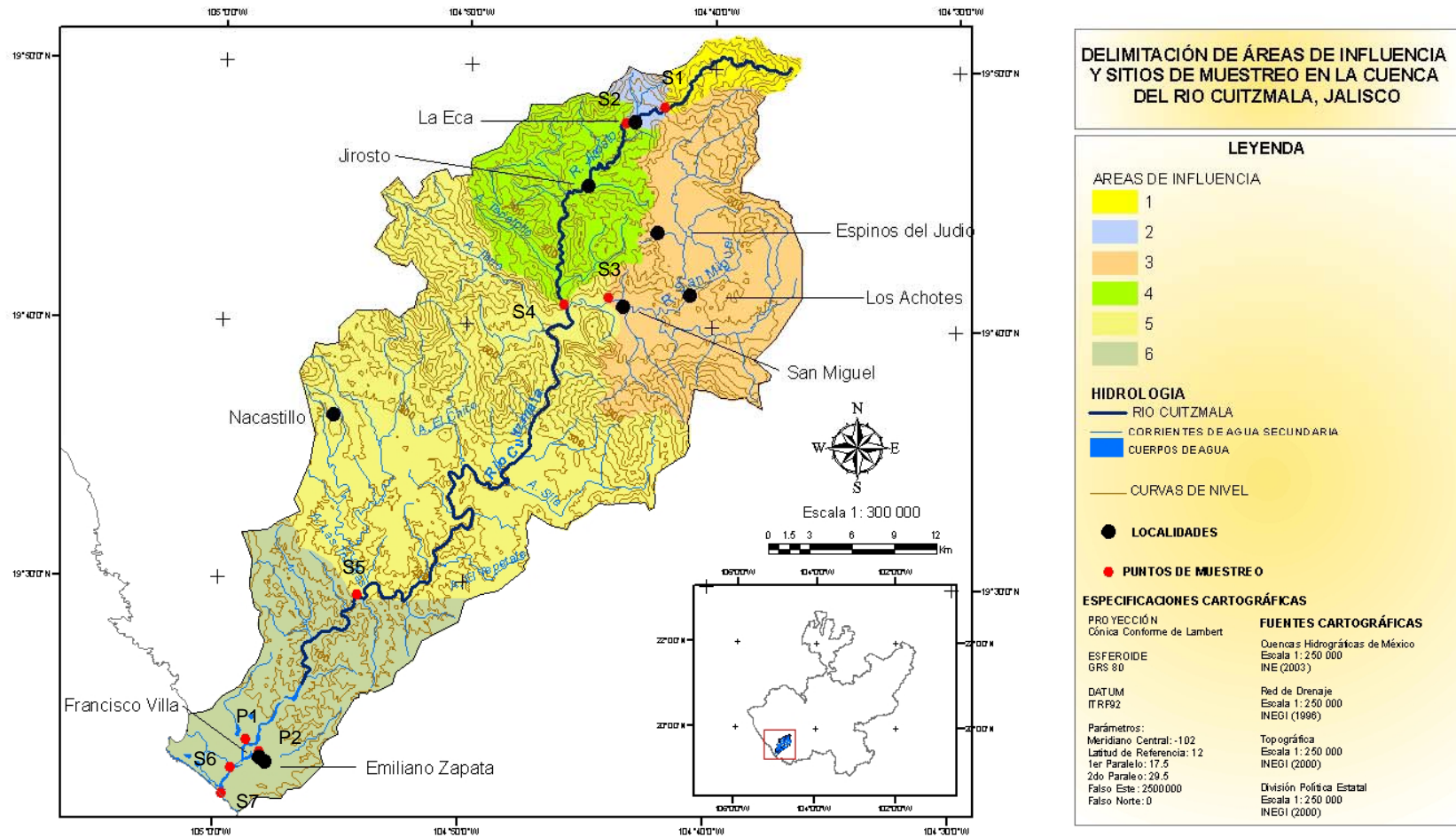


Figura 2. Áreas de influencia para cada sitio de muestreo en la cuenca el río Cuitzmala, Jalisco.

6.1 Parámetros fisicoquímicos

La temperatura varió a lo largo del río en época de secas y en época de lluvias (Figura 3). En época de secas se registró a lo largo de los sitios entre los 25.0°C a los 29.4°C; en época de lluvias hubo un incremento conforme se fue avanzando en los sitios desde 21.8°C en el S1 hasta los 29.1°C en el S6. Cabe mencionar que el S7 sólo se muestreo en época de lluvias, cuando la boca de comunicación al mar estaba abierta, por lo que no se incluyó en la gráficas.

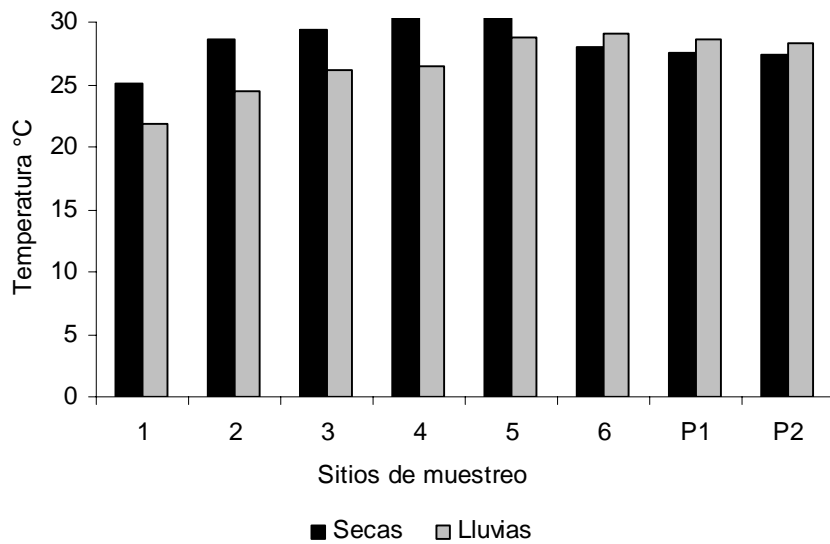


Figura 3. Variación temporal de la temperatura (°C) en el río Cuitzmala, Jalisco.

El pH (Figura 4) presentó una tendencia a disminuir para la época de lluvias en los sitios S2, S3, S4, S5, P1 y P2, mientras que los sitios restantes S1 y S6 la tendencia fue hacia el aumento, pero siempre dentro del intervalo neutro (de 7.15 a 8.88).

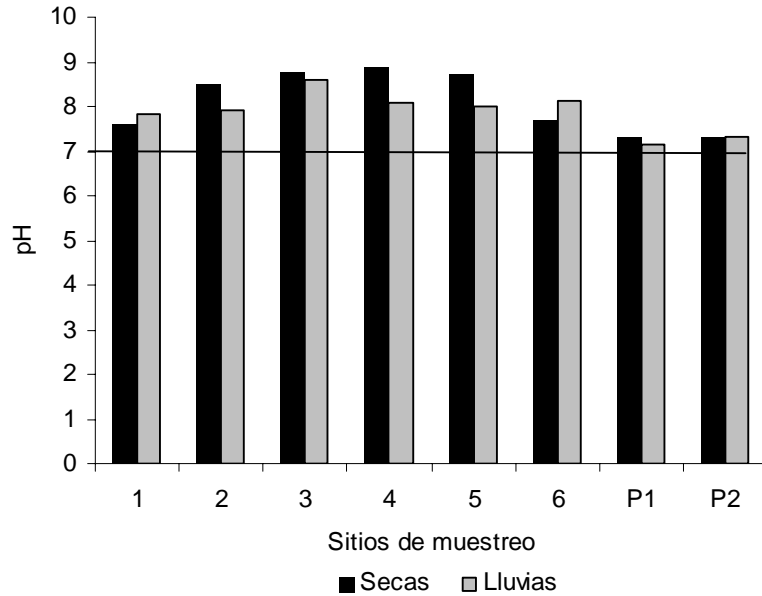


Figura 4. Variación temporal del pH en el río Cuitzmala, Jalisco.

La conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en época de secas fue mayor que en época de lluvias para los 6 primeros sitios (Figura 5), mientras que P1 y P2 aumentaron los valores de conductividad en época de lluvias. El sitio que presentó los valores más altos fue P2 para época de secas y para época de lluvias ($444 \mu\text{S}/\text{cm}$ y $465 \mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente). El S7 presentó el valor más alto para época de secas ($502 \mu\text{S}/\text{cm}$

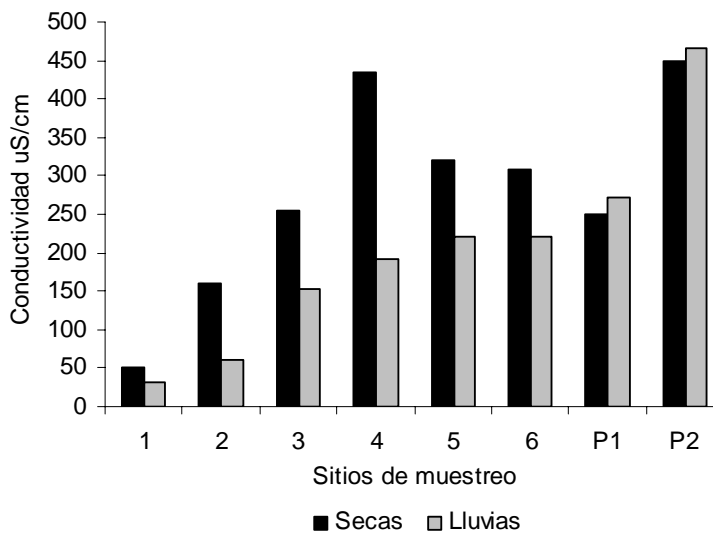


Figura 5. Variación temporal de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en el río Cuitzmala, Jalisco.

El valor más alto de salinidad ($^{\circ}/_{\infty}$) se presentó en S3 (1.44 $^{\circ}/_{\infty}$) en época de secas (Figura 6), en general se presentaron valores arriba de 0 para todos los sitios en época de secas, mientras que en época de lluvias sólo registro valores para S5 y P2 (0.10 $^{\circ}/_{\infty}$ y 0.20 $^{\circ}/_{\infty}$ respectivamente).

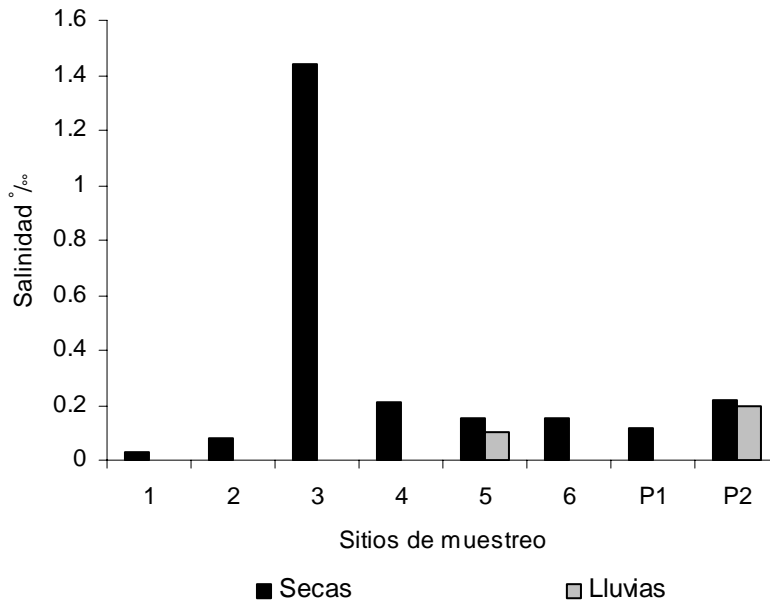


Figura 6. Variación temporal de la salinidad ($^{\circ}/_{\infty}$) en el río Cuitzmala, Jalisco.

El oxígeno disuelto (mg/L) presentó una tendencia de incremento (Figura 7) hacia la época de lluvias para todos los sitios de muestreo, excepto para el P2 ya que registró concentraciones de 5.26 mg/L en secas y 3.88 mg/L en lluvias. El S1 presentó el mayor aumento de 2.14 mg/L a 8.57 mg/L, de secas a lluvias respectivamente.

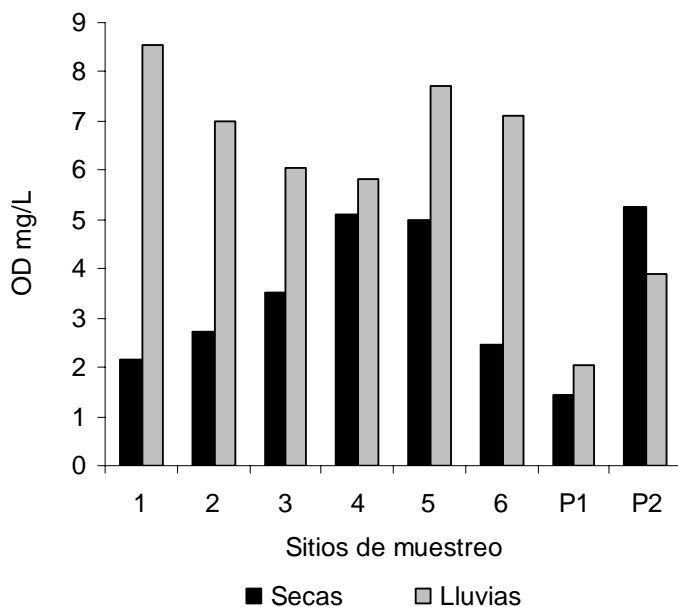


Figura 7. Variación temporal del oxígeno disuelto (mg/L) en el río Cuitzmala, Jalisco.

En cuanto a los valores de amonio (mg/L), de acuerdo (Figura 8) a la época de secas, el valor más alto lo presentó el S2 (1.33 mg/L), a partir de este sitio se presentó una tendencia a disminuir a lo largo de los sitios, en época de lluvias, los valores son bajos respecto a la época de secas en los sitios S1 a S5, presentando el valor más alto el S4 (0.060 mg/L) y mientras que para los S6, P1 y P2 se presentaron valores más altos para la época de lluvias.

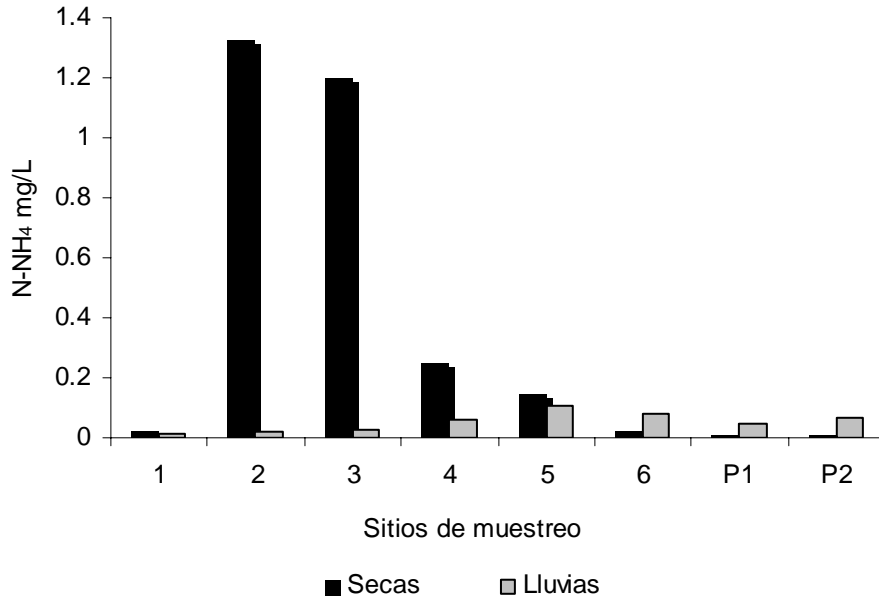


Figura 8. Variación temporal de N-NH₄ (mg/L) en el río Cuitzmala, Jalisco.

La concentración de nitritos (Figura 9) varió a lo largo de los sitios, el valor más alto lo presentó S2 (>0.300 mg/L) en época de secas, mientras que S1 presentó el valor más bajo (0.002 mg/L). En época de lluvias S2 igualmente presentó el valor más alto (0.014 mg/L), pero muy por debajo de los valores presentados en la época de secas. En esa misma época S5 y P1 estuvieron por debajo del mínimo detectable (<0.002 mg/L).

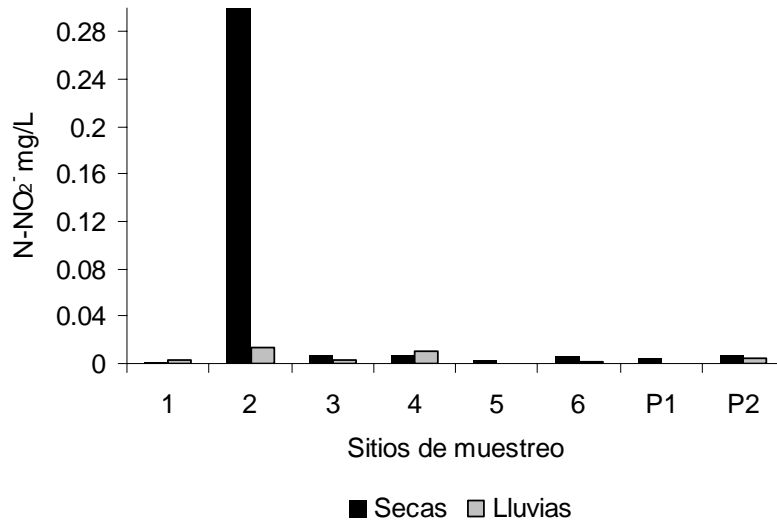


Figura 9. Variación temporal de N-NO₂⁻ mg/L en el río Cuitzmala, Jalisco.

La concentración de nitratos (mg/L) varió a lo largo de los sitios de muestreo (Figura10), los valores más altos lo presentaron S6, P1 y P2 en época se secas (0.700 mg/L, 0.950 mg/L y 0.800 mg/L respectivamente) mientras que los valores más bajos se presentaron en época de lluvias para todos los sitios, excepto para S1.

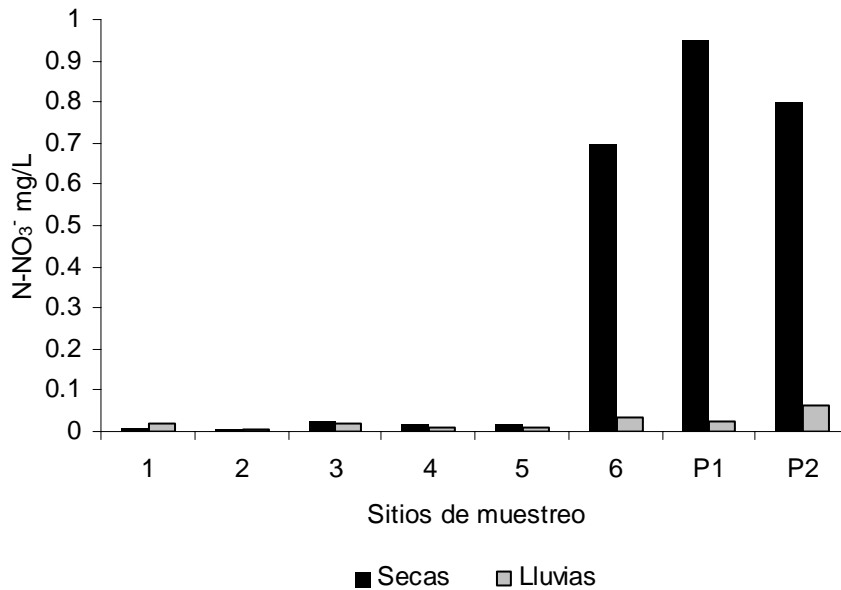


Figura 10. Variación temporal de N-NO₃⁻ (mg/L) en el río Cuitzmala, Jalisco.

Los valores más altos de nitrógeno total (mg/L), en época de secas (Figura 11) los presentaron S1, P1 y P2 (0.9 mg/L, 0.9 mg/L y 1.4 mg/L respectivamente), el valor más bajo lo presentó S4 (0.600 mg/L). De igual forma, los P1 y P2 en época de lluvias presentaron los valores más altos (1.950 mg/L y 3.200 mg/L), además de S7 (1.850 mg/L). Así mismo, el valor más bajo lo presento S2 (0.150mg/L).

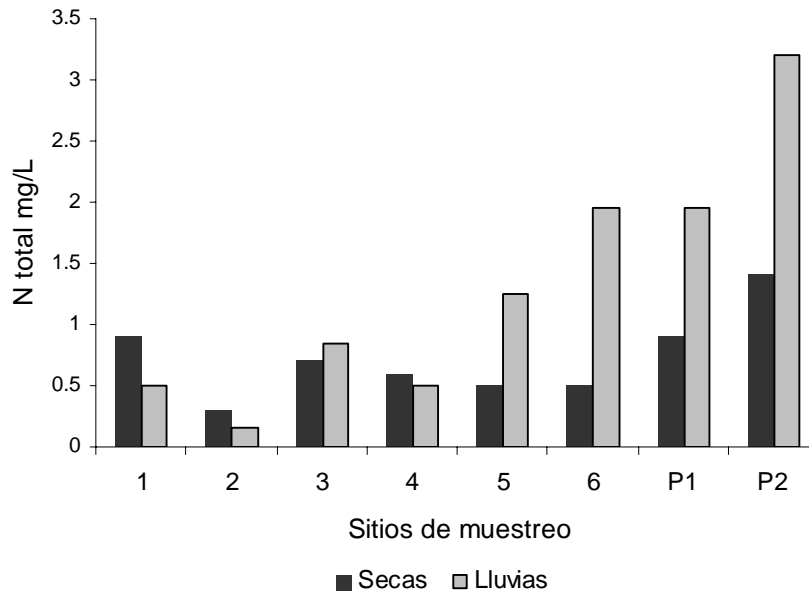


Figura 11. Variación temporal de nitrógeno total mg/L en el río Cuitzmala, Jalisco.

El valor más bajo de ortofosfatos (mg/L) para la época de secas (Figura 12), y el valor más alto para la época de lluvias, lo presentó el S3 (0.08 mg/L y 0.950 mg/L respectivamente). Los siguientes valores más altos en época de secas los presentaron S4, S5, S6 y P2 (0.610 mg/L, 0.545 mg/L, 0.570 mg/L y 0.800 mg/L, respectivamente). En época de lluvias continuaron los valores más altos para S6 y P2 (0.535 mg/L y 0.760 mg/L), el valor más bajo en ésta época lo presentó S1 (0.100 mg/L).

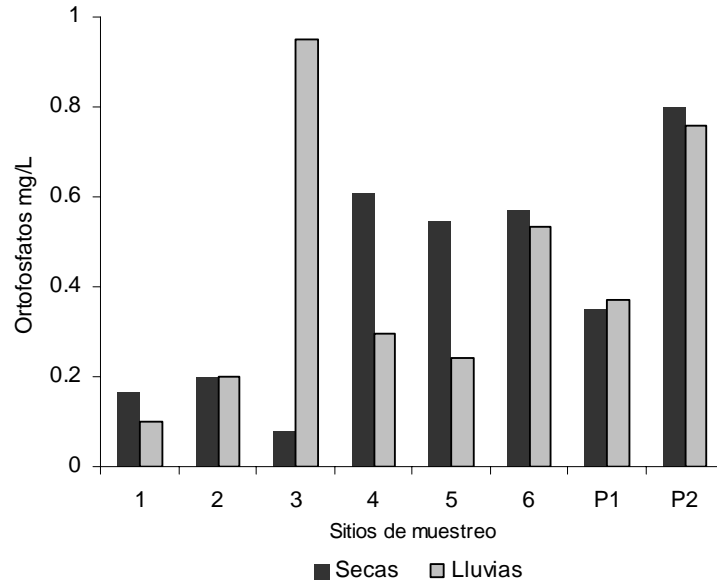


Figura 12. Variación temporal de ortofosfatos (mg/L) en el río Cuitzmala, Jalisco.

En cuanto al fósforo total (mg/L) (Figura 13), en época de secas el valor más bajo lo presentó S3 (0.370 mg/L), mientras que el valor más alto en esta misma época, lo presentó P1 con 0.900 mg/L. En época de lluvias se presentó un aumento con respecto a la época anterior para todos los sitios, con el valor más alto en S4 (2.775 mg/L).

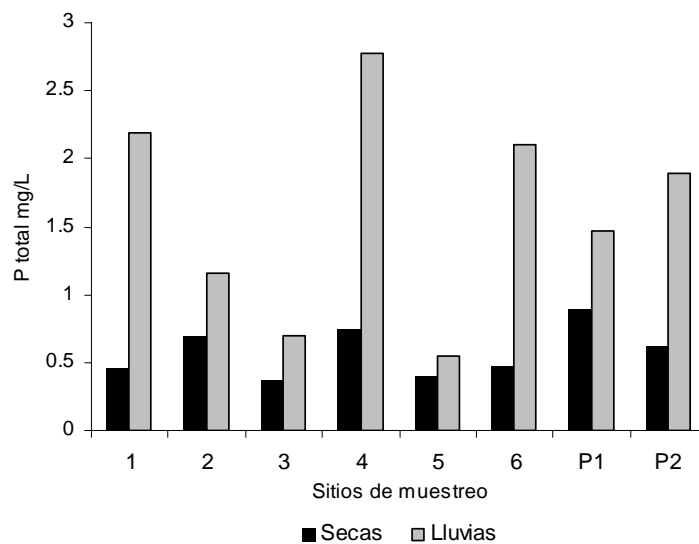


Figura 13. Variación temporal de fósforo total (mg/L) en el río Cuitzmala, Jalisco.

Los valores más altos de surfactantes aniónicos (mg/L) en época de lluvias se presentaron en los sitios S4, S5 y P2 (0.0235 mg/L, 0.0245 mg/L y 0.0285 mg/L respectivamente), mientras que el valor más bajo se presentó en S1 con 0.007 mg/L (Figura 14).

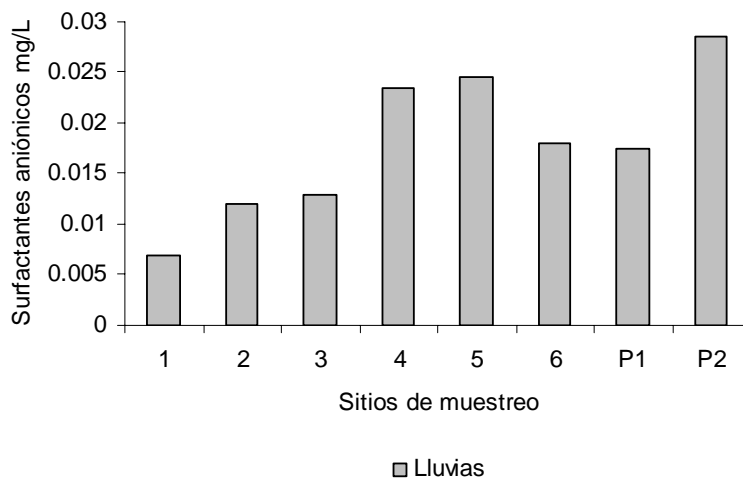


Figura 14. Valores de Surfactantes aniónicos mg/L en época de lluvias en el Río Cuitzmala, Jalisco.

6.2 Parámetros bacteriológicos

El sitio del río Cuitzmala, que presentó el valor más alto de coliformes totales (CT UFC/100 mL) fue S2 (64,500 UFC/100mL) en la época de secas, mientras que los pozos presentaron ausencia de bacterias en ambas épocas (Figura 15).

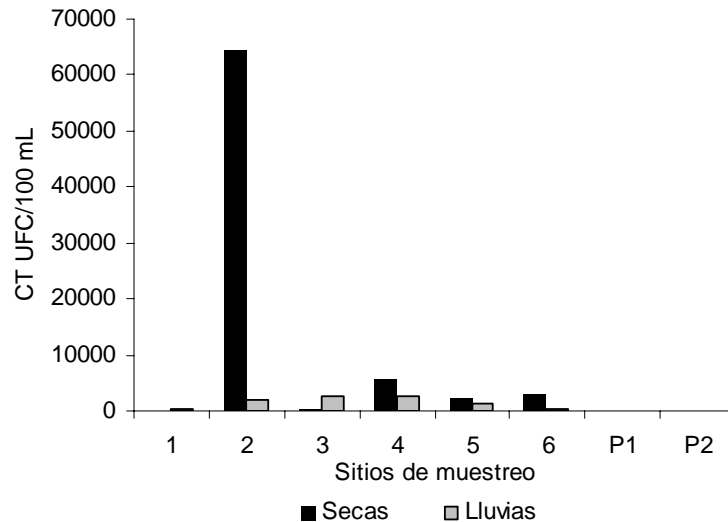


Figura 15. Variación temporal de los conteos de coliformes totales (UFC/100 mL) en el río Cuitzmala, Jalisco.

La concentración de coliformes fecales (CF UFC/100 mL) presentó los valores más altos en S2, S3 y S4 tanto en época de secas (3,888 UFC/100 mL, 1,095 UFC/100 mL y 2,049 UFC/100 mL), como en época de lluvias (3,240 UFC/100 mL, 3,464 UFC/100 mL y 1,414 UFC/100 mL, respectivamente). En contraste, los P1 y P2 presentaron ausencia de bacterias (Figura 16).

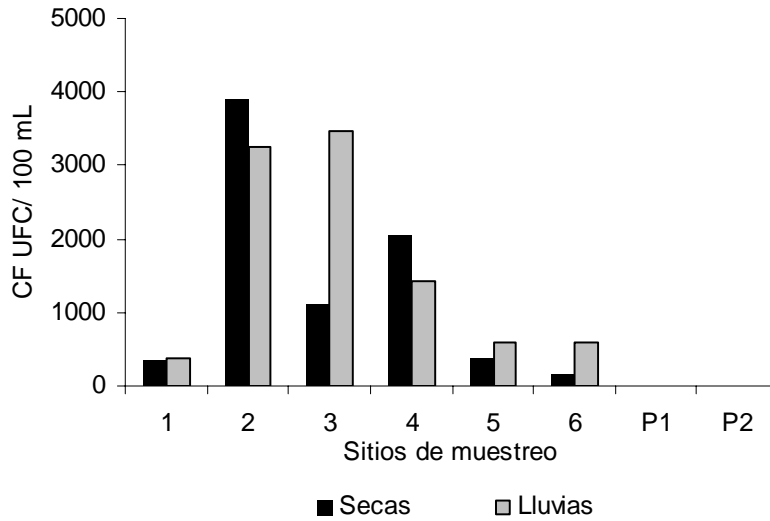


Figura 16. Variación temporal de los conteos de coliformes fecales (UFC/100 mL) en el río Cuitzmala, Jalisco.

La concentración de enterococos fecales (EF UFC/100 mL) fue más alta en S1, S2, S3 y S4 en época de lluvias (13,249 UFC/100ml, 6,179 UFC/100 ml, 3,749 UFC/100 ml y 14,000 UFC/100ml respectivamente). En contraste los P1 y P2 presentaron ausencia de bacterias (Figura 17).

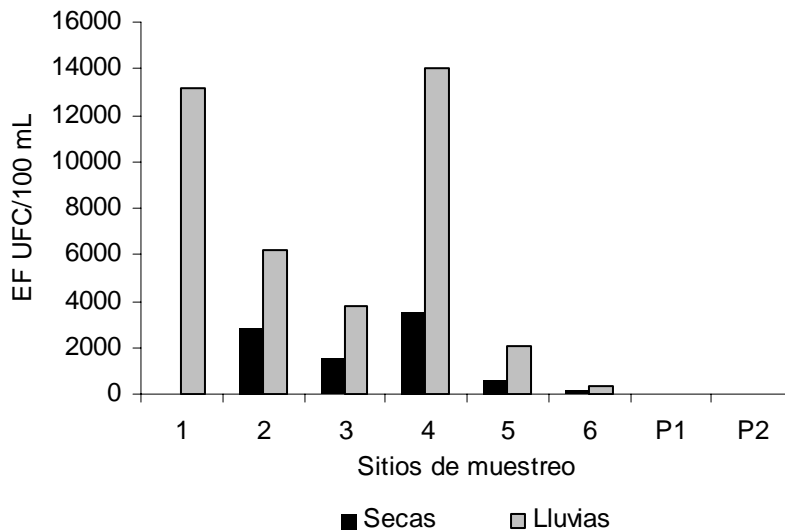


Figura17. Variación temporal de los conteos de enterococos fecales (UFC/100 mL) en el río Cuitzmala, Jalisco.

Los conteos de *Vibrio* spp. en la época de secas, fueron más altos (Figura 18) en S2, S3 y S4 (5,291 UFC/100 mL, 4,040 UFC/mL y 7,483 UFC/100 mL, respectivamente). El S6 presentó el valor más alto (5,000 UFC/100 ml) en época de lluvias. Cabe resaltar que para P1 y P2 en época de secas presentaron ausencia de bacterias, mientras que en época de lluvias P1 presentó uno de los valores más altos (4,898 UFC/100 mL).

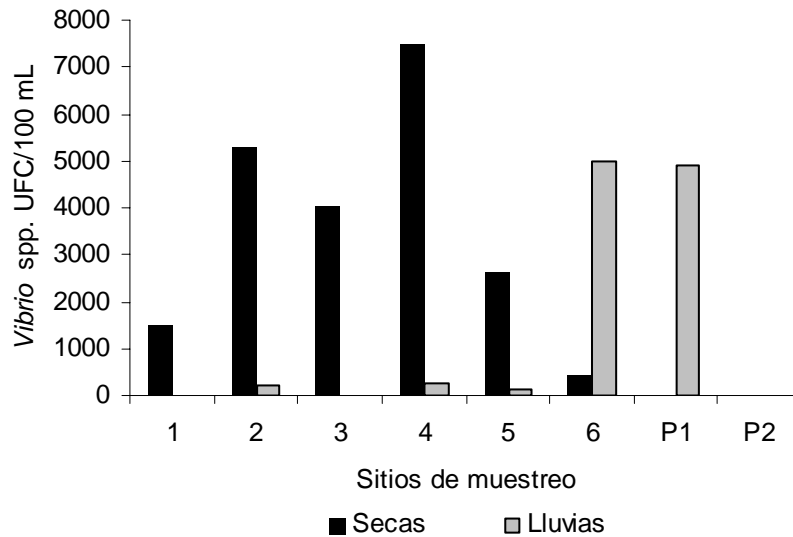


Figura 18. Variación temporal de los conteos de *Vibrio* spp. (UFC/100 ml) en el río Cuitzmala, Jalisco.

6.3 Análisis Estadístico

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de varianza para el río Cuitzmala, sólo el fósforo total mostró diferencias significativas entre épocas ($p < 0.05$) (Tabla 2).

Tabla. 2 Análisis de Varianza, para la comparación entre época de secas y lluvias del año 2004 para el río Cuitzmala, Jalisco.

| Parámetro | Secas | Lluvias | F | p |
|------------------|------------------|------------------|-------|--------|
| | Media aritmética | Media aritmética | | |
| Temperatura | 28.39 | 26.59 | 1.12 | 0.3059 |
| pH | 8.07 | 7.86 | 0.71 | 0.4141 |
| Conductividad | 236.78 | 156.26 | 0.23 | 0.6421 |
| Oxígeno disuelto | 3.15 | 5.56 | 9.37 | 0.0079 |
| Salinidad | 0.16 | - | 2.41 | 0.1414 |
| Fósforo total | 0.557 | 1.363 | 12.28 | 0.0032 |
| Ortofosfatos | 0.329 | 0.345 | 0.00 | 0.9529 |
| Nitrógeno total | 0.659 | 0.406 | 1.00 | 0.3322 |
| Amonio | 0.083 | 0.043 | | |
| Nitritos | 0.009 | 0.003 | 1.17 | 0.2965 |
| Nitratos | 0.048 | 0.016 | 2.67 | 0.1230 |

| Parámetro | Secas | Lluvias | F | p |
|---------------------|------------------|------------------|------|--------|
| | Media geométrica | Media geométrica | | |
| Coliformes totales | 176 | 196 | 3.00 | 0.1040 |
| Coliformes fecales | 267 | 327 | 1.25 | 0.2811 |
| Enterococos fecales | 77 | 487 | 1.25 | 0.2811 |
| <i>Vibrio</i> spp. | 357 | 60 | 1.25 | 0.2811 |

6.4 Análisis espacial

Con base en un análisis espacial, utilizando sistemas de información geográfica (SIG), a través del uso de ARCGIS 9.1 (2005), se determinaron áreas de influencia para cada sitio de muestreo, con la ayuda de la demarcación de la parte de la red hidrográfica que incidió en cada sitio de muestreo (Figura 19), a fin de contar con una aproximación de efectos directos en cada punto.

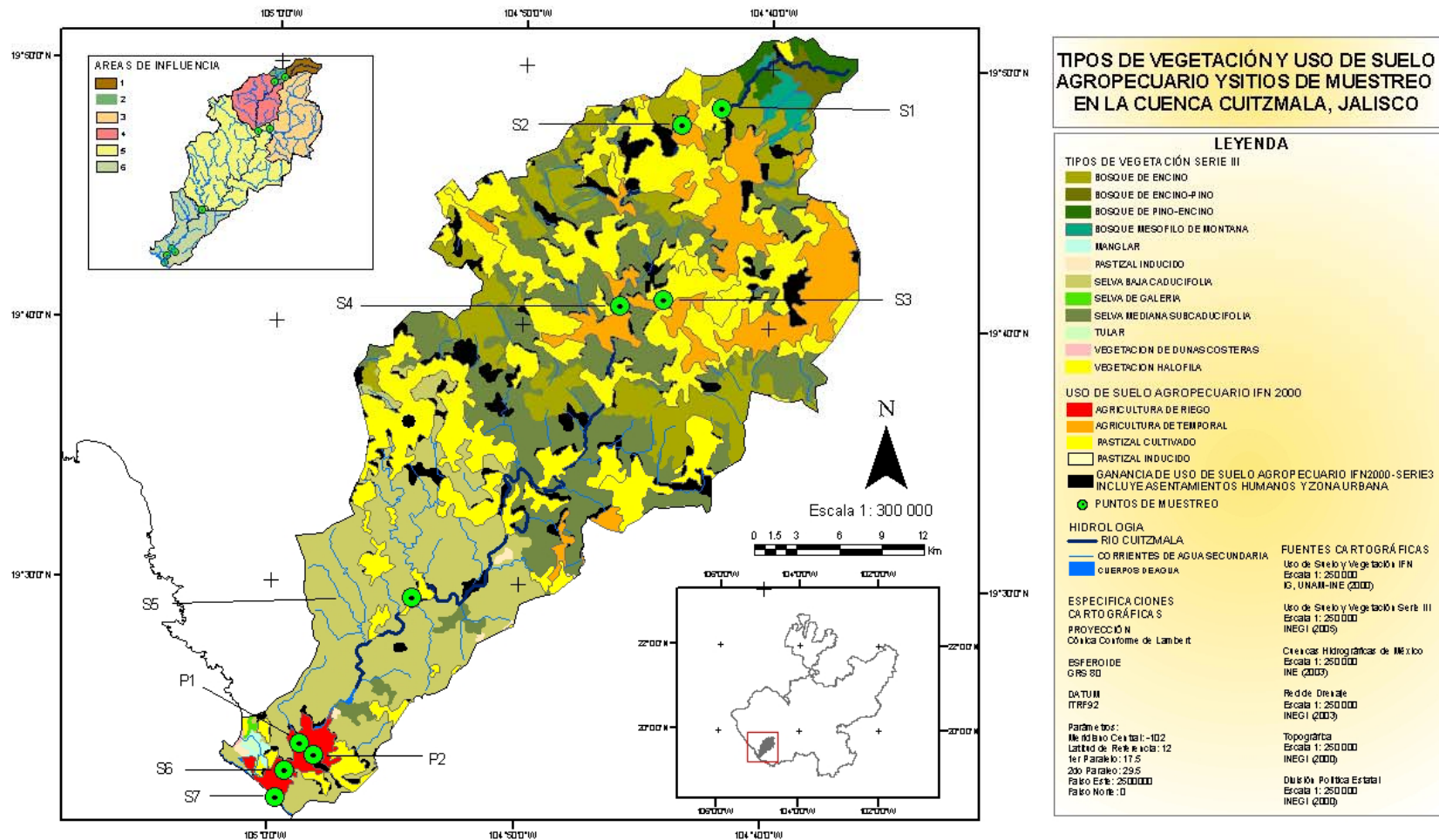


Figura 19. Mapa de uso de suelo y vegetación, y área de influencia de los sitios de muestreo en la cuenca del río Cuitzmala

Para cada área de influencia se delimitó la superficie de uso de suelo predominante (IG-UNAM-INE, 2000 e INEGI, 2005) a fin de determinar el efecto directo de las actividades productivas en los parámetros medidos.

De tal forma, que se delimitaron seis áreas de influencia hidrológica (Tabla 3), correspondientes a los sitios de muestreos S1, S2, S3, S4, S5 y S7 de agua superficial. Para las tres primeras áreas, correspondientes a S1, S2 y S3, se delimitó una superficie relativa de vegetación natural del 96.12%, 30.12% y 40.50% respectivamente, mientras que para S4 presenta una superficie relativa de vegetación natural de 66.24%. Mientras para las áreas S5 y S6 se determinó una superficie relativa del 81.32% y 83.04% de vegetación natural.

Tabla 3. Descripción de áreas de influencia para cada sitio de muestreo en el río Cuitzmala, Jalisco.

| Sitio | Área de influencia | Superficie km ² | Suelo | Superficie Agrícola km ² | Superficie relativa Agrícola % | Superficie pecuaria Km ² | Superficie relativa pecuaria % | Superficie Vegetación natural Km ² | Superficie relativa Vegetación natural % |
|--------------|--------------------|----------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---|--|
| S1 | 1 | 28.64 | Predominancia regosol eútrico, presencia cambisol crómico, feozem háplico, litosol y fluvisol eútrico. | 0 | 0 | 1.11 | 3.87 | 27.53 | 96.12 |
| S2 | 2 | 12.88 | Predominancia regosol eutrigo, presencia cambisol crómico y fluvisol eútrico. | 7.13 | 55.35 | 1.87 | 14.51 | 3.88 | 30.12 |
| S3 | 3 | 228.49 | Predominancia regosol eutrigo, presencia cambisol crómico, feozem háplico, gleysol húmico, fluvisol eutrigo, vertisol cromico, gleysol eutrigo, luvisol vertico, vertisol pelico y rendzina. | 70.15 | 30.70 | 65.8 | 28.79 | 92.54 | 40.50 |
| S4 | 4 | 138.82 | Predominancia regosol eutrigo, presencia cambisol crómico, cambisol vertico, cambisol calcico, feozem háplico, fluvisol eutrigo, vertisol cromico, luvisol vertico y rendzina. | 9.73 | 5.39 | 51.14 | 28.35 | 77.95 | 66.24 |
| S5 | 5 | 494.45 | Predominancia regosol eutrigo, presencia cambisol crómico, cambisol eutrigo, cambisol calcico, feozem háplico, fluvisol eutrigo, litosol, luvisol cromico, luvisol vertico, rendzina, vertisol pelico y vertisol cromico. | 18.66 | 2.06 | 150.02 | 16.60 | 77.95 | 81.32 |
| S7 | 6 | 178.89 | Predominancia regosol eutrigo, presencia cambisol eutrigo, cambisol gleyico, feozem haplico, fluvisol eutrigo, solonchak gleyico, solonchak ortico y solonchak gleyico. | 14.41 | 8.05 | 15.92 | 8.89 | 148.56 | 83.04 |
| TOTAL | | 1082.17 | | 120.08 | 11.09 | 285.86 | 26.41 | 676.23 | 62.48 |

7. Discusión

7.1 Parámetros físicoquímicos

Para el río Cuitzmala, Jalisco, en época de secas (mayo) del año 2004, la temperatura presentó un aumento a lo largo del río (5 primeros sitios), pudiéndose deber a una mayor exposición al sol a lo largo del sistema, los pozos en la misma época presentaron los valores más bajos debido a que el agua subterránea no está sometida a la temperatura ambiental. Para la época de lluvias (noviembre), la temperatura fue menor secas para los cinco primeros sitios, con respecto a la época de, mientras que los pozos presentaron un aumento; ya que por el período de lluvias, permite abastecer de humedad al suelo en la partes bajas (Meléndez, 1999), y por ende una rápida infiltración hacia el nivel freático, el cual se encuentra a 3 m de profundidad (Técnico Luis Pisano comunicación personal, 2004).

Los cambios en la temperatura, pueden deberse a diversas causas tanto antrópicas como naturales, entre ellos tenemos los cambios meteorológicos, remoción de la vegetación de la orilla de río, descarga de agua de asentamientos humanos, entrada de agua subterránea al río. Meléndez (1999) determinó que la temperatura atmosférica en general presenta un comportamiento homogéneo en la cuenca del río Cuitzmala, en promedio 24°C a 26°C en la mayor parte de la cuenca, sólo en las áreas de montañas altas la temperatura disminuye a 22°C, lo cual podría verse reflejado en la temperatura promedio de agua superficial. Sin embargo, y de acuerdo con el análisis estadístico realizado para encontrar diferencias significativas entre épocas, no se presentaron, lo cual podría indicar que ningún factor en específico está actuando para cada época.

Comparado con un estudio de calidad del agua subterránea, correspondiente a la unidad geohidrológica Cuitzmala (Cortés, 2001), la temperatura fue muy similar (promedio para los sitios 27°C).

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas para el pH entre épocas. Cabe mencionar, que en ningún sitio de muestreo se registraron valores de pH menores a 4.8 y mayores a 9.2, indicando que el pH es adecuado para los organismos acuáticos.

En los ríos, los cambios en acidez pueden presentarse por deposición atmosférica (lluvia ácida), rocas circundantes y descargas residuales, de tal forma que dichos cambios en el pH permiten la movilización de elementos tóxicos y compuestos, volviéndolos disponibles para los organismos acuáticos (Mooss, 1988).

La variación normal del pH en aguas subterráneas es entre 6.5 y 8. El agua de lluvia tiende ligeramente a 4.5 y 6. Para el área de estudio los valores de pH varían entre 6.4 y 8.1, mientras que para el resto de las muestras fluctúan entre 7.6 y 7, siempre cercano a la neutralidad, lo que podría indicar de acuerdo a los valores arriba expuestos, que los cambios en pH pueden verse influenciados por la cercanía al mar.

El análisis estadístico para conductividad no mostró diferencias entre épocas. Sin embargo, de acuerdo al APHA (1998), los valores obtenidos en el presente estudio son relativamente bajos a los valores de conductividad correspondientes a desechos domésticos (de 1,000 a 10,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Lo que se puede observar, es que para los sitios S1 a S6, la conductividad es mayor en época de secas, debido tal vez que al presentarse menor cantidad de agua, hubo un efecto de concentración, además que al no haber aporte de precipitación, pudo predominar el intercambio de agua subsuperficial. La conductividad en ríos puede estar determinada por la geología del lugar a través de su paso por las rocas. Los ríos que corren a través del granito tienden a bajar la conductividad del agua ya que está compuesto de materiales iónicos cuando es lavado por el agua, y de acuerdo a Meléndez (1999) y Martínez (2007), el elemento estructural dominante en la cuenca lo constituye las intrusiones de granito (910.64 km^2 y 866.5 Km^2 respectivamente), lo cual puede sustentar los niveles relativamente bajos de conductividad. Al contrario, cuando el agua corre a través de arcilla tienden a elevar la conductividad por la presencia de materiales ionizables en el agua; en la cuenca del río Cuitzmala (Meléndez, 1999) el suelo predominante es el formado por depósitos de material suelto de grava y arena.

En el caso de los P1 y P2, contrario al agua superficial, aumentó en la época de lluvias debido a la presencia de iones que presenta el agua subterránea.

En cuanto a la salinidad presentada a lo largo del río Cuitzmala, se registraron bajos niveles para todos los sitios en época de secas, mientras que la época de lluvias sólo se presentaron valores para S5 y P2, debido tal vez a los mismos factores que imperaron para el aumento y disminución en los valores de conductividad. Cabe señalar que para el S6 y S7, los cuales están influenciados por el agua de intrusión marina, no están clasificados como agua salina por estar de bajo de los 0.03 mg/L correspondientes a éste tipo de agua (Horne y Goldman, 1994).

La concentración de oxígeno disuelto (OD mg/L) aumentó en época de lluvias para todos los sitios exceptuando P2, más no mostró diferencias significativas. Dicho aumento pudo deberse posiblemente, al aumento en el caudal del río por la entrada de precipitación pluvial y escorrentía, ayudando a la oxigenación al presentarse un mayor flujo. En caso del P2, la concentración de OD disminuyó, posiblemente por el aumento del nivel freático impidiendo la entrada de oxígeno. De igual forma, un aumento en la concentración de oxígeno disuelto puede indicar que no hay pérdida a través de los organismos acuáticos, descomposición, así como cualquier reacción química que consuma oxígeno (Brooks *et al.*, 1997).

En época de secas en cambio, los bajos niveles obtenidos en comparación con la época lluvias, se pudieron ver afectados por la entrada de desechos domésticos y sistemas sépticos, que al disminuir la corriente se presentan en un efecto puntual.

De igual forma, hay que tomar en cuenta que los niveles de OD fluctúan a lo largo de un período de 24 horas, con la temperatura del agua.

Al contrario de los lagos donde el OD se estratifica a lo largo de la columna de agua, en los ríos cambia horizontalmente a lo largo del cauce por diferencias en flujo o turbulencia laminar, lo cual podría apoyar los resultados obtenidos, ya que todos los sitios presentaron concentraciones distintas.

En cuanto a los parámetros químicos, el amonio en el río Cuitzmala, en general mantuvo valores por debajo de 1.0 mg/L, excepto para S2 y S3, que en este caso puede deberse probablemente a una afectación puntual. Se ha reportado que los valores normales para aguas superficiales es alrededor de 1 mg/L (USEPA, 1997), de

tal forma que los valores reportados son muy cercanos a este, indicando que se encuentran dentro de los mismo. Así mismo se ve reflejado en el análisis estadístico ya que no presentaron diferencias significativas. Cabe resaltar que los valores obtenidos en época de lluvias presentaron una disminución indicando la dilución de este nutriente.

Las concentraciones de Nitritos más altas los presentaron S2 tanto en época de secas como lluvias, de igual forma es atribuible a afectación puntual. De igual forma, no mostraron diferencias significativas entre épocas. De igual forma que los valores para nitritos en agua superficial son cercanos a 0.01 mg/L, a lo que puede atribuirse que no se hayan encontrado diferencias significativas. Dichos valores bajos de nitritos pueden deberse a que esté cercano a procesos de nitrificación entre amonio y nitratos.

Los valores para Nitratos, S6 y P1 presentaron los valores más altos para la época de secas, más no mostraron diferencias significativas entre épocas. La forma de nitrato es la forma de nitrógeno más afín a las partículas del suelo, y se disuelve más rápido; a lo que se puede atribuir que las concentraciones fueran menores a 1.0 mg/L. Valores por arriba de 4.2 mg/L afectan la vida acuática, al presentarse valores de 10 mg/L puede generar hipoxia, y mientras que valores por arriba de 45 mg/L afectan la vida humana. Se ha reportado que para cuencas de uso de suelo predominantemente de vegetación natural son de 0.23 mg/L (Brooks *et al.*, 1997), mientras que para cuencas de uso de suelo agrícola se presentan en 1.05 mg/L. De tal forma que los valores obtenido en el presente estudio se encuentran dentro un intervalo de uso de suelo de predominancia de vegetación natural.

En general, la presencia de Nitratos se corresponde a la descomposición de materia orgánica, contaminación agrícola, urbana e industrial y por el uso de fertilizantes agrícolas. Las concentraciones oscilan entre 1.00 y 10 mg/L en aguas superficiales, mientras que para consumo humano se permite un máximo de 5.00 mg/L.

En cuanto a los valores obtenidos del nitrógeno total, los S1, P1 y P2 presentaron los valores más altos en época de secas, y para época de lluvias los P1 y P2. Igualmente, se ha reportado que para una cuenca de uso de suelo predominantemente de

vegetación natural las concentraciones van de 0.95 mg/L, mientras que para una cuenca de uso de suelo predominantemente agrícola, se han reportado valores de 1.81 mg/L (Brooks *et al.*, 1997). Siguiendo la premisa anterior, para la cuenca del río Cuitzmala los valores obtenidos representan un uso de suelo predominantemente de vegetación natural.

En cuanto a las forma del fósforo, específicamente ortofosfatos, los S4, S5, S6 y P2, presentaron los valores más altos en época de secas, mientras que en época de lluvias S3, S6 y P2 presentaron los valores más altos. De acuerdo con el análisis estadístico realizado, no se presentaron diferencias significativas entre épocas. Se ha reportado que para cuencas de uso de suelo predominantemente de vegetación natural los valores van de 0.006 mg/L, mientras que para uso de suelo predominantemente agrícola entre 0.058 mg/L (Brooks *et al.*, 1997). Con lo anteriormente mencionado, se puede atribuir que los valores por arriba de 0.006 mg/L en la cuenca del río Cuitzmala indicarían una cuenca de uso de suelo predominantemente de uso agrícola.

En cuanto al fósforo total, los S2, S4 y P1 presentaron los valores más altos para en época de secas, mientras que para la época de lluvias los valores más altos, por arriba de la época de seca, se presentaron en S1, S4, S6, P1 y P2, lo cual se ve reflejado en el análisis estadístico, ya que presentó diferencias significativas entre épocas.

Se ha reportado que para cuencas de uso de suelo predominantemente de vegetación natural es de 0.014 mg/L, mientras que para uso de suelo predominantemente agrícola es de 0.135 mg/L (Brooks *et al.*, 1997). De manera que junto con los valores obtenidos para ortofosfatos, el fósforo total en la cuenca del río Cuitzmala, corresponde a un uso de suelo predominantemente agrícola.

Aunque el fósforo es un nutriente que se encuentra en agua dulce, su incremento puede desencadenar una serie de eventos desfavorables en el sistema incluyendo crecimiento acelerado de plantas y/o algas.

Hay fuentes naturales de fósforo de origen animal, humano, suelo, rocas y humedales, así como fuentes contaminantes como plantas tratadoras, agua de retorno

agrícola y fertilizantes, drenajes, agua de tratada y preparaciones comerciales limpiadoras.

En sistemas de flujo unidireccional, el ciclo tiende a mover este nutriente, corriente abajo conforme se van descomponiendo tejidos y plantas de animales, lo que ocasiona que el fósforo se disuelva y sea transportado.

En el presente estudio, se examinó la calidad del agua del río Cuitzmala con el fin de conocer los efectos de las actividades productivas sobre los diferentes parámetros físicoquímicos y biológicos. Cabe mencionar, que la hidrología del sistema ya cuenta con una composición específica que debe ser considerada al momento del análisis de dicho cuerpo de agua; por ejemplo el agua de lluvia presenta una composición, y al caer acarrea elementos y partículas de sólidos suspendidos en la atmósfera hacia el suelo y el río. Existen ecosistemas cuya principal fuente de entrada de nutrientes al ecosistema lo constituyen los elementos minerales precipitados juntos con la lluvia. El agua de lluvia que cruza el dosel de la vegetación llega al suelo enriquecida con los elementos minerales que lava de las hojas. Este fenómeno conocido como traslocación llega a ser tan importante que en algunos ecosistemas particularmente pobres en elementos minerales del suelo, las hojas han desarrollado adaptaciones para disminuir la pérdida de nutrientes por esta vía, (García-Oliva *et al.*, 2006). Algunos de los cambios que puede presentar el agua de lluvia, están presentes en la Tabla 4. Utilizando éstos valores para el río Cuitzmala, los valores tanto para amonio como para nitritos representarían ser parte del sistema, más no así de contaminación antrópica. Al contrario de los fosfatos abajo enlistados, los valores obtenidos en el presente estudio indican contaminación antrópica.

Tabla 4. Cambio en la composición del agua de lluvia al paso por el ecosistema (García-Oliva *et al.*, 2006).

| Elemento | Concentración en la lluvia (mg/L) | Proporción Dosel/lluvia | Proporción escorrentía/lluvia |
|-----------------|--|--------------------------------|--------------------------------------|
| Amonio | 0.22 | 6.0 | 0.2 |
| Nitritos | 1.47 | 3.0 | 1.0 |
| Fosfatos | 0.01 | 58.0 | 0.3 |

El manejo efectivo de recursos de la tierra y agua, requieren un entendimiento de efectos espaciales y temporales de actividades humanas en esos recursos. Por ejemplo al tiempo de transporte a través del suelo, es un parámetro crucial para el movimiento y retención de varias sustancias y de esta manera la composición del agua que fluye a través del suelo. El conocimiento de características de tiempo de transporte y retención es necesario para determinar la susceptibilidad de la tierra y descargas de desechos.

Se ha reportado que la movilización del nitrógeno presente en fertilizantes utilizado en tierras de cultivo, no tiene un efecto inmediato trófico en un río o lago, efecto contrario a la rápida movilización del fósforo, el cual presenta una mayor afinidad al suelo y otros materiales de la cuenca, donde suele ser arrastrado por eventos naturales y antrópicos. El fósforo, es retenido en suelos arcillosos, mientras que en suelos arenosos facilitan su paso, por lo tanto, a pesar que se interrumpiera la aplicación de fertilizantes, los suelos al estar enriquecidos de nutrientes son arrastrados por efecto de erosión, moviéndose hacia aguas superficiales. (Peters, 2000). Se ha comprobado que los fertilizantes comerciales, tienen a volverse inestables en época de lluvias y pueden lixiviarse en ríos y lagos lo cual provoca un crecimiento de algas y por lo tanto un declive en los niveles de O₂, los cuales ponen en riesgo la salud de los peces (Kehrig, 2000).

Para la SBC, se han registrado los efectos que causa la transformación de la selva, mediante el método de roza-tumba y quema. Los efectos se han observado principalmente en la dinámica de nutrientes, como en tamaño de almacén de nutrientes, cambios en los mecanismos de protección de nutrientes por la pérdida de éstos en cenizas, en un 71% por erosión eólica (González, 1992), así como por cambios térmicos (altas temperaturas), y cambios químicos como la incorporación a las cenizas y la liberación de algunos elementos (principalmente cationes) por parte de la vegetación. Otro efecto causado por dicha actividad es la evaporación del agua del suelo como resultado de las altas temperaturas, donde la intercepción y transpiración del dosel es reducida. En la época de crecimiento, los efectos que provoca es que el suelo al estar descubierto es susceptible a la erosión hídrica, además de haber un cambio en la cobertura vegetal y un cambio químico del suelo por la incorporación de nutrientes como resultado de la quema. La última etapa, generalmente con la

introducción de ganado vacuno, las principales fuerzas de degradación de esta etapa son la compactación del suelo por el pisoteo del ganado, a su vez por la erosión y degradación biológica del mismo, (reducción de formas disponibles de carbono, reducción de diversidad de microorganismos), reduciendo la tasa de infiltración del agua y aumentando la susceptibilidad a la erosión eólica.

De acuerdo a los valores obtenidos de los parámetros físicoquímicos, éstos podrían deberse al efecto de la actividad de roza-tumba y quema, la cual abarca un ciclo anual, en el cual se basó el presente estudio.

7.2 Parámetros bacteriológicos

El ANOVA realizado para bacterias indicadoras para coliformes fecales no mostró diferencias significativas, pero los sitios que mostraron valores más altos fueron los S2, S3 y S4 tanto en época de secas como en lluvias.

Para el grupo de los coliformes totales, tampoco mostraron diferencias significativas y el sitio que presentó valores más altos fue S2 y S4 en época de secas, mientras que el S3 y el S4 presentaron los valores más altos en época de lluvias, pero por debajo de los valores para época de secas.

El grupo de los enterococos fecales, tampoco mostraron diferencias significativas entre épocas, pero los sitios con valores mayores fueron S2, S3 y S4 para época de secas y los S1, S2, S3, y sobre todo S4 para época de lluvias, incluso éste último en época de lluvias presentó el valor más alto de los grupos de bacterias indicadoras de contaminación fecal.

Sólo el grupo de las *Vibrio* spp., presentaron diferencias significativas entre épocas, para los cinco primeros sitios, ya que presentaron los valores más altos en época de secas, mientras que para la época de lluvias, los valores más altos lo presentaron S6, S7 y P1.

Los grupos de bacterias coliformes y enterococos fecales son utilizados como indicadores de posible contaminación, debido a que son comúnmente encontrados en heces fecales de origen animal y humano. No son patógenos, pero por sí solos indican la posible presencia de bacterias patógenas causantes de enfermedades, no así la presencia de virus y/o protozoarios que también viven en el tracto digestivo animal y

humano. Por lo tanto la presencia en ríos sugiere que microorganismos patógenos en aguas de uso recreativo y peces pueden implicar riesgo a la salud.

Posibles fuentes de contaminación de aguas superficiales incluyen plantas de tratamiento, sistemas sépticos, manejo de animales domésticos y silvestres, así como escorrentías.

Los coliformes fecales son un tipo de bacterias de coliformes totales, son más de origen fecal. Sin embargo este grupo contiene un género, *Klebsiella*, un género que no necesariamente es de origen fecal, es comúnmente asociada con descargas textiles y de la industria del papel. Por lo tanto si se cuenta con estas descargas en el río, se considera el monitoreo de bacterias fecales de origen humano. *E. coli* es una especie de bacterias coliformes fecales, que es específico de material fecal de fuente humana y otros animales de sangre caliente, USEPA (1997) la recomienda como indicador de riesgo a la salud humana en aguas de uso recreativo.

El grupo de los enterococos fecales generalmente aparecen en el sistema digestivo de humano y otros animales de sangre caliente. El cociente de coliformes fecales entre enterococos fecales, puede utilizarse como una aproximación en el origen de la fuente de contaminación, ya sea de origen humano o animal (Tabla 5). Existen dos especies de enterococos, los cuales se encuentran predominantemente en el tracto digestivo de los animales, *E. faecalis* y *E. faecium*, a pesar que son más específicos al tracto humano Por eso se ha sugerido que el cociente de coliformes fecales/enterococos fecales de 4 o más indica una contaminación de origen humano, donde un cociente debajo de 0.7 indica contaminación animal. Este cociente es solamente válido para contaminación fecal (en un tiempo de 24 hrs).

Tabla 5. Cociente CF/EF para aproximarse al origen de la contaminación bacteriana (Geldreich y Kenner, 1969)

| Cociente CF/EF | Fuente de contaminación |
|----------------|--|
| >4.0 | Fuerte evidencia que la contaminación es de origen humano |
| 2.0-4.0 | Buena evidencia de agua residual predominantemente humano puede existir mezclado |
| 0.7-2.0 | Buena evidencia de agua residual de animales puede existir mezcla |
| <0.7 | Fuerte evidencia que la contaminación es de origen animal |

De manera que los sitios que muestran un posible origen de contaminación fecal humana en época de secas es S1 mientras que en época de lluvias es S5 (Tabla 6) los sitios restantes, muestran una contaminación predominantemente de origen animal.

Tabla 6 Posible fuentes de contaminación fecal (CF/EF) en sitios de muestreo en el río Cuitzmala, Jalisco.

| Sitio de muestreo | Época de secas | Época de lluvias |
|-------------------|----------------|------------------|
| | CF/EF | CF/EF |
| S1 | 4 | 1.09 |
| S2 | 1.3 | 0.52 |
| S3 | 0.70 | 0.93 |
| S4 | 0.58 | 0.10 |
| S5 | 0.62 | 28.57 |
| S6 | 1.11 | 1.69 |
| P1 | 0 | 0 |
| P2 | 0 | 0 |

Para los sitios que mostraron posible contaminación fecal de origen, en esos sitios se detectó la presencia de ganado vacuno, caprino, así como animales domésticos.

En S1, S5 se detectó la presencia poblados con contacto primario con el agua, así como el uso de pipas para extraer agua, y deforestación por la construcción de una carretera.

La tasa de crecimiento bacteriano depende de la cantidad y tipo de materia orgánica así como la temperatura del agua. Si el agua contiene concentraciones importantes de materia orgánica y elevada temperatura las bacterias aumentan en número. Este fenómeno es observado en aguas tropicales eutróficas, si el agua superficial recibe agua residual, sedimentos acuáticos y suelos enriquecidos después de períodos de tormentas.

7.3 Análisis espacial

De acuerdo con las áreas de influencia para cada sitio de muestreo, y los resultados obtenidos en el análisis de calidad del agua, es posible mencionar lo siguiente:

- S1, el uso de suelo es predominantemente vegetación natural, con valores altos de nitrógeno total en ambas épocas, fósforo total en época de lluvias, y enterococos fecales en época de lluvias; lo que podría indicar un impacto de la poca actividad pecuaria localizada.
- S2, el uso de suelo predominantemente agrícola, con asentamiento humano, con valores altos de fósforo total en ambas épocas, amonio y nitrito en secas, coliformes fecales, totales y enterococos fecales en secas, lo que tal vez habla, de la contaminación por ganado de corral, y los mismos grupos más *Vibrio* spp. para época de lluvias, por un posible efecto de transporte en ésta zona.
- S3, de uso de suelo casi en proporción agrícola-pecuario-vegetación natural, de valores de conductividad más alto en época de secas, lo que implicaría el arrastre de sales por efecto de deforestación, ortofosfatos en época de lluvias, amonio en época de secas, particularmente *Vibrio* spp. en época de secas, y coliformes y enterococos fecales en época de lluvias predominantemente del lavado de suelo contaminado con heces fecales de origen pecuario y asentamientos humanos.
- S4, uso de suelo predominantemente vegetación natural, con tendencia a uso de suelo pecuario, con influencia de S1 y S2, con valores de conductividad más altos en ambas épocas que otros sitios, salinidad en secas, fósforo total en ambas épocas, ortofosfatos en secas, nitrógeno total en ambas épocas, amonio en secas, los cuatro grupos de bacterias en ambas épocas, posiblemente refleja el efecto acumulativo de su área de influencia directa, y el área de influencia indirecta de S1 y S2.
- S5, suelo predominantemente vegetación natural, se observaron valores de conductividad de los más altos en ambas épocas, nitrógeno total en ambas épocas, *Vibrio* spp. en secas y enterococos fecales en lluvias, al no presentarse la presencia de los mismos parámetros que S3 y S4, se podría hablar de un efecto de dilución para algunos, y para los que se encuentran presentes, podrían ser no atribuible a la actividad agropecuaria.

- S6, suelo predominantemente vegetación natural, con valor de conductividad más alto en secas, posiblemente a que está fuertemente influenciado por agua de origen marino, con valores de fósforo total alto en lluvias, presenta nitrógeno total en ambas épocas, nitratos en época de secas, tal vez se debió a las actividades que en la parte más baja de la cuenca se presentan, así como el efecto acumulativo de las actividades de la cuenca, y posiblemente a la gran influencia de cuerpos de agua lénticos (humedales) que existen en esa misma zona.

En cuanto al efecto acumulativo en el último segmento, es decir en la cuenca del río Cuitzmala, es el efecto de la consecuencia de las actividades antrópicas incrementadas por la erosión que incrementa el transporte de nutrientes y químicos aguas arriba de la cuenca, donde la productividad de la cuenca puede verse reducida si los procesos erosivos continúan. Meléndez (1999) explica que el área de la cuenca influye en los escurrimientos superficiales, ya que al incrementarse el tamaño de la cuenca aumenta el volumen escurrido, así mismo, la forma de la cuenca influye en la magnitud del escurrimiento, de tal manera que la cuenca del río Cuitzmala al ser de forma estrecha y alargada presentan un menor escurrimiento, y de concentración lenta. La forma alargada de la cuenca se comprueba con la fórmula de Gravelius ($K=1.69$) donde señala en general, que los escurrimientos se concentran lentamente, y tomando en cuenta ésta premisa, los contaminantes se concentran lentamente, y es por eso que varían a lo largo del cauce principal.

En cuanto a la influencia del tipo de suelo, al ser predominante el tipo regosol eútrico (Meléndez, 1999), favorece el desarrollo de vegetación natural de selva baja y mediana, así como bosques. De tal forma, que al no existir las condiciones idóneas para el desarrollo de la actividad agrícola-pecuaria-forestal en la cuenca del río Cuitzmala, la práctica de la misma conlleva a la erosión del terreno, y por lo tanto ocurre el transporte y depósito de contaminantes.

7. 4 Fuentes potenciales de contaminación en la cuenca

Adicionalmente, el control de calidad química y biológica del agua en ríos ha sido utilizado como herramienta para promover una protección del medio.

Kantor (1998) clasifica los contaminantes de acuerdo a los efectos directos o indirectos que producen.

1. Los que causan un efecto tóxico directo, como los metales pesados organometálicos, inorgánicos, compuestos orgánicos persistentes o compuestos orgánicos volátiles.

2. Los de efecto indirecto adverso: contaminantes brutos que causan disminución de oxígeno y formación de sulfuros (desechos de granjas, afluentes de aguas domésticas) u otras que causan eutrofización (nutrientes). Parámetros estáticos tales como espuma (presencia de detergentes), cloro, aceite, aunque no sean tóxicos en las concentraciones presentes, pero pueden afectar el uso del agua.

También los consideran según el tipo de descarga en:

1. Continuo: una descarga completa y flujo que sea constante en el tiempo. Agua proveniente de un sistema de tratamiento es un buen ejemplo.
2. Intermitentes: Como su nombre indica, no se descarga todo el tiempo. El mejor ejemplo son las tormentas durante eventos de lluvia con una severidad dada.
3. Incidentales: La localización, naturaleza y tiempo son impredecibles, como transporte y fuego.

En cuanto al tipo de contaminantes en la cuenca del río Cuitzmala, encontramos del tipo indirecto adverso, con descargas intermitentes e incidentales.

La contaminación no-puntual que viene del agua de escorrentías, se puede originar en áreas extensas y es difícil de identificar, ejemplo es el agua de retorno agrícola. Los contaminantes que son encontrados en el río no son sustancias tóxicas, donde mucho del impacto es causado por sedimento, áreas erosionadas, de nutrientes, como el nitrógeno y fósforo los cuales se encuentran en fertilizantes y detergentes. Otros contaminantes incluyen patógenos como bacterias, pesticidas y materia orgánica que propician bajos niveles de oxígeno.

Algunas fuentes comunes de contaminación de ríos incluyen:

- Actividades agrícolas: tales como producción de maíz, pastoreo en grandes áreas, agregan contaminantes como sedimentos, nutrientes, plaguicidas, patógenos y materia orgánica.
- Descargas municipales: como lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales que contribuyen con nutrientes y materia orgánica.
- Escorrentías urbanas: de calles, alcantarillado: aportan metales pesados, productos del petróleo, substancias demandantes de oxígeno.
- Fábricas (descargas industriales), actividades forestales, modificaciones del hábitat del río e hidrología.

Para el caso de la cuenca del río Cuitzmala se detectaron las siguientes fuentes potenciales de contaminación, agricultura, ganadería, actividad forestal, sistemas sépticos y construcciones; por lo que se puede atribuir que al existir diferentes fuentes de contaminación se encontraran variaciones en los parámetros medidos.

7. 5 Normas Oficiales Mexicanas

En cuanto a la normatividad ambiental utilizada, a fin de determinar la calidad del agua en la cuenca del río Cuitzmala, bajo las cuales se establecen las disposiciones, especificaciones y métodos de prueba, que permiten garantizar que los productos y servicios ofertados a los organismos operadores de sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, cumplan con el objetivo de aprovechar, preservar en cantidad y calidad y manejar adecuada y eficientemente el agua; los valores obtenidos se compararon con NORMA OFICIAL MEXICANA **NOM-127-SSA-1994** (DOF, 2000) y NORMA Oficial Mexicana **NOM-001-ECOL-1996** (DOF, 1997) (Tabla 7).

Tabla 7. Límites permisibles de calidad de agua

| Parámetros | NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997) | NOM-127-SSA-1994 (DOF, 2000) |
|-------------------|---|--|
| Físicos | | |
| Temperatura | 40 | |
| pH | 5-10 | 6.5-8.5 |
| Químicos | | |
| Nitritos | 0.05 | 0.05 |
| Nitratos | 10.0 | 10.00 |
| Amonio | 0.50 | 0.50 |
| N total | 60 | - |
| Fosfatos | 30 | - |
| Biológicos | | |
| CT | | 2 |
| CF | 1000-2000 | 0 |

Los resultados obtenidos se presentaron por arriba de los límites permisibles establecidos para las coliformes fecales de acuerdo con lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000), excepto para los pozos los cuales sí cumplieron las normas establecidas por dicha NOM. Los parámetros físicoquímicos estuvieron por debajo de los límites permisibles.

Los valores para la NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997), sobrepasaron las coliformes fecales para S2, S4, S5 y S6 en época de secas, mientras que en época de lluvias los que sobrepasaron los niveles fueron S3, S4 y S7.

8. Conclusiones

- Con base en el análisis de calidad de agua de la cuenca del río Cuitzmala, durante el ciclo anual 2004, el cual cubrió la época de secas y lluvias, se determinó que no existen diferencias significativas de nutrientes entre ambas épocas, excepto para fósforo total, lo cual indica que las actividades productivas efectuadas en la cuenca presentan un impacto en la presencia de éste nutriente.
- Con la herramienta del sistema de información geográfica (SIG) se determinaron áreas de influencia hidrológica para cada sitio de muestreo, así como la superficie de uso de suelo y vegetación natural, encontrándose que el impacto para los nutrientes analizados varían de acuerdo a las diferencias de superficie de uso y vegetación de cada área.
- Se observó que los tipos de contaminantes son del tipo indirecto adverso, con descargas intermitentes e incidentales, lo cual podría deberse diferencia en las concentraciones de los nutrientes analizados en cada área de influencia.
- El cociente CF/EF mostró una contaminación probable de origen fecal animal en S1 y S5 y origen humano en los sitios restantes, predominando la influencia animal sobre la degradación de la calidad del agua en el sistema estudiado.
- Realizar análisis de calidad del agua del río Cuitzmala, a fin de detectar cambios en los parámetros medidos.
- Realizar una restauración a nivel de márgenes de río en aquellos sitios de muestreo o áreas de influencia que se ven afectados por las actividades agropecuarias.

9. Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de calidad de agua, análisis estadístico y análisis espacial, solo hay diferencias significativas para el parámetro fósforo total, y debido a que éste se encuentra de manera natural en los sistemas acuáticos; y que de acuerdo a la influencia de uso de suelo y vegetación para cada sitio de muestreo y que sólo se encontró como predominante el nitrógeno total, que también su presencia es debida a procesos naturales, es necesario realizar un monitoreo continuo de calidad de agua a lo largo de varios años, que abarquen una mayor superficie de la cuenca, pensando en órdenes de río y/o principales tributarios, de acuerdo al uso de suelo y vegetación encontrados en la cuenca.

Debido a que los parámetros arriba mencionados, se encontraron en persistencia en ambas épocas, y que pueden deberse a contaminación de tipo antrópico, las recomendaciones de restauración ecológica, en el entendido que es el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado o dañado, en la cuenca del río Cuitzmala, se requiere realizar un análisis para determinar si existen zonas severamente dañadas, por ejemplo el segmento tres, a efecto de emprender acciones que procuren su recuperación.

Y en el caso específico, de la actividad agro-pecuaria-forestal, que denota influencia en el segmento tres, es necesario combinarlas con prácticas agrícolas que aminoren la degradación del sistema.

A efecto de emprender acciones correctivas, para mejorar la calidad del agua del río Cuitzmala, con la finalidad de frenar el deterioro de la misma en los cuerpos de agua pertenecientes a la RBCC, se propone una metodología de recuperación de los márgenes de río, debido a que, la protección de las márgenes del río son prioritarias en manejo de río basado en cuencas.

Una descripción de las funciones de los márgenes de río, se encuentra en la Tabla 8. Los márgenes de río, presentan funciones claves en el manejo del sistema como, control de calidad del agua, conservación de la naturaleza, mantenimiento de la diversidad, además del servicio de recreación. Claro está que cada función cambia su

efectividad de acuerdo con la zona, ya que por ejemplo, en el control de calidad del agua es más efectivo en la primera zona (Klapproth *et al.*, 2000).

Tabla 8. Funciones primarias y agregadas de los márgenes de río

| Funciones primarias | Funciones agregadas |
|---|---|
| Provee hábitas importantes para flora y fauna | Alta diversidad biológica Alta productividad biológica Fuente de dispersión de especies |
| Regulación de dinámica de ecosistemas | Influencia de movimiento y migración de fauna Control de escorrentía superficial Regula flujos sub-superficiales Provee materia orgánica al río Almacena agua |
| Eleva calidad visual y valor atractivo | |
| Provee de parches ecológicos de diversidad de zonas de inundación de ríos | Incorpora un rango de hábitat patch, especialmente maderas pequeñas, cut-off canales y humedales de diferentes estados sucesionales |

Una de las ventajas de las zonas de margen de río es que al estar vegetadas, pueden controlar la calidad del agua al reducir la contaminación no-puntual o difusa, ya que reducen la entrada de fósforo y nitrógeno al río en un 80-70%. Esto se logran mediante procesos, como la retención a través de la intercepción de nutrientes sedimentados, plaguicidas, así como otros contaminantes transportados por flujo superficial, un segundo proceso es la toma de nutrientes por la vegetación o por bacterias nitrificantes.

Es aquí la importancia de la dinámica de ríos, especialmente la hidrogeología debido a la permeabilidad del sedimento, que influencia en el tiempo de paso del flujo subterráneo, que a su vez afecta en el tiempo de retención de contaminantes antes de que sean acarreados al río.

Las ventajas de incluir la restauración de márgenes de río, recae en el costo de restaurar un continuo que sólo un área determinada, claro está que se debe tomar en cuenta el tamaño de la cuenca. Las ventajas no sólo incluyen los costos, si no que al tener una dimensión vertical desde el agua subterránea hasta la estructura de la vegetación, ya que le pérdida de ésta conlleva a la pérdida de diversidad y abundancia de especies.

Entre las opciones para el manejo integrado de cuencas, incorporando márgenes de río por zonas tenemos las siguientes (Tabla 9):

Tabla 9. Zonas de margen de río y su importancia ecológica

| Zona | Significado ecológico |
|---------------------------|--|
| 1. Zona de producción | 1. El significado de zonas amortiguadoras es mantener la calidad y cantidad de flujos río abajo, y conservar hábitats en el sistema lótico, proveen zonas de conservación del lado correcto. Estabilidad de banco incrementa cubierta vegetal. Actúan como barreras a la eutrofización de pequeños ríos. |
| 2. Zona de transferencia | 2. Playa provee importantes hábitats lineares no solamente la franja riparia pero si a lo largo de la margen del río, incluye sombreado y cubierta para peces. Zonas de inundación pueden ocurrir aquí y ser morfológicamente activas. Puede agregar estabilidad de canal en estos casos. |
| 3. Zona de almacenamiento | 3. Playa riparia tiene un importante valor ecológico pero oportunidades para aumentar medio ambiente existen formando áreas de inundación por manejar parches de conservación natural. |

Cómo se mencionó anteriormente, las prácticas de manejo pueden afectar la calidad del agua, principalmente de cuatro formas, vía flujo superficial, sub-superficial, flujo subterráneo sub-superficial y profundo. El manejo de las zonas riparias es muy efectivo cuando los problemas son causados por flujo superficial o sub-superficial; en el río de último orden, y también en la creación de humedales y lagos de almacenamiento que intercepten flujo de primer orden.

Los resultados obtenidos en un margen de un río rehabilitado son canales de patrón restaurados, zona riparia restaurada, zona de inundación excavado y plantado para crear nuevos humedales, terraplén en zonas de inundación detrás del límite del río, terraplén adicional lejos del río para crear zonas de inundación de emergencia y/o lagos para mantener el control del canal de riego o ductos.

Finalmente la recomendación de restauración de la cuenca del río Cuitzmala es la recuperación de las zonas riparias, en sitios específicos donde se comprometa la calidad del agua, ya que es por donde se puede bloquear la entrada de contaminación no-puntual.

Pensando en un manejo integrado de cuencas los criterios de rehabilitación de la zona, deberán ser de acuerdo a las características de la zona, así como alternativas de producción agrícola-pecuaria-forestal, para las comunidades que ahí se encuentran.

Además se recomienda un monitoreo de la calidad del agua para la cuenca del río Cuitzmala, ya que al haberse encontrado contaminantes de un estudio realizado anterior al presente (Cortés, 2001), se puede decir que se está empezando a tener un efecto de las actividades productivas en la calidad del agua de la cuenca.

La información obtenida en el presente estudio contribuirá al desarrollo de un programa de manejo de la cuenca, donde se incluya la recuperación de zonas de selva degradada, así como a mejorar las prácticas de manejo que ayuden a la conservación de la zona.

Referencias Bibliográficas

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation (APHA). 1998. *Standard Methods for the Examination of water and Wastwater*. 20^a ed. United Book Press, Washington. D.C.

ARCGIS 9.1 Environmental Research Institute, Inc. ESRI 2005.

Barradas, V., L. Fanjul 1985. Equilibrio hídrico y evapotranspiración en una selva baja caducifolia de la costa de Jalisco, México. *Biótica* 10: 199-218.

Brooks K. N., Folliott P.F., Gregersen H.M. DeBano L.F. 1997. *Hydrology and management of watersheds*. Iowa State University Press/Ames. Second ed. Iowa. 502pp.

Bullock S.H., H.A. Mooney y E. Medina. 1995. *Seasonally dry tropical forest*. Cambridge University Press, Cambridge. 450 pp.

Burgos, A. L. 1999. *Dinámica hidrológica del bosque tropical seco en Chamela, Jalisco, México*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 130 pp.

Carabias J. y Landa Rosalva. 2005. *Agua, medio ambiente y sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México, Fundación Gonzalo Río Arronte. 1^a edición. México. 219 pp.

Ceballos, G., A. Székely, A. García, P. Rodríguez y F. Noguera. 1999. *Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. D.F.

Comisión Nacional del Agua. www.conagua.gob.mx.

Cervantes, L. 1988. Intercepción de la lluvia por el dosel en una comunidad tropical. *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol III: 38-43.

Conjunto de datos vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, escala 1:250 000 SERIE III (Continuo Nacional) elaborada por el INEGI 2000-2004.

Cotler, H., E. Durán y C. Siebe. 2002. Caracterización morfo-edafológica y calidad de sitio de un bosque tropical caducifolio. pp. 17-79. *In*: F. Noguera, J.H. Vega, A.N. García, M. Quesada (eds.). Historia Natural de Chamela. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Cortés A. Felipe J. 2001. Estudio geohidrológico de la subcuenca "Río Cuitzmala" en la costa de Jalisco. Tesis Licenciatura. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

De Ita-Martínez C., Barradas V. L. 1986. El clima y los patrones de producción agrícola en una selva baja caducifolia de la costa de Jalisco, México. *Biótica*. 11:4, 237-245 pp.

De Ita Martínez, C. 1983. Patrones de producción agrícola en un ecosistema tropical estacional en la Costa de Jalisco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Diario Oficial de la Federación. (1997) Norma Oficial Mexicana, NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. Enero 6 1997: 68-41.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2000 Norma Oficial Mexicana, NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación. Noviembre 22 2000:73-79.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

García-Oliva, F., J.M. Maass y L. Galicia. 1995. Rainstorm analysis and rainfall erosivity of a seasonal tropical region with a strong cyclonic influence on the Pacific coast of Mexico. *Journal of Applied Meteorology* 34:2491-2498.

García-Oliva, F. A. Camou y J.M. Maass. 2002. El clima de la región central de la costa del Pacífico Mexicano. En Noguera F.A.; Vega J.H.; García-Aldrete A.N. y Quesada, M. (Eds). Historia Natural de Chamela. Instituto de Biología, UNAM. pp: 3-10.

García-Oliva, F., J.M. Maass, V.J. Jaramillo, A. Martínez-Yrizar, A. Pérez-Jiménez y J. Sarukhán. 2006. El enfoque ecosistémico y su aplicación en problemas de manejo y restauración ecológica: el caso de la selva baja caducifolia en Chamela, Jalisco. En: K. Oyama y A. Castillo (Eds.) Manejo, Conservación y Restauración de Recursos Naturales en México: perspectivas desde la investigación científica. Siglo XXI-UNAM, México, pp: 111-126..

Geldreich, E. y B.A. Kenner. 1969. Comments on fecal streptococci in stream pollution. *Journal Water Pollution Control Federal* 41:R336-R341.

Gerba, C.P. 2000. Indicador microorganismos. En Mair, R.M., I.M. Pepper, y C. P. Gerba. (Eds.) *Environmental Microbiology*. Academia Press. San Diego, California.USA: 491-503 pp.

González, P.C. 1992. El manejo del fuego en el sistema de roza, tumba y quema en la selva baja caducifolia de Chamela, Jalisco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

González Piedra, J.I. 2000. Guía Metodológica para el Estudio de Cuencas Hidrológicas Superficiales con Proyección de Manejo Universidad de La Habana, Cuba (inédito).

González D.G. 2002. Restauración de la Selva Baja Caducifolia en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, Jalisco: Un enfoque experimental usando comunidades sintéticas. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Gutiérrez, A.R. 1993. La ganadería extensiva en el trópico seco mexicano: causas, consecuencias y manifestaciones en su medio social. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Horne A. y Goldman C. 1994. Limnology. McGraw-Hill. Nueva Cork. 576 pp.
Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1981. Carta hidrológica de aguas superficiales 1:250 000 Manzanillo E13-2-5, México, D.F.

IG-UNAM-INE. 2000. Uso de Suelo y Vegetación IFN. Escala 1:250 000.

INEGI. 2005. Uso de suelo y vegetación Serie III. Escala 1: 250 000.

Instituto Nacional de Ecología. 2003. Cuencas hidrográficas de México. Escala 1:250 000.

Kantor S. 1998. *River ecology and management*. Ed. Springer. New York. 705.

Kehrig R. 2000. Agriculture practices and water quality in Saskatchewan, Canada: a sociological perspective. *FAO, Land- water linkages in rural watersheds*, electronic workshops.

Klapproth J.C., Johnson J.E. 2000. Understanding the Science Behind Riparian Forest Buffers: Effects on Water Quality. US EPA. Publication 420-151.

Large A.R.G., Petts G.E. 1996. River Restoration. Edit Geoffrey Petts, Meter Calow. Oxford. Blackwell Science.

Lott, E., Bullock S., Solís-Magallanes, A., 1987. Floristic diversity and structure of Upland and Arroyo forests of coastal Jalisco. *Biotropica* 19, 228-235.

Mass J. M., C.F. Jordan y Sarukhán. 1988. Soil erosion and nutrient loss in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques. *Journal of Applied Ecology*. 25:595-607.

Maass J.M. y García-Oliva.1990. Intercepción de lluvia por el dosel en una comunidad tropical. *Ingeniería Hidráulica en México*. Segunda época. 2:38-43.

Maass, J.M., V. Jaramillo; A Martínez-Yrizar; F. García Oliva; J. Sarukhán.1994. The Chamela Watershed Project. Instituto de Ecología, UNAM. México. Folleto de Divulgación.

Maass J. M. 1995. Tropical deciduous forest conversion to pasture and agriculture. En: Seasonally Dry forest. Bullock, S; H. Mooney, E Medina (Eds). Cambridge University Press, pp 399-422.

Maass, J.M: y V. Jaramillo., A. Martínez-Yrizar, F. García-Oliva, A. Pérez-Jiménez y J. Sarukhán. 2002. Aspectos funcionales del ecosistema de Selva Baja Caducifolia en Chamela, Jalisco, México. En F.A: Noguera, J.H: Vega, A.N. García-Aldrete y

Quesada, M. (Eds). Historia Natural de Chamela. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. pp 525-542.

Maass J. M. 2003. El agua como elemento integrador de los procesos funcionales del ecosistema. En: P. Avila (Ed) "Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI. Colegio de Michoacán. IMTA y SUMA. México. pp 109-116.

Martínez T, S., 2007. La agregación del suelo como indicador de calidad en un ecosistema tropical seco. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Meléndez de la Cruz J.F., 1999. Hidrogeografía de la Cuenca del Río Cuitzmala, Jalisco. Tesis Maestría. Facultad de Filosofía y letras. UNAM. México. 134 pp.

Mooss B. 1988. Ecology of fresh waters. 2nd ed. Blackwell Science. Great Britain. 417 pp.

Murphy, P.G. y A. E. Lugo. 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematic*. 17:67-88.

Murphy, P.G. y A. E. Lugo. 1995. Dry forest of Central America and the Caribbean. P 9-34. In: Bullock, S.H., H. A. Mooney y E. Medina (Eds.). *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press, Cambridge. 450 pp.

Novotny V., Bartosova A., O'Reilly N., Ehlinger T. 2005. Unlocking the relationship of biotic integrity of impaired waters to anthropogenic stress. *Water Research* (39), 184-198.

Ormerod S.,J. 2004. A golden age of river restoration science?. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*. 14: 543-549.

Palmer, M.A., R. Ambrose, and N.L. Poff. 1997. Ecological theory and community restoration ecology. *Journal of Restoration Ecology* 5:291-300.

Payne A.I. 1986. The ecology of Tropical Lakes and rivers. John Wiley and Sons. Great Britain. Pp 301.

Petts G. y Calow P. 1996. River restoration. Ed Blackwell Science. Oxford. 231 pp.

Peters N.E. 2000. Water quality degradation effects on freshwater availability: impacts of human activities. *International Water Resources Association*. (25) 185-193.

Pujadas A.B. 2003. Comunicación y participación social en el programa de ordenamiento ecológico territorial de la costa de Jalisco y la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala. Tesis Maestría. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

SER. 2002. The SER Primer on Ecological Restoration. Society for Ecological Restoration Science & Policy Working Group. 2002. www.ser.org/.

STATGRAPHIC. 1999. STATGRAPHIC Plus for windows Versión 4. Satiscal Graphics Corp.

USEPA. 1997. Monitoring Water Quality. EPA.841-B-97-003.

Waite T. D: 1984. Principles of water quality. Academic Press Inc. Florida. 289 pp.

ANEXO I. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

| SITIO | LOCALIDAD | COORDENADAS (UTM) | DESCRIPCION |
|-------|----------------------|------------------------|---|
| S1 | EL SALTO | X 0531400 Y 2190178 | Presencia de cascada, selva mediana, potreros, roca madre con presencia de cuarzo, presencia de algas café, presencia de canto rodado |
| S2 | LA ECA | 0528598 2188960 | presencia de asentamientos humanos, potreros, agricultura de maíz, pastizal, vegetación riparia, roca con cuarzo, río con presencia de arenas. |
| S3 | RIOJIROSTO | 0524440 2176090 | potreros, olor a amonio, presencia de sólitos totales disueltos, hojarasca, material de construcción de carretera, canto rodado, arenoso, presencia de algas. |
| S4 | RIO SAN MIGUEL | 0527576 2176536 | Paralelo a la carretera, presencia de pastizales y ganadería, vegetación acuática y algas, basura inorgánica, contacto primario, bombeo de pipas, flujo estancado en puente. |
| S5 | GUAMUCHAL | 0510047 2154996 | Selva alterada, cultivos de maíz, canto rodado, zona de inundación, arena-arcilla, presencia de ganado, material fecal de ganado en río. |
| S6 | RESERVA CUITZMALA | 0501248 2142576 | en RBCC, bombeo de agua para riego, presencia de lirio, vegetación riparia, sedimento fino, desembocadura del río cerrado. |
| S7 | DESEMBOCADURA | 0500651 2140675 | Desembocadura del río Cuitzmala |
| P1 | CAREYES | 0502311 2144535 | Abastecimiento a turismo, 6m nivel del agua, toma de muestra de pozo 2, monitoreos mensuales, 1 Km del mal, palmas, limpieza de bomba cada 6 meses, cuando no hay cloro no se distribuye. |
| P2 | FRANCISCO VILLA | 0503310 2143687 | Ausencia de proceso de cloración, cultivos y caseríos cerca del pozo, falta de bomba para abastecer. |

ANEXO II. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

| Parámetro | SECAS (MAYO) 2004 | | | | | | | | | | LLUVIAS (NOVIEMBRE) 2004 | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|-------|-------|-------|--------|--------|----|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| | SITIOS DE MUESTREO | | | | | | | | | | SITIOS DE MUESTREO | | | | | | | | | |
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | P1 | P2 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | P1 | P2 | | |
| Temperatura °C | 25.0 | 28.6 | 29.4 | 31.5 | 30.3 | 28.0 | ND | 27.5 | 27.5 | 21.8 | 24.4 | 26.2 | 26.4 | 28.8 | 29.1 | 31.1 | 28.6 | 28.2 | | |
| pH | 7.60 | 8.49 | 8.76 | 8.88 | 8.72 | 7.71 | ND | 7.34 | 7.30 | 7.82 | 7.92 | 8.60 | 8.10 | 8.00 | 8.14 | 7.80 | 7.15 | 7.31 | | |
| Conductividad μS/cm | 51.0 | 161.0 | 251.0 | 434.0 | 320.0 | 307.0 | ND | 251 | 444 | 31.4 | 61.6 | 152.6 | 192.5 | 221.8 | 221 | 502.0 | 273 | 465 | | |
| Oxígeno Disuelto mg/L | 2.14 | 2.75 | 3.53 | 5.11 | 5.00 | 2.46 | ND | 1.42 | 5.26 | 8.57 | 7.01 | 6.06 | 5.81 | 7.71 | 7.10 | 7.00 | 2.05 | 3.88 | | |
| Salinidad PSS | 0.03 | 0.08 | 1.44 | 0.21 | 0.15 | 0.15 | ND | 0.12 | 0.22 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.20 | | |
| Fósforo total mg/L | 0.460 | 0.700 | 0.370 | 0.750 | 0.400 | 0.470 | ND | 0.900 | 0.620 | 2.190 | 1.160 | 0.695 | 2.775 | 0.550 | 2.100 | 1.035 | 1.465 | 1.895 | | |
| Ortofosfatos mg/L | 0.165 | 0.200 | 0.080 | 0.610 | 0.545 | 0.570 | ND | 0.350 | 0.800 | 0.100 | 0.200 | 0.950 | 0.295 | 0.240 | 0.535 | 0.355 | 0.370 | 0.760 | | |
| Nitrógeno total mg/L | 0.900 | 0.650 | 0.700 | 0.600 | <0.500 | <0.500 | ND | 0.900 | 1.400 | 0.500 | 0.150 | 0.300 | 0.850 | 0.500 | 1.250 | 1.850 | 1.950 | 3.200 | | |
| Amonio mg/L | 0.020 | 1.330 | 1.200 | 0.250 | 0.155 | 0.020 | ND | 0.010 | 0.010 | 0.015 | 0.020 | 0.025 | 0.060 | 0.105 | 0.080 | 0.105 | 0.050 | 0.65 | | |
| Nitritos mg/L | 0.002 | 0.300 | 0.008 | 0.008 | 0.004 | 0.006 | ND | 0.004 | 0.004 | 0.003 | 0.014 | 0.003 | 0.011 | 0.000 | 0.002 | 0.003 | 0.000 | 0.004 | | |
| Nitratos mg/L | 0.010 | 0.006 | 0.025 | 0.020 | 0.020 | 0.700 | ND | 0.950 | 0.080 | 0.020 | 0.003 | 0.020 | 0.010 | 0.010 | 0.035 | 0.010 | 0.025 | 0.065 | | |

ANEXO III. BACTERIAS INDICADORAS DE CONTAMINACIÓN FECAL EN ÉPOCA DE SECAS Y LLUVIA

| Sitio | Secas 2004 | | | | Lluvias 2004 | | | |
|-------|-------------|-------|------|--------|--------------|------|-------|--------|
| | CF | CT | EF | Vibrio | CF | CT | EF | Vibrio |
| | UFC/ 100 mL | | | | UFC/ 100 mL | | | |
| S1 | 346 | 27 | <1 | 1496 | 383 | 282 | 13249 | <1 |
| S2 | 3888 | 64500 | 2828 | 5291 | 3240 | 2000 | 6179 | 200 |
| S3 | 1095 | 390 | 1549 | 4040 | 3464 | 2612 | 3749 | <1 |
| S4 | 2049 | 5550 | 3487 | 7483 | 1414 | 2787 | 14000 | 245 |
| S5 | 384 | 2350 | 619 | 2645 | 600 | 1240 | 2090 | 134 |
| S6 | 149 | 2950 | 134 | 419 | 600 | 295 | 354 | 5000 |
| S7 | ND | ND | ND | ND | 400 | 1341 | 1396 | 3934 |
| P1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | 8 | <1 | 4898 |
| P2 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | 11 | <1 | <1 |

CF: Coliformes fecales; CT: Coliformes totales; EF: Enterococos fecales y ND: No Datos

FE DE ERRATAS

La página 36 no contiene texto debido a un error de edición y formato. Se presenta continuidad en el texto de la página 35 a la página 37.