

**ZAMORANO  
CARRERA DE DESARROLLO  
SOCIOECONOMICO Y AMBIENTE**

**Evaluación de la calidad, cantidad de agua y  
posibles fuentes de contaminación de la  
microcuenca El Zapotillo.**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero Agrónomo en el grado  
Académico de Licenciatura.

presentado por

**Juana María Vega Núñez**

**Zamorano, Honduras**  
Diciembre, 2000

## **NOTA DE PRENSA**

### **BARRIO ARRIBA CONSUME AGUA CONTAMINADA CON COLIFORMES**

El agua natural, elemento acuoso primitivo, rico en minerales, fue el escenario donde se generaron las primeras moléculas que evolucionaron hasta convertirse en organismos vivientes. Desde entonces la vida, en cierto sentido, nunca se ha separado del agua.

Los parámetros como: turbidez, coliformes fecales, coliformes totales, pH, oxígeno disuelto, temperatura y dureza, constituyen elementos primarios en la evaluación y monitoreo de la calidad del agua.

En la comunidad del Barrio Arriba, municipio de Güinope, se realizó un estudio involucrando estos parámetros en el análisis de las fuentes naturales de agua, caja de recolección, tanque de distribución y llaves domiciliarias localizadas en la comunidad. El período de muestreo comprendió los meses de marzo a octubre, realizando las evaluaciones cada semana durante la época de verano y cada dos en invierno. Parámetros como oxígeno disuelto y temperatura fueron analizados directamente en el campo y el resto en el Laboratorio de Agua de Zamorano.

Los parámetros que presentaron valores superiores a los recomendados en la época de verano fueron coliformes fecales y totales; durante la época de invierno: turbidez, coliformes fecales y totales.

Por lo anterior se puede concluir que el agua necesita de un proceso de desinfección eficiente para convertirla en apta para el consumo humano y a la vez es necesario implementar medidas de protección de suelos para evitar altos niveles de turbidez.

## RESUMEN

Vega, Juana. 2000. Evaluación de la calidad, cantidad y fuentes de contaminación del agua de la microcuenca El Zapotillo. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras, 40 p.

Los manantiales son una fuente idónea de agua, que en la mayoría de los casos goza de excelente calidad. Sin embargo, los efectos de la degradación de los recursos naturales inciden sobre la calidad y cantidad del agua representando así el principal obstáculo para su consumo humano. El objetivo del estudio fue determinar si el agua proveniente de los manantiales de la microcuenca El Zapotillo es apta para el consumo de la comunidad de El Barrio Arriba, en el municipio de Güinope. Para la evaluación de la calidad del agua se analizaron los siguientes parámetros: dureza, coliformes fecales, coliformes totales, pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto y nitritos. La cantidad de agua que ingresa a la microcuenca fue evaluada con un pluviómetro y la que sale midiendo el caudal de los manantiales. Las fuentes de contaminación fueron registradas mediante talleres con la comunidad, inspección visual y con los resultados de los parámetros utilizados para evaluar la calidad del agua. Las muestras fueron obtenidas de manantiales, caja recolectora, tanque de distribución, llaves domiciliarias y la quebrada, para las cuales se aplicaron pruebas de dureza, coliformes fecales, coliformes totales, nitritos y pH en el laboratorio, mientras que la temperatura y oxígeno disuelto fueron analizados en el campo. El período de muestreo comprendió la época seca (marzo a mayo) en donde se muestreo semanalmente y la época lluviosa (junio a octubre) cuyo intervalo entre muestreo fue de dos semanas. El diseño estadístico fue completamente al azar y para el análisis de los datos se utilizó un análisis de varianza y separación de medias. Los resultados obtenidos indican que existen diferencias en las épocas para todos los parámetros en todos los sitios. El promedio anual de turbidez fue 4.69 unidades nefelométricas, coliformes fecales 131.62 unidades formadoras de colonias, coliformes totales 128.72 unidades formadoras de colonias, pH de 6.28, oxígeno disuelto 7.82 mg/l, temperatura 18.75 °C y dureza 263.50 mg/l de CaCO<sub>3</sub>. La sumatoria del caudal en los manantiales fue de 9.90 L/seg y 240.53 mm para la precipitación. Las fuentes de contaminación encontradas fueron de origen orgánico. Los niveles de dureza, oxígeno disuelto, la temperatura y pH se situaron dentro de los valores permitidos para el agua potable. Sin embargo, el agua no es apta para consumo debido a que la turbidez, coliformes fecales y totales están por encima del límite recomendado. Esto probablemente se debió al estado degradado de la cubierta vegetal. Se concluye que es necesario clorar el agua, para que pueda ser consumida sin ningún riesgo a la salud humana.

**Palabras claves:** Calidad del agua, manantiales, microcuenca, Zamorano.

## CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Resumen.....	vi
	Nota de prensa.....	vii
	Contenido.....	viii
	Índice de cuadros.....	xi
	Índice de figuras.....	xii
	Índice de anexos.....	xiv
1.	<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.1.1	General.....	2
1.1.2	Específicos.....	2
2.	<b>REVISION DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1.	CICLO HIDROLOGICO.....	3
2.2.	CUENCA HIDROGRAFICA.....	4
2.2.1.	Objetivo del manejo de una microcuenca.....	4
2.3.	PROCESO DE INFILTRACION.....	4
2.3.1.	Aguas subterráneas.....	4
2.3.2.	Manantiales.....	4
2.3.3.	Aguas superficiales.....	4
2.4.	CRISIS DEL AGUA.....	5
2.5.	CALIDAD DEL AGUA.....	5
2.6.	PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA.....	5
2.6.1.	Turbidez.....	5
2.6.2.	Bacteriología.....	6
2.6.3.	pH.....	7
2.6.4.	Nitritos y nitratos.....	7
2.6.5.	Oxígeno disuelto.....	7
2.6.6.	Temperatura.....	8
2.6.7.	Dureza.....	8
2.6.8.	Análisis de plaguicidas.....	9
2.6.8.1.	Población expuesta a plaguicidas.....	9
2.6.8.2.	Contaminación del agua.....	9
2.7.	CAUDAL.....	9
2.8.	CONTAMINACION.....	10
2.8.1.	Contaminación puntual.....	10
2.8.2.	Contaminación no puntual.....	10

3.	<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	11
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO.....	11
3.2.	LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO.....	11
3.3.	DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO.....	11
3.3.1.	Manantial 1.....	12
3.3.2.	Manantial 2.....	12
3.3.3.	Manantial 3.....	12
3.3.4.	Manantial 4.....	12
3.3.5.	Manantial 5.....	12
3.3.6.	Caja recolectora.....	12
3.3.7.	Tanque de distribución.....	13
3.3.8.	Llave 1.....	13
3.3.9.	Llave 2.....	13
3.3.10.	Quebrada .....	13
3.4.	PERIODO Y FRECUENCIA DE MUESTREO.....	13
3.5.	RECOLECCION DE MUESTRAS.....	13
3.6.	PARÁMETROS ANALIZADOS.....	14
3.6.1.	Turbidez.....	14
3.6.2.	pH .....	14
3.6.3.	Dureza.....	14
3.6.4.	Oxígeno disuelto y temperatura.....	14
3.6.5.	Coliformes fecales.....	15
3.6.6.	Coliformes totales .....	15
3.6.7.	Nitritos y nitratos.....	15
3.6.8.	Análisis de plaguicidas.....	15
3.7.	CAUDAL.....	15
3.8.	FUENTES DE CONTAMINACION.....	15
3.9.	ANÁLISIS ESTADISTICO.....	16
4.0.	<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	17
4.1.	MANANTIALES.....	17
4.1.1.	Turbidez.....	17
4.1.2.	Coliformes fecales.....	20
4.1.3.	Coliformes totales.....	23
4.1.4.	pH.....	26
4.1.5.	Oxígeno disuelto.....	28
4.1.6.	Temperatura.....	31
4.1.7.	Dureza.....	33
4.1.8.	Análisis de plaguicidas.....	36
4.1.9.	Nitritos y nitratos.....	36
4.1.10.	Caudal.....	36

4.1.10	Precipitación.....	37
4.1.11	Fuentes de contaminación.....	37
4.2	Guías base para la elaboración de un plan de manejo.....	37
5.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	41
6.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	42
7.	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	43
8.	<b>ANEXOS</b> .....	45

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde su origen en el agua, la vida ha utilizado ese líquido como medio de disolución y de transporte interno de los elementos y sus combinaciones, que son necesarios para el desarrollo vital de los organismos (Holdridge, 1987). Es por ello que se define al agua como un compuesto químico de características físicas específicas esencial para la vida.

Por lo general se acepta que aproximadamente el 97% del agua total del mundo está contenida en los océanos, aunque el volumen real del agua en estos depósitos no se conoce con precisión. Del 3% de las existencias mundiales del agua dulce, unas tres cuartas partes están congeladas. El resto se sitúa en ríos, lagos y depósitos subterráneos, ésta se encuentra disponible solo en un 0.05% de las existencias mundiales de agua. Sin embargo este pequeño porcentaje equivale a aproximadamente a 500,000 kilómetros cúbicos (Pritchett, 1986).

El proceso de contaminación del agua se define como el cambio producido en las propiedades físicas, químicas y biológicas, producto de las actividades humanas y perturbaciones de origen natural, haciéndola cada vez menos accesible para el consumo humano.

Las aguas superficiales pueden ser contaminadas por el vertido de ciertos efluentes cargados de sustancias orgánicas, en particular al atravesar las aglomeraciones. Estas sustancias, absorbiendo el oxígeno disuelto del agua y provocando la destrucción de la vida animal y vegetal y la formación de fermentaciones pútridas (Cauvin y Didier, 1964).

A escala universal, la contaminación del agua es la causa de un número mayor de enfermedades humanas que cualquiera otra influencia ambiental. Las enfermedades transmitidas por el agua se deben principalmente a organismos y parásitos (Turk et al, 1981).

De acuerdo con el Programa de Monitoreo Mundial de la Calidad del Agua, los cursos de agua en América Latina reciben una alta descarga de bacterias y materia orgánica. Se estima que, en promedio los niveles de bacterias de origen fecal son del orden de mil por cada cien mililitros. También es evidente la presencia de virus, un gran número de protozoarios y huevos de helmintos (parásitos) (Esperanza, 1995).

Debido a los problemas de contaminación es necesario la búsqueda de fuentes abastecedoras de agua que nos permitan obtener agua de excelente calidad para el consumo humano, sin afectar las condiciones de l medio. En ese sentido es necesario la elaboración e implementación de proyectos y políticas orientados hacia la protección de los recursos naturales con enfoque en el manejo integral de los recursos naturales.

Zamorano siendo una institución educativa y comprometida con el desarrollo de la región del Yeguaré ha realizado investigaciones con el propósito de implementar programas y

proyectos orientados a mejorar las condiciones socioeconómicas y ambientales de la región.

La implementación del proyecto UNIR desde 1996 y del proyecto PROCUENCAS desde 1997 en la región del Yeguaré han sentado las bases para el manejo sostenible de los recursos naturales. Estas iniciativas han permitido la identificación de áreas críticas y vulnerables a un deterioro acelerado. Producto de ello se han elaborado programas que permitan tomar acciones para reducir y/o minimizar el acelerado proceso de degradación de los recursos naturales en la región.

Las condiciones sociales y económicas conocidas a través de la participación de las comunidades de la región, son fundamentales para la planificación de actividades encaminadas a mejorar las condiciones ambientales, pues se entienden mejor las relaciones causales que generan la problemática (Rodríguez, 1999).

El presente estudio se realizó con los siguientes objetivos:



## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 General**

Realizar un estudio de línea base de la calidad y cantidad de agua en la microcuenca de El Zapotillo.

### **1.1.2 Específicos:**

1. Diseñar e implementar un plan de línea base para el monitoreo de la calidad y cantidad de agua de la microcuenca.
2. Determinar participativamente las condiciones ambientales de la microcuenca que pudieran incidir en la calidad y cantidad del agua.
3. Determinar las posibles fuentes de contaminación del agua de la microcuenca El Zapotillo.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 CICLO HIDROLÓGICO

Según la UNESCO (2000), los rayos solares provocan en la superficie terrestre y acuática una intensa evaporación que da lugar al nacimiento de masas de vapor de agua. Este vapor de agua al encontrarse con capas de aire de temperatura menos elevada produce una condensación parcial que constituye nubes flotando en la atmósfera. Cuando estas nubes, arrastradas por los vientos, encuentran zonas todavía más frías, la condensación se completa y se producen las precipitaciones.

Según Dingman (1993), la precipitación cae en dos grandes superficies el mar y la tierra. Aquella que cae sobre la superficie terrestre se divide en tres fracciones: una que evaporándose vuelve inmediatamente al ciclo incesante del agua; otra que corre y al reunirse forma los torrentes, arroyos y ríos que desembocan en el mar y la última fracción que se infiltra en el suelo, atraviesa los terrenos permeables y se concentra en capas subterráneas que circulan sobre lechos impermeables del lugar, cuando llega a los orificios de evacuación y a los manantiales.

En todos los casos, el agua vuelve a los océanos o se evapora en la atmósfera, de tal que no haya solución de continuidad en el ciclo universal que asegura la invariabilidad del nivel del mar y la permanencia del flujo de las corrientes del agua (UNESCO, 2000). (Figura 1).

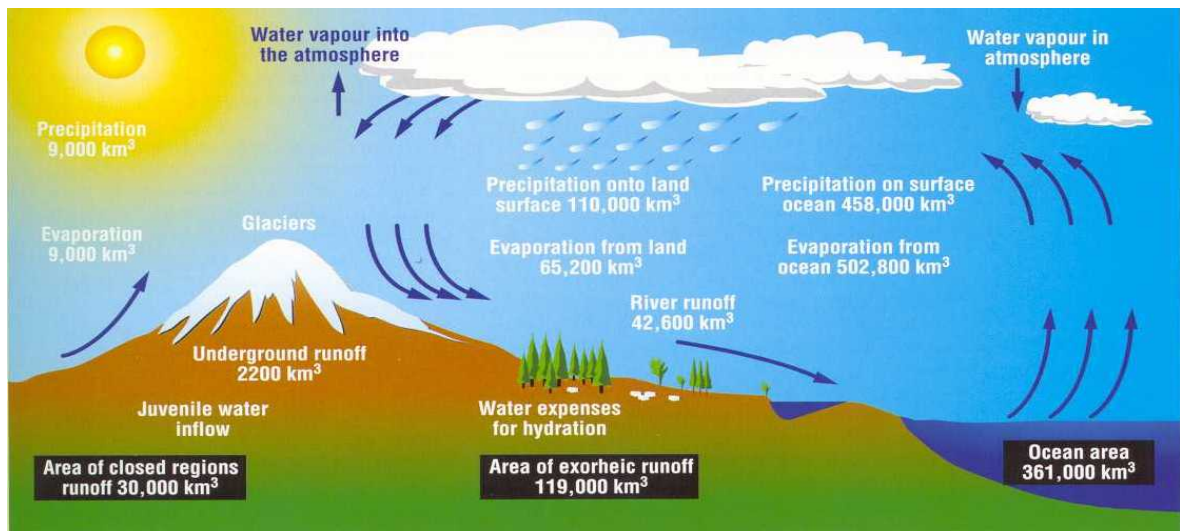


Figura 1. Diagrama del ciclo hidrológico (UNESCO, 2000).

### 2.2 CUENCA HIDROGRAFICA

En términos sencillos, una cuenca hidrográfica es un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma su curso principal de agua. La cuenca hidrográfica es la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de sistemas de cursos de agua

definida por el relieve. Los límites de la cuenca o “divisoria de aguas” se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río (Ramakrishna, 1997).

### **2.2.1 Objetivo del manejo de una cuenca**

Según Ramakrishna (1997), el objetivo principal consiste en obtener un manejo adecuado de los recursos que esta involucra, tales como agua, bosque, suelo y considerando al hombre y a su comunidad como entes importantes en el proceso.

## **2.3 PROCESO DE INFILTRACIÓN**

El término de infiltración se aplica por lo general al modo como penetra toda el agua en el suelo. La tasa de agua que penetra en el suelo se determina de manera más específica por el contenido inicial del agua, la permeabilidad de la superficie, las características internas del suelo (como son espacios porosos, el grado de dilatación de los coloides del suelo, así como el contenido de materia orgánica), la intensidad y la duración de la precipitación pluvial y la temperatura del suelo y del agua (Kramer, 1969).

### **2.3.1 Aguas subterráneas**

El agua subterránea constituye un recurso de extrema importancia como fuente de abastecimiento para agua potable, riego y uso industrial (Cirelli, 1971).

El agua subterránea es aquella que ha sido depositada en el interior de la tierra, por el proceso de infiltración a través del tiempo (Gusmán, 1977).

Según Cauvin y Diddier, (1964), las aguas subterráneas presentan generalmente un alto grado de pureza química y bacteriológica ya que sufre un proceso de filtración a través de los perfiles de suelos con baja granulometría.

### **2.3.2 Manantiales**

Según el departamento de sanidad del estado de New York (1964), son afloramientos de aguas subterráneas que puede ser provocado por la interrupción de su estrato y/o formación de fisuras, en ambas se fuerza el agua a la superficie.

### **2.3.3 Agua superficiales**

La acción de la gravedad sobre el agua, que se encuentra en la superficie del terreno, tiende a provocar su infiltración vertical. Si el terreno es impermeable o si su capacidad de infiltración se encuentra saturada, el agua se ve obligada a discurrir por la superficie según un patrón que viene determinado por el relieve (RTC, 1999)

## **2.4 LA CRISIS DEL AGUA**

Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (1999), los problemas resultantes de las deficiencias de saneamiento básico (agua potable, remoción sanitaria y basura) ya son bien visibles, bastando observar las siguientes estadísticas en los países pobres y en vías de desarrollo:

- La pobreza, combinada con los bajos índices de saneamiento básico, es responsable por la muerte de un niño cada 10 segundos. Hoy mueren 10 millones de personas/año (la mitad con menos de 18 años) por causa de dolencias que serían evitadas si el agua fuese tratada.
- El 25% de la población de los países en desarrollo no tienen acceso al agua potable y mucho menos a la red de alcantarillado.
- Y 80% de las dolencias y 33% de las muertes son debidas a la crisis de agua potable.
- El 65% de los internados en los hospitales y 80% de las consultas médicas son motivados por dolencias de vinculación hídrica.
- En los países en desarrollo (áreas urbanas) 82.5% tienen acceso a redes de agua y 63.1% a servicios de alcantarillado, pero el 70% de los pobres no tienen agua tratada y 80% están sin redes de alcantarillado.
- En 1996, la demanda mundial por agua era de 5,692 km<sup>3</sup>/año contra una oferta de 3,745 km<sup>3</sup>/año (aprovechamiento del potencial viable estimado en 14,000 km<sup>3</sup>/año).
- La oferta hídrica mundial sólo atiende a cerca de 66% de la demanda de los usos múltiples.

## **2.5 CALIDAD DEL AGUA**

El concepto de calidad de agua está estrechamente asociado con un estado de referencia, calificado como idóneo para el desarrollo de la vida en el ecosistema acuático y como óptimo atendiendo a unos criterios de aprovechamiento específicos en el marco de la relación hombre-naturaleza (IDEAM, 2000).

## **2.6 PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA**

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los constituyentes del agua tradicionalmente han servido como significado primario en el monitoreo y evaluación de la calidad del agua. Parámetros como: pH, oxígeno disuelto, dureza, nitritos, turbidez, temperatura, coliformes totales y coliformes fecales son seleccionados debido a que reflejan diferentes tipos de contaminación, tasas de procesos químicos, físicos y biológicos, los cuales determinan los usos de los cuerpos de agua (MacDonald, 1991).

### **2.6.1 Turbidez**

La turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través

de la muestra y puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos.

Según la Universidad de Tamaulipas (1999), la turbidez es de importante consideración en las aguas para abastecimiento público por tres razones:

- Estética: cualquier turbiedad en el agua para beber, produce en el consumidor un rechazo inmediato y pocos deseos de ingerirla y utilizarla en sus alimentos.
- Filtrabilidad: la filtración del agua se vuelve más difícil y aumenta su costo al aumentar la turbidez.
- Desinfección: un valor alto de la turbidez, es una indicación de la probable presencia de materia orgánica y microorganismos que van a aumentar la cantidad de cloro u ozono que se utilizan para la desinfección de las aguas para abastecimiento de agua potable (Universidad de Tamaulipas, 1999).

La turbidez se mide en término de unidades nefelométricas, para el agua potable este debe estar en un rango de 1 – 5 UNT (OPS,1995).

### **2.6.2 Bacteriología**

Las bacterias que son las más numerosas de todas las especies vivientes, son también organismos que más frecuentemente se encuentran en el agua (Moncada, 1994).

El agua puede contener muchos tipos de bacterias saprofitas provenientes del suelo; también puede contener tipos parasitarios que se descargan en el agua (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1964).

Según Moncada (1994), la razón primordial para el tratamiento de los abastecimientos del agua es la prevención de enfermedades. Para evaluar la calidad microbiológica del agua, se usan tres grupos de bacterias como indicadores de contaminación bacteriana: coliformes totales, coliformes fecales y coliformes streptococcos, los cuales no deben estar presentes en el agua.

Según la OPS (1995), en su norma para agua potable indica que no debe haber presencia de unidades formadoras de colonias por 100ml de muestra.

Las enfermedades producida por virus, bacterias o parásitos que están en los alimentos crudos o mal cocinados, y principalmente en el agua o en cualquier otro objeto que haya sido contaminado producen enfermedades a nivel gastrointestinal (NETSALUD, 1999).

Cuadro 1. Enfermedades causadas por bacterias, virus y parásitos presentes en el Agua.

Tipo de contaminación del agua	Enfermedades causadas
Bacteria	Diarreas
	Cólera
	Tifoidea
	Salmonelosis
	Disentería
	Gastroenteritis
Virus	Poliomielitis
	Hepatitis A
Parásitos	Amebiasis
	Dracunculosis
	Bilarciasis

Fuente: Adaptado de OPS (1999).

### 2.6.3 pH

La determinación del pH en el agua es una medida de la *tendencia* de su acidez o de su alcalinidad. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Un pH muy ácido o muy alcalino, puede ser indicio de una contaminación industrial. El valor del pH en el agua, es utilizado también cuando nos interesa conocer su tendencia corrosiva o incrustante (Guillén *et al*, 1999).

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+ ] \quad [1]$$

El impacto directo de este en la salud humana radica en que promueve la solubilidad de metales y afectan diversos métodos de tratamiento de agua que contribuyen a la remoción de virus, bacterias y otros organismos patógenos. El pH aceptable para el consumo humano fluctúa entre 5.0 y 9.0 (OPS, 1995).

### 2.6.4 Nitritos y nitratos

Las aguas potables deben tener bajas concentraciones de nitratos y nitritos, ya que estos absorbidos en dosis demasiado elevadas pueden ser origen de ciertas enfermedades infantiles tal como la cianosis. El aumento en el porcentaje de los nitratos y nitritos puede ser ocasionado por una contaminación de origen fecal (Cauvin y Diddier, 1964).

### 2.6.5 Oxígeno disuelto

El oxígeno es un gas soluble y su concentración en el agua se mide en partes por millón o miligramos por litro. Según Turk, *et al.* (1981), una de las causas de la disminución del oxígeno disuelto en el agua es de la contaminación por residuos orgánicos provenientes de desechos humanos y animales.

### 2.6.6 Temperatura

Según MacDonald *et al.* (1991), la temperatura es la cantidad de calor de energía radiante que hay en la atmósfera, en el agua o en la tierra, puede ser definida en términos de calor y trabajo.

Según la OPS (1995), el valor de temperatura recomendado para el agua potable debe fluctuar en un rango de 15 – 30 °C .

### 2.6.7 Dureza

La Dureza es una característica química del agua que esta determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio . La dureza es indeseable en algunos procesos, tales como el lavado doméstico e industrial, provocando que se consuma más jabón, al producirse sales insolubles. En calderas y sistemas enfriados por agua, se producen incrustaciones en las tuberías y una pérdida en la eficiencia de la transferencia de calor. Además le da un sabor indeseable al agua potable (Universidad de Tamaulipas, 1999).

Según la OPS (1995), el valor recomendado para el agua potable es de no mayor de 300 mg/l CaCO<sub>3</sub>.

$$\text{meq/l Ca}^{+2} \text{ y Mg}^{+2} = \frac{V \times N}{\text{ml de muestra}} \times 1000 \quad [2]$$

Dónde :

V=ml gastados de EDTA

N = Normalidad del EDTA

Grandes cantidades de dureza son indeseables ya que hacen al agua no apta las industrias de bebidas, lavanderías, acabados. Pertenecen a este rango los valores superiores a 300 mg/L. Los valores comprendidos entre 75 y 300 mg/L son aptas para el consumo humano (Borle, 1973).

Cuadro 2. Determinación de niveles de dureza en términos de ppm de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Dureza como $\text{CaCO}_3$	Interpretación
0-75	agua suave
75-150	agua poco dura
150-300	agua dura
> 300	agua muy dura

Fuente: Universidad de Tamaulipas (1999).

### 2.6.8 Análisis de plaguicidas

Un plaguicida es cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que intervienen en cualquier otra forma de producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, también aquellos que pueden administrarse a los animales para combatir las plagas sobre sus cuerpos (INCAP, 1990).

#### 2.6.8.1 Población expuesta a plaguicidas

Según Urrutia (1996), han agrupado a las personas que están expuestas a los efectos de los plaguicidas en dos grandes categorías: trabajadores del sector agrícola y población en general.

Los trabajadores del sector agrícola representan el grupo de más alto riesgo, con un grado de exposición en promedio del 85% (Cifuentes, 1992).

Según el INCAP (1990), los grupos poblacionales con un mayor riesgo al uso de plaguicidas son los siguientes:

- Comunidades rurales que viven cerca de donde se hacen aplicaciones aéreas o terrestres.
- Familiares de trabajadores agrícolas, especialmente niños y mujeres embarazadas.



- Comunidades rurales y urbanas donde se hacen aplicaciones domésticas o campañas de salud pública.
- Toda la población expuesta a alimentos y aguas contaminadas por residuos de plaguicidas.

### **2.6.8.2 Contaminación del agua**

La contaminación de los cursos y masas de agua por plaguicidas ocurre por la descarga de los residuos industriales y sobrantes de agua del lavado de equipos, por su aplicación directa al agua, por el desplazamiento de plaguicidas arrastrados por la lluvia hacia los cauces y las aplicaciones cerca de ríos (INCAP, 1990).

## **2.7 CAUDAL**

Según Chacón *et al* (1993), el caudal es la cantidad de unidades de volumen que pasan en un tiempo dado a través de un conducto natural o artificial.

Según Miller (1978), existen métodos directos e indirectos para la medición del flujo de agua:

- Métodos directos: consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido.
- Método indirecto: consiste en medir la velocidad del agua y el área por sección de flujo. Se calcula el flujo o caudal total a través de la sumatoria de las áreas parciales

## **2.8 CONTAMINACIÓN**

A escala universal, la contaminación del suministro de agua es tal vez causa de un número mayor de enfermedades humanas que cualquiera otra influencia ambiental. Las enfermedades transmitidas por el agua se deben principalmente a organismos y parásitos (Turk *et al.*, 1981).

### **2.8.1 Contaminación puntual**

La contaminación de fuente puntual se caracteriza por referirse al vertido de sustancias contaminantes al medio acuático a partir de puntos de emisión concretos e identificables. Los vertidos pueden ser de aguas residuales: domésticas, industriales o municipales, escorrentía urbana, fugas de depósitos, instalaciones industriales o agrícolas, lixivados de vertederos. Los riesgos que comportan vienen definidos por la sustancia contaminante en

cada caso vertido, que puede producir, desde la pérdida de potabilidad del agua, su inutilidad para determinados procesos industriales, riesgo sanitario, incidencia en la vida animal. Los riesgos anteriormente citados aumentarán o disminuirán en función de la acumulación o dispersión del contaminante y de la capacidad de la masa de agua para regenerarse (Unión Europea, 1999).

### **2.8.2 Contaminación no puntual**

La no puntual es aquella cuyo origen no puede identificarse con precisión, incluyen una o varias actividades distribuidas en un área determinada, con contribuciones particulares, a diferencia de las fuentes fijas. Estas fuentes incluyen emisiones provenientes de la actividad agrícola, pecuaria, minera, fuentes naturales, fuentes móviles, medianas y pequeñas industria y servicios. Las emisiones incluyen contaminantes como sedimentos provenientes de actividades de construcción, campos de cultivo y áreas erosionadas, agroquímicos, (pesticidas y fertilizantes), metales pesados, bacterias, etc. (RTC, 1999).

### **3. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 DESCRIPCION DEL ESTUDIO**

Se realizó una evaluación de la calidad, cantidad de agua y posibles fuentes de contaminación en fuentes abastecedoras de la comunidad del Barrio Arriba.

Los parámetros de evaluación fueron realizados a través de pruebas de laboratorios y directamente en el campo, estos fueron: oxígeno disuelto, temperatura, turbidez, pH, dureza, coliformes fecales y coliformes totales.

La evaluación de la calidad del agua se llevó a cabo directamente en los puntos de muestreos y las fuentes de contaminación fueron identificadas por medio de los parámetros evaluados, talleres realizados con la comunidad, recorrido e identificación visual de las características de la microcuenca.

El período de muestreo comprendió los meses de marzo hasta octubre, teniendo un intervalo de dos semanas. Los datos provenientes del período de muestreo fueron analizados mediante un diseño completamente al azar, con una prueba SNK para la separación de medias e interacciones entre los parámetros involucrados.

En la elaboración de un mapa de tenencia de la tierra se contó con la participación de algunos pobladores del Barrio Arriba, por ser estos los que obtienen beneficios directos de las fuentes abastecedoras de aguas.

#### **3.2 LOCALIZACION DEL ESTUDIO.**

El estudio fue realizado en la microcuenca El Zapotillo la cual se ubica en una latitud  $13^{\circ}52'18''$  y una longitud de  $86^{\circ}56'26''$  y a una elevación cuyos límites son: al norte con Güinope, al sur con el cerro de Hule, al este con la quebrada de El Capiro y al oeste con Cerro Grande (PROCUENCAS, 1998).

#### **3.3 DESCRIPCION DE LOS SITIOS DE MUESTREO**

Para el establecimiento de los sitios de muestreos se identificaron los cinco principales manantiales que abastecían a la comunidad, provenientes de la parte media y alta de la microcuenca, de los cuales algunos presentan sistemas de recolección artesanal. En la parte baja se establecieron cinco sitios de muestreos los cuales son: dos llaves arbitrarias, la caja de recolección, de distribución y la quebrada de desagüe.

Según Rodríguez (1999), el 72% de las tierras de la microcuenca constituyen tierras cultivables, por lo que las fuentes naturales de agua tienen una alta exposición a residuos de plaguicidas, humanos y animales.

### **3.3.1 Manantial 1**

El agua proveniente de este manantial es de origen subterráneo, la cual aflora a través de las grietas de una roca, no cuenta con un sistema de protección por lo que está expuesta a un sin número de agentes contaminantes. Se encuentra ubicado dentro de un bosque ralo, el cual es propiedad Santos Bacilio.

### **3.3.2 Manantial 2**

El agua proveniente de este manantial es de origen subterráneo, la cual emerge de la superficie del suelo y es recogida mediante una caja recolectora de cemento, la cual está expuesta a contaminantes externos. Se encuentra en la propiedad del señor Miguel Martínez, que en su mayoría está cultivada con café bajo sombra.

### **3.3.3 Manantial 3**

El agua de este manantial es de origen subterráneo la cual emerge de la superficie del suelo en una poza natural, no está protegida del acceso de animales, residuos orgánicos e inorgánicos. Se encuentra cultivada con plátanos y árboles de la familia leguminosa y es propiedad del señor Ediberto Núñez.

### **3.3.4 Manantial 4**

El agua proveniente de este manantial es de origen subterráneo y sale a la superficie en medio de matorrales, que brindan una ligera protección contra el acceso de animales más no así del proceso de escorrentía de la época lluviosa. Es cultivada con café, banano, plátano y naranja, propiedad del señor Santos Bacilio Núñez.

### **3.3.5 Manantial 5**

El agua emerge de la superficie en medio de una plantación de plátanos por la cual transitan personas y animales, siendo estos una fuente importante de contaminación orgánica. Es recolectada en una poza natural. Es cultivada con naranja y banano y se ubica en la propiedad del señor Cristian Salgado.

### **3.3.6 Caja recolectora**

Recolecta la mayor parte del agua proveniente de los manantiales de la microcuenca El Zapotillo. Se sitúa en la parte baja de la microcuenca, en la propiedad del señor Santos Bacilio Núñez, paralela a una quebrada, cuyas aguas son un excedente de los manantiales

anteriormente mencionados. Colecta el agua y la destina a el tanque de distribución para abastecer a la comunidad del Barrio Arriba.

### **3.3.7 Tanque de distribución**

Su función consiste en distribuir el agua hacia las diferentes casas de la comunidad. Cuenta con un compartimiento para la deposición del cloro.

### **3.3.8 Llave 1**

Está situada en la comunidad del Barrio Arriba en la propiedad de Enrique Saucedo.

### **3.3.9 Llave 2**

Se localiza en la propiedad de Darío Mejía, en la comunidad del Barrio Arriba.

### **3.3.10 Quebrada**

En este punto convergen todos los desechos provenientes de las actividades de la comunidad del Barrio Arriba, no posee tratamientos de purificación del agua por lo que contamina a otros sectores en comunidades aguas abajo.

## **3.4 PERIODO Y FRECUENCIA DE MUESTREO**

El período de muestreo para la evaluación de los parámetros de calidad y cantidad comprendió los meses de marzo a octubre. Comprendiendo marzo, abril y mayo los meses críticos de la época seca y los meses de septiembre y octubre los de máxima precipitación durante la época lluviosa existiendo entre ambas épocas un período de sequía, denominada canícula, el cual dura aproximadamente dos semanas.

## **3.5 RECOLECCION DE MUESTRAS**

Las muestras para la época de verano fueron recolectadas semanalmente en los meses de marzo, abril, mayo, los cuales constituyen el período crítico seco. Para la época lluviosa las muestras fueron recolectadas cada dos semanas en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre.

La obtención de las muestra es un aspecto determinante para la evaluación de la calidad del agua, ya que de ello dependerá la fidelidad de los resultados obtenidos. Para la

recolección de las muestras se utilizaron guantes, frascos de vidrio de 300 ml previamente esterilizados, alcohol etílico al 70%, fósforos, hielera.

La recolección en los manantiales, tanque recolector y tanque distribuidor se realizó sin perturbar el estado natural del agua, introduciendo el frasco y abriéndolo en el interior del cuerpo de agua, con el propósito de evitar cualquier contaminación externa. Las muestras recolectadas fueron identificadas y se depositaron en la hielera, con la finalidad de detener los procesos químicos, físicos y biológicos que ocurren naturalmente en el agua.

Para la recolección de muestras en las llaves se siguieron los siguientes pasos: una desinfección del interior y exterior de la llave con alcohol etílico al 70%, abrir completamente la llave durante 15 segundos, toma de la muestra.

### **3.6 PARÁMETROS ANALIZADOS**

#### **3.6.1 Turbidez**

Se determinó la turbidez del agua el mismo día que fue muestreada en cada uno de los puntos de muestreos. Para lo cual se utilizó un turbidímetro de campo, marca Del Agua, graduado de una escala de 5 a 2000 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT).

#### **3.6.2 pH**

El análisis de pH se llevó a cabo en el laboratorio de agua de Zamorano. Para cada muestra se utilizó una solución amortiguadora de pH 4.00 a 25 °C, la cual se consiguió mediante la disolución de 10.12 g de biftalato de potasio en un litro de agua destilada, y una solución amortiguadora de pH 6.86 a 25 °C, la cual se obtuvo mediante la disolución de 3.39 g de fosfato monopotásico y 3.53 g de fosfato disódico anhidrico en un litro de agua destilada. Con estas soluciones se ajustó el valor del potenciómetro para luego tomar el valor del pH del agua provenientes de las muestras.

#### **3.6.3 Dureza**

Se realizó en el laboratorio utilizando EDTA como titulante, NET como indicador y Buffer de pH 10. Para la obtención de la solución Buffer de pH 10 se disolvió 6.56 g. de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  y 57 ml de  $\text{NH}_4\text{OH}$  en agua destilada y aforar a 100 ml.

Para la obtención del indicador NET se disolvió 0.5 g de Eriocromo negro T y 4.5 g de clorhidrato de hidroxilamina en 100 ml de etanol.

Para la obtención de EDTA como titulante se disolvió 2 g de EDTA (sal disódica) más 0.05 g de  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada y aforar a 1000 ml.

Los materiales de laboratorios implementados fueron: una bureta de 25ml, un soporte universal, un agitador, un imán, biker de 100ml.

### **3.6.4 Oxígeno disuelto y temperatura**

Estos parámetros fueron examinados directamente en los puntos de muestreos, con la utilización de medidor de oxígeno y temperatura modelo 50B de la marca YSI. El oxígeno se midió en mg/l y la temperatura en °C.

### **3.6.5 Coliformes fecales**

La muestra fue analizada inmediata a su recolección, con el propósito de obtener resultados que reflejen las condiciones del medio de donde fueron extraídas.

Para el análisis se utilizaron 100 ml de muestra, membranas filtrantes (tipo de filtro 0.45  $\mu\text{m}$ , white 47 mm gridded sterile) de la marca Millipore, mFC agar deshidratado marca Difco, ácido rosólico, NaOH, una incubadora marca WTC Blinder la cual fue regulada a una temperatura de 35 °C por 24 horas con una humedad de aproximadamente 90%, un extractor, agua destilada.

### **3.6.6 Coliformes totales**

Para el análisis se utilizaron 100 ml de la muestra, membranas filtrantes (tipo de filtro 0.45  $\mu\text{m}$ , white 47 mm gridded sterile) de la marca Millipore, endo agar deshidratado de la marca Difco, una incubadora marca Revco regulada a 45 °C por 24 horas, un extractor, agua destilada.

### **3.6.7 Nitritos y nitratos**

El análisis de nitratos se realizó mediante una prueba rápida de campo, para lo cual se obtuvieron muestras directamente de las llaves domiciliarias.

### **3.6.8 Análisis de plaguicidas**

Los análisis realizados fueron: organofosforados y organoclorados, para los cuales se obtuvieron muestras provenientes de las llaves domiciliarias en la comunidad del Barrio Arriba. Para la recolección de las muestras se utilizaron frascos de vidrio de capacidad de un litro. Estas se almacenaron en una hielera a una temperatura aproximada de 5 °C, para su posterior traslado al laboratorio.

## **3.7 CAUDAL**

La medición del caudal se realizó mediante la recolección de la agua proveniente de la salida de cada manantial a través de recipientes y cajas recolectoras. Se midió el flujo proveniente de cada manantial por el tiempo en que tardó en llenarse cada recipiente. Se realizaron tres mediciones por manantial para sacar un promedio, dando como resultado el caudal final.

### **3.8 FUENTES DE CONTAMINACIÓN**

Las fuentes de contaminación fueron identificadas por medio de inspecciones visuales, en base a los parámetros analizados y talleres participativos con la comunidad.

### **3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Debido a la naturaleza del sistema de muestreo y parámetros implementado, se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), un análisis de varianza (ANDEVA), una prueba Student-Newman-Keuls (SNK), para la separación de medias e interacción entre sitio y época.



## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 MANANTIALES

Los manantiales se localizan en la parte alta y media de la microcuenca El Zapotillo, la cual se encuentra cultivada en su mayoría con café bajo sombra, granos básicos, hortalizas y plátanos (Anexo 3). El agua proveniente de estos manantiales es origen subterráneo y aflora a través de grietas en las rocas y fisuras del suelo. Estos manantiales representan la única fuente de abastecimiento de agua para la comunidad del Barrio Arriba.

#### 4.1.1 Turbidez

El valor promedio anual de turbidez expresado en UNF (unidades nefelométricas) fue de 4.23, 4.27, 6.18, 6.93 y 5.02 para el manantial 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente, obteniéndose un valor promedio total de 5.32. Este valor es superior a los obtenidos en la caja de recolección (3.98), tanque de distribución (2.87), llave 1 (1.82), y llave 2 (1.80), más no así para la quebrada la cual obtuvo un promedio anual de 8.87 UNF.

Según la OPS (1995), el valor máximo permisible para turbidez en agua potable es de 5 UNF, sobrepasando los manantiales 3, 4 y 5, al igual que la quebrada. Esto significa que el 60% de las fuentes de agua no son aptas para el consumo humano (Figura 2).

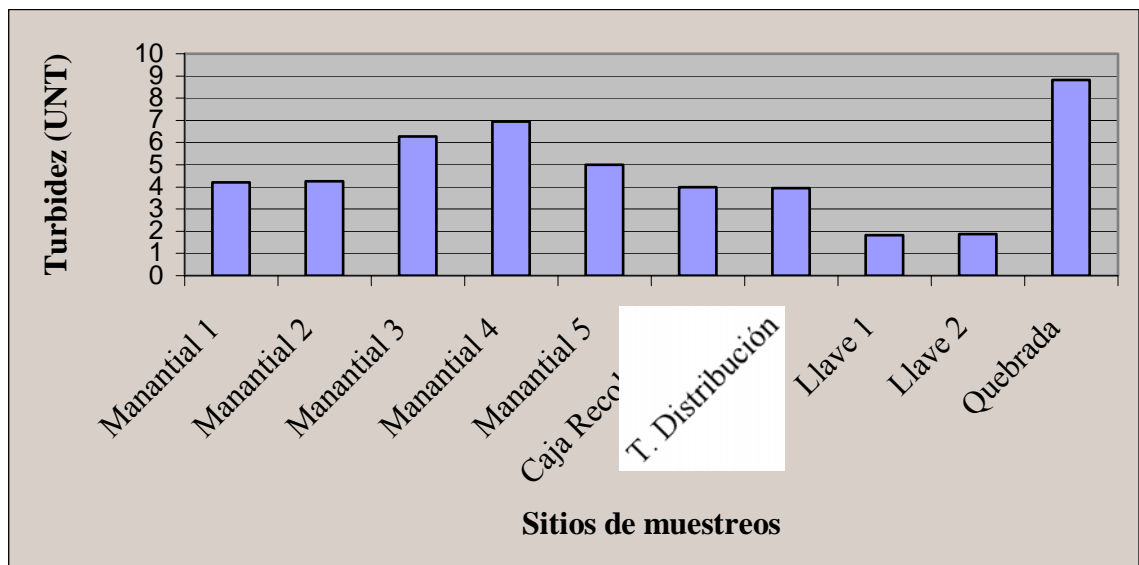


Figura 2. Valores promedios anuales de turbidez para los sitios de muestreo de la microcuenca El Zapotillo.

El modelo empleado para evaluar este parámetro presentó un excelente ajuste y una baja variabilidad en los datos. A su vez se indican diferencias significativas entre los manantiales, la caja de recolección, el tanque de distribución, la quebrada y para la interacción sitio y época (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza para la variable turbidez.

Source	DF	Type III SS	F value	Pr>F
Sitio	9	2.44	16.29	0.0001
Epoca	1	0.08	4.96	0.0278
Repetición	14	0.31	2.73	0.0115
Sitio y época	9	1.41	7.61	0.0001
Ajuste del modelo		0.0001		
R-Square		0.67		
C.V.(%)		19.42		

La quebrada presentó el mayor valor de turbidez, que al igual que el manantial 3 difieren significativamente de los manantiales 1, 2, 4, 5, la caja de recolección, el tanque de distribución, llave 1 y llave 2. A la vez se observó menor turbidez para los manantiales 4 y 5, seguidamente 1 y 2, luego la caja recolectora y el tanque de distribución y por último la llave 1 y 2, obteniendo de igual forma diferencia significativa entre estos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Separación de medias para la variable turbidez.

SNK Grouping	Medias (UNT)	Sitio
A	8.82	Quebrada
B	6.94	Manantial 4
C	6.27	Manantial 3
D	5.01	Manantial 5
E	4.20	Manantial 1
F	4.25	Manantial 2
G	3.95	T. Distribución
H	3.99	Caja recolectora
I	1.83	Llave 1
I	1.88	Llave 2

Se observó un incremento significativo en turbidez en la época de invierno en todos los puntos muestreados a excepción de la llave 1 y 2. La quebrada mostró la mayor turbidez en ambas épocas, seguida por los manantiales 5, 4, 3, 2, 1, caja recolectora, tanque de distribución, llave 2 y 1 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Interacción sitio y época para la variable turbidez.

Sitio	Epoca	Medias (UNT)	Probabilidad	Separación de medias
Manantial 1	Verano	2.22	0.0001	A
Manantial 1	Invierno	6.19	0.0001	B
Manantial 2	Verano	1.16	0.0001	C
Manantial 2	Invierno	7.34	0.0001	D
Manantial 3	Verano	4.23	0.0001	E
Manantial 3	Invierno	8.31	0.0001	F
Manantial 4	Verano	4.98	0.0001	G
Manantial 4	Invierno	8.91	0.0001	H
Manantial 5	Verano	4.02	0.0001	I
Manantial 5	Invierno	6.01	0.0001	J
Caja recolectora	Verano	3.98	0.0001	K
Caja Recolectora	Invierno	4.01	0.0001	L
T. Distribución	Verano	1.98	0.0001	M
T. Distribución	Invierno	5.93	0.0001	N
Llave 1	Verano	1.73	0.0001	O
Llave 1	Invierno	1.94	0.0001	O
Llave 2	Verano	1.69	0.0001	O
Llave 2	Invierno	2.08	0.0001	O
Quebrada	Verano	8.54	0.0001	P
Quebrada	Invierno	9.10	0.0001	Q

Los sitios que mostraron un mayor promedio de turbidez en invierno fueron la quebrada, manantial 5, seguido por los manantiales 4, 3, 2, 1. El análisis es el siguiente:

- **Quebrada:** Uno de los resultados más perjudiciales del crecimiento demográfico y malas prácticas en el manejo de desechos es la contaminación de las aguas por sedimentos y sustancias tóxicas (Gutiérrez, 1992). En este punto se unen los desechos provenientes de la comunidad y no cuenta con vegetación circundante. Por tal razón los niveles de turbidez son elevados.
- **Manantial 5:** Está cultivado con naranja y banano a bajas densidades y con una pendiente del 30 al 50%. Según Tracy y Munguía (1987), sitios con estas propiedades deben ser sometidos a medidas agronómicas y obras físicas de protección de suelo. Sin embargo en el área de ubicación de este manantial no se practica ningún sistema de protección lo cual provoca escorrentía superficial y consecuentemente un aumento en los procesos de erosión.

- **Manantial 4:** Los cultivos en esta zona son: plátano, banano y naranja en forma dispersa y según Rodríguez (1999), posee una pendiente del 0 al 12%. Estos cultivos debido a su baja densidad no permiten lograr una cobertura adecuada en estos niveles de pendiente sin sistemas de conservación de suelo. Por lo que el proceso de lavado de los suelos se hace mayor y se ve reflejado en las cantidades de sedimentos depositados en la fuente de agua.
- **Manantial 3:** Según Rodríguez (1999), este sitio tiene una pendiente del 30 al 50%. Y aunque presenta una mayor pendiente que los manantiales 4 y 5, es más eficiente en cobertura debido a la presencia de árboles leguminosos. Además está cultivado con plátanos. Sin embargo no logran una cobertura totalmente eficiente del suelo, desprotegiéndolo del impacto de las gotas de agua en la superficie del mismo. Esto conlleva a un incremento en la velocidad de los flujos de sedimentos los cuales no son amortiguados por la vegetación y son directamente vertidos en el agua. Sin embargo los niveles de turbidez son menores a los anteriormente mencionados.
- **Manantial 2:** Está cultivado con café bajo sombra y según Rodríguez (1999), se ubica en una pendiente del 30 al 50%. A pesar de no contar con obras físicas de conservación como ser drenajes presentó una mejor protección al suelo del proceso de escorrentía y como menciona Gutiérrez (1999), tal cultivo ayuda a mitigar en gran medida el proceso de lavado de los suelos. Es por ello que el nivel de turbidez fue menor a los anteriores.
- **Manantial 1:** Presentó el menor valor de turbidez. Tiene una pendiente  $>60\%$  y se localiza en bosque ralo. Como mencionan Chacón *et al.* (1993), el bosque tiene un impacto directo sobre el recurso agua ya que funciona como un amortiguador en el proceso de contaminación por sedimentos. Por tal razón presentó el menor valor de turbidez, aunque tenga la mayor pendiente en relación a los sitios señalados anteriormente.

#### 4.1.2 Coliformes fecales

El valor promedio anual de coliformes fecales en los manantiales fue de 163 UFC (Unidades Formadoras de Colonias), 11.16 UFC en la caja de recolección y tanque de distribución, 2.5 UFC en la llave 1 y 2 y 473.67 UFC en la quebrada. Se observó una reducción del 98.47% de UFC en las llaves, y un incremento del 34.4% UFC en la quebrada con respecto a las fuentes de agua. Según la OPS (1995), el valor permisible para agua potable es de cero unidades formadoras de colonias y todos los puntos muestreados presentaron valores superiores a estos (Figura 3).

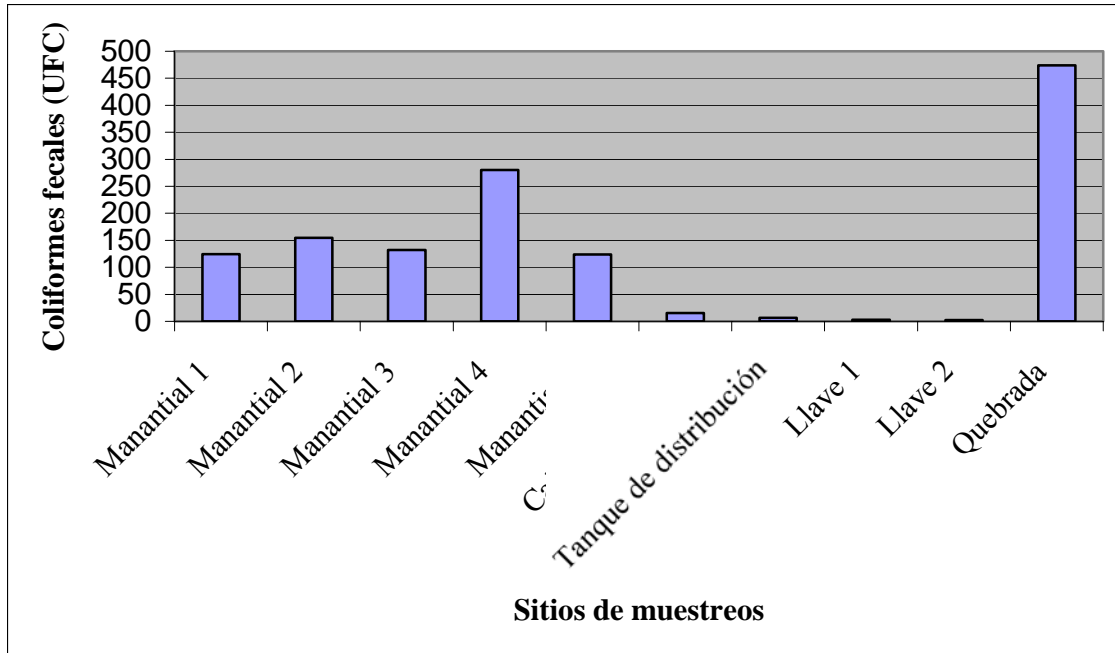


Figura 3. Valores promedio anuales de coliformes fecales para los sitios de muestreo de la microcuenca El Zapotillo.

El modelo empleado tuvo una alta adaptabilidad mostrando un ajuste del 89.42% y un coeficiente de variabilidad del 28.74%. Esto permitió encontrar diferencias significativas entre los sitios muestreados, para cada muestreo, entre época y en la interacción sitio y época (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza para la variable de coliformes fecales.

Source	DF	Type III SS	F value	Pr>F
Sitio	9	49.26	41.66	0.0001
Epoca	1	60.93	463.75	0.0001
Repetición	14	10.01	10.89	0.0001
Sitio*Epoca	9	10.57	8.95	0.0001
Ajuste del modelo		0.0001		
R-Square		0.8942		
C.V.(%)		28.74		

El mayor valor de UFC se obtuvo en la quebrada, seguida por el manantial 4, 2, 3, 1, 5, Caja recolectora, tanque de distribución, llave 1 y 2 respectivamente. Se observaron diferencias significativas entre la quebrada y el resto de puntos de muestreo. Los manantiales 3, 5 y 1 no mostraron diferencias entre si, al igual que entre la llave 1 y 2. Sin embargo se encontraron diferencias entre la caja recolectora y el tanque de distribución (Cuadro 7).

Cuadro 7. Separación de medias para la variable coliformes fecales.

SNK Grouping	Medias	Sitio
A	473.67	Quebrada
B	154.81	Manantial 2
C	280.35	Manantial 4
D	131.83	Manantial 3
D	123.66	Manantial 5
D	124.63	Manantial 1
E	15.63	Caja Recolectora
F	6.69	T. Distribución
G	2.74	Llave 1
G	2.27	Llave 2

Se observó un incremento de UFC en la época de invierno para todos puntos de muestreo. El manantial 4 mostró el mayor valor de UFC en época de invierno. Para la época de invierno la cantidad de UFC ordenadas de mayor a menor en los puntos muestreados fue la siguiente: manantial 4, quebrada, manantial 2, 3, 1, 5, caja recolectora, tanque de distribución, llave 1 y 2; mientras que para la época de verano se observó: la quebrada, manantial 3 y 5, 4, 2, 1, caja recolectora, tanque de distribución, llave 1 y 2 (Cuadro 8).

Cuadro 8. Interacción de sitio y época para la variable coliformes fecales.

Sitio	Epoca	Medias (UFC)	Probabilidad	Separación de medias
Manantial 1	Verano	0.50	0.0009	A
Manantial 1	Invierno	248.77	0.0001	B
Manantial 2	Verano	1.00	0.0001	C
Manantial 2	Invierno	308.11	0.0001	D
Manantial 3	Verano	1.33	0.0001	E
Manantial 3	Invierno	262.33	0.0001	F
Manantial 4	Verano	1.16	0.0002	G
Manantial 4	Invierno	559.55	0.0001	H
Manantial 5	Verano	1.33	0.0001	I
Manantial 5	Invierno	246.00	0.0001	J
Caja Recolectora	Verano	0.50	0.0225	K
Caja Recolectora	Invierno	30.77	0.0001	L
T. Distribución	Verano	0.16	0.2276	M
T. Distribución	Invierno	13.22	0.0001	N
Llave 1	Verano	0.16	0.2785	O
Llave 1	Invierno	5.33	0.0001	P
Llave 2	Verano	0.00	0.6412	Q
Llave 2	Invierno	4.55	0.0001	R
Quebrada	Verano	450.12	0.0001	S
Quebrada	Invierno	497.22	0.0001	S

Se observó una tendencia a que los valores fueran mayores en invierno que en verano. El manantial 4 presentó la mayor cantidad de coliformes fecales, seguido por la quebrada, manantiales 2, 3, 1, 5, caja recolectora, tanque de distribución y llaves 1 y 2. El comportamiento de coliformes totales desde la fuente de agua hacia la quebrada de salida fue el siguiente: en las fuentes de agua se encontró un valor medio anual de 163 UFC producto del proceso de contaminación que sufren las aguas debido al arrastre de residuos orgánicos. Este proceso es mayor en invierno que en verano debido al impacto que tiene la precipitación sobre el suelo.

El valor disminuyó hasta llegar a 15.63 UFC en la caja recolectora. Esto se debió al proceso de purificación bacteriana que señala Chacón *et al.* (1993), el cual consiste en la filtración de bacterias en el agua a través de los componentes y partículas del suelo, que reduce el nivel de oxígeno y sustratos a medida que avanza el proceso. Es por ello que se da la muerte bacteriana. En el tanque de distribución con respecto a la caja recolectora se observó una reducción a 6.69 UFC por la adición de cloro causando un daño a nivel de la pared celular de las bacterias.

Al llegar el agua a las llaves se observó un promedio de 2.50 UFC mostrando una ineficiencia en el proceso de cloración, cuya efectividad, está en función del tiempo que demore el agua en contacto con el cloro, el flujo de agua que ingrese al tanque de cloración, la cantidad de materia orgánica y sustancias reductoras que contenga.

La quebrada atraviesa la comunidad y a la vez funciona como un sitio de convergencia de aguas residuales por tal razón presentó un promedio de 473.67 UFC.

#### **4.1.3 Coliformes totales**

El valor promedio anual encontrado para los manantiales expresados en UFC (Unidades Formadoras de Colonias) fue de 151.29, para la caja recolectora 24.80, tanque de distribución 10.13, llaves 1 y 2 2.09 y en la quebrada 491.54. Se encontró un aumento del 30.00 % en la quebrada y disminuciones del 83.61% en la caja recolectora y 98.61% en las llaves con relación a los manantiales. A la vez se encontró una reducción del 79.36% en el tanque de recolección con respecto a las llaves. El valor permisible para agua potable es de cero unidades formadoras de colonias (OPS, 1995) (Figura 4).

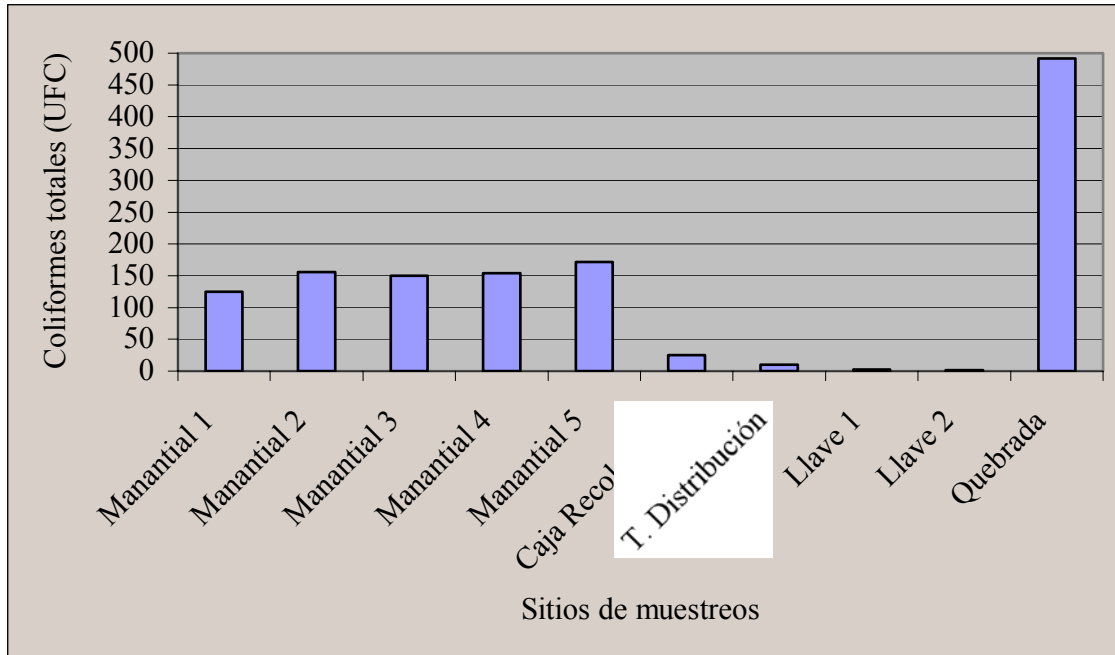


Figura 4. Valores promedio anuales de coliformes totales para los sitios de muestreo de la microcuenca El Zapotillo.

El modelo permitió encontrar diferencias significativas entre los puntos de muestreo, la época, en interacción sitio y época y en entre observaciones. Esto refleja que el experimento fue bien conducido debido a que se obtuvo un porcentaje de variabilidad bajo y un excelente ajuste (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza para la variable coliformes totales

Source	DF	Type III SS	F value	Pr>F
Sitio	9	51.49	42.35	0.0001
Epoca	1	62.21	460.37	0.0001
Repetición	14	10.38	10.98	0.0001
Sitio y época	9	11.25	9.25	0.0001
Ajuste del modelo		0.0001		
R-Square		0.8951		
C.V.(%)		28.3738		

La quebrada presentó la mayor cantidad de coliformes totales, seguido por los manantiales 5, 2, 4, 3, 1, caja recolectora, tanque de distribución, llave 1 y 2. Entre los manantiales y entre las llaves no se encontraron diferencias significativas pero si se observaron diferencias entre la caja de recolección y tanque de distribución (Cuadro 10).



Cuadro 10. Separación de medias para la variable coliformes totales.

SNK Grouping	Medias	Sitio
A	491.54	Quebrada10
B	171.99	Manantial 5
B	150.19	Manantial 3
B	156.08	Manantial 2
B	153.71	Manantial 4
B	124.50	Manantial 1
C	24.80	Caja recolectora
D	10.13	T. Distribución
E	2.10	Llave 1
E	2.08	Llave 2

Se descubrieron aumentos de UFC para la época de invierno en todos los puntos muestreados, obteniéndose el mayor valor en la quebrada. Su distribución en la época de invierno de mayor a menor fue la siguiente: quebrada, manantial 5, 4, 2, 3, 1, caja recolectora, tanque de distribución, llave 2 y 1. En la época de verano la tendencia a ser menor la cantidad de coliformes totales fue: quebrada, manantial 3, 5, 2, 1, 4, caja recolectora, caja de distribución, llave 1 y 2 (Cuadro 11).

Cuadro 11. Interacción sitio y época para la variable de coliformes totales.

Sitio	Epoca	Medias (UFC)	Probabilidad	Separación de medias
Manantial 1	Verano	1.00	0.0001	A
Manantial 1	Invierno	248.00	0.0001	B
Manantial 2	Verano	1.16	0.0001	C
Manantial 2	Invierno	311.00	0.0001	D
Manantial 3	Verano	1.83	0.0001	E
Manantial 3	Invierno	298.55	0.0001	F
Manantial 4	Verano	0.66	0.0002	G
Manantial 4	Invierno	306.77	0.0001	H
Manantial 5	Verano	1.33	0.0001	I
Manantial 5	Invierno	342.66	0.0001	J
Caja Recolectora	Verano	0.50	0.0128	K
Caja Recolectora	Invierno	49.11	0.0001	L
T. Distribución	Verano	0.16	0.3522	M
T. Distribución	Invierno	20.11	0.0001	N
Llave 1	Verano	0.33	0.182	O
Llave 1	Invierno	3.88	0.0001	P
Llave 2	Verano	0.16	0.535	Q

Llave 2	Invierno	4.00	0.0001	R
Quebrada	Verano	452.42	0.0001	S
Quebrada	Invierno	530.66	0.0001	S

Existió una relación directa entre la época de invierno y el aumento en coliformes totales. El sitio que obtuvo el mayor promedio anual de coliformes totales fue la quebrada con 491.54 UFC, seguido por los manantiales 5, 3, 2, 4, 1, caja recolectora, tanque de distribución y las llaves 1 y 2. Esta variable tuvo un comportamiento similar a la variable coliformes fecales, ya que ambas están directamente influenciadas por escorrentía superficial. De esta manera un alto conteo de UFC se dio a nivel de los manantiales disminuyendo mediante el proceso de filtración hasta la caja recolectora y desinfección en el tanque de distribución hasta finalmente alcanzar su nivel máximo en la quebrada.

#### 4.1.4 pH

El valor promedio anual de pH para los manantiales fue de 7.07 y 6.88 en la caja recolectora y tanque de distribución respectivamente. 6.75 en las llaves y 7.15 en la quebrada.(figura 5); estos valores están dentro del rango recomendado por la OMS (1995).

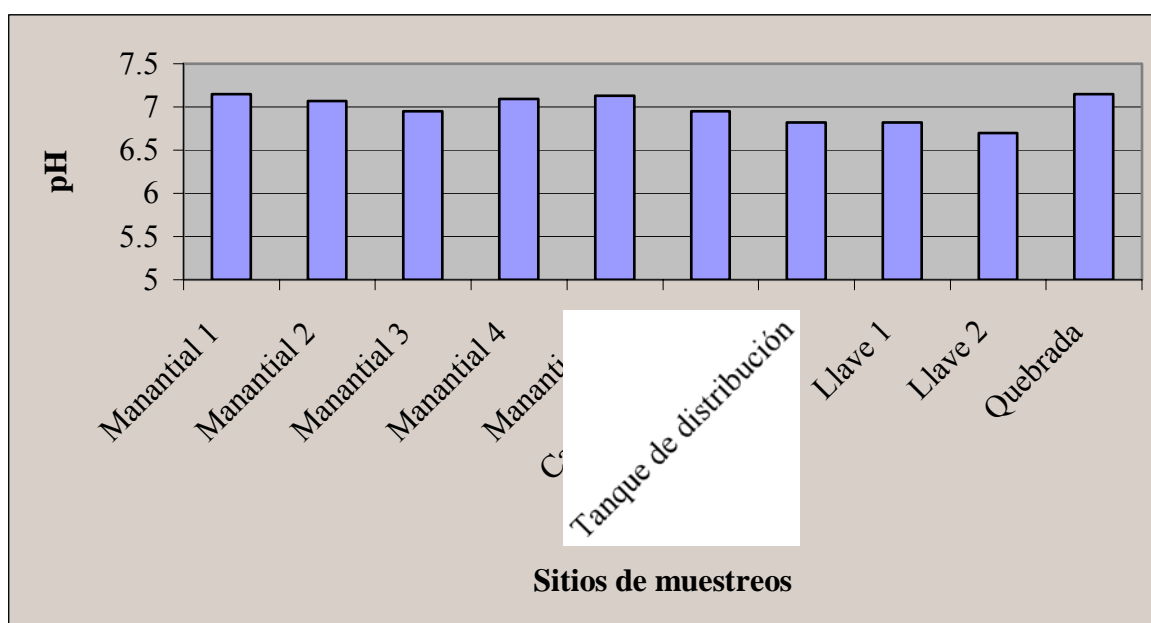


Figura 5. Valores promedio de pH para los sitios de muestreo de la microcuenca El Zapotillo.

El modelo registra diferencias significativas entre cada sitio de muestreo, la época, la interacción entre sitio y época, y entre observaciones de cada época con una baja variabilidad (CV=22%) y un ajuste del 63% (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de varianza para variable pH.

Source	DF	Type III SS	F value	Pr>F
Sitio	9	0.00076	7.31	0.0001
Epoca	1	0.00077	67.12	0.0001
Repetición	14	0.00042	5.21	0.0001
Sitio y época	9	0.00058	5.61	0.0001
Ajuste del modelo		0.00010		
R-Square		0.63000		
C.V.(%)		22.0000		

Los valores de pH se encuentran en el rango de 6.82 y 7.15, del cual la quebrada y el manantial 1 obtuvieron el mayor valor. Seguidamente los manantiales 1, 4, 5 (7.09), la caja recolectora y el manantial 3 (6.95), el tanque de distribución y la llave 1 (6.82) y por último la llave 2 con 6.70 en promedio respectivamente y a su vez son diferentes estadísticamente (Cuadro 13).

Cuadro 13. Separación de medias para la variable pH.

SNK Grouping	Medias de pH	Sitio
A	6.82	Llave 1
B	6.70	Llave 2
A	6.82	T. Distribución
C	6.95	Manantial 3
C	6.95	Caja Recolectora
D	7.07	Manantial 2
D	7.13	Manantial 5
D	7.09	Manantial 4
E	7.15	Manantial 1
E	7.15	Quebrada

Los manantiales 1, 2, 3, 4 mostraron diferencias entre la época de invierno y verano, más no así durante cada época. Entre el manantial 5, el tanque de distribución, las llave 1, 2, y la quebrada no se observaron diferencias en ambas épocas. La caja recolectora mostró diferencia entre épocas más no así con los manantiales 1, 2, 3, 4 en la época de invierno (Cuadro 14).

Cuadro 14. Interacción sitio y época para la variable pH.

Sitio	Epoca	Medias de pH	Probabilidad	Separación de medias
Manantial 1	Verano	6.85	0.0001	A
Manantial 1	Invierno	7.45	0.0001	B
Manantial 2	Verano	6.84	0.0001	A
Manantial 2	Invierno	7.31	0.0001	B
Manantial 3	Verano	6.51	0.0001	A
Manantial 3	Invierno	7.40	0.0001	B
Manantial 4	Verano	6.79	0.0001	A
Manantial 4	Invierno	7.39	0.0001	B
Manantial 5	Verano	6.87	0.0001	B
Manantial 5	Invierno	7.39	0.0001	B
Caja Recolectora	Verano	6.59	0.0001	A
Caja Recolectora	Invierno	7.31	0.0001	B
T. Distribución	Verano	6.36	0.0001	B
T. Distribución	Invierno	7.29	0.0001	B
Llave 1	Verano	6.32	0.0001	B
Llave 1	Invierno	7.28	0.0001	B
Llave 2	Verano	6.30	0.0001	B
Llave 2	Invierno	7.23	0.0001	B
Quebrada	Verano	6.71	0.0001	A
Quebrada	Invierno	7.60	0.0001	A

Se observó una tendencia a que el pH fuese mayor en la época de invierno, ya que la lluvia desplaza nutrientes con materia orgánica con residuos de materia fecal de origen animal y humano, que han sido acumulados en verano y contienen altas concentraciones de ácidos.

Los menores valores se presentaron en las llaves 1 y 2, en verano con 6.32 y 6.30 respectivamente. Estos se debió a que en verano existe un menor flujo de agua y una mayor combinación con minerales y compuestos acidificantes provenientes posiblemente de las tuberías. Aún así los mismos se encuentran dentro del rango permisible para agua potable.

#### 4.1.5 Oxígeno disuelto

El valor promedio anual de oxígeno disuelto expresado en mg/l (miligramos por litro) para los manantiales fue de 8.51, para la caja recolectora y tanque de distribución 6.80, llave 1 y 2 6.49 y en la quebrada 9.03. La quebrada presentó el mayor valor de oxígeno disuelto y el menor valor en la llave 1. Estos valores se sitúan en el rango permisible para agua potable según la OMS, (1995) (Figura 7).

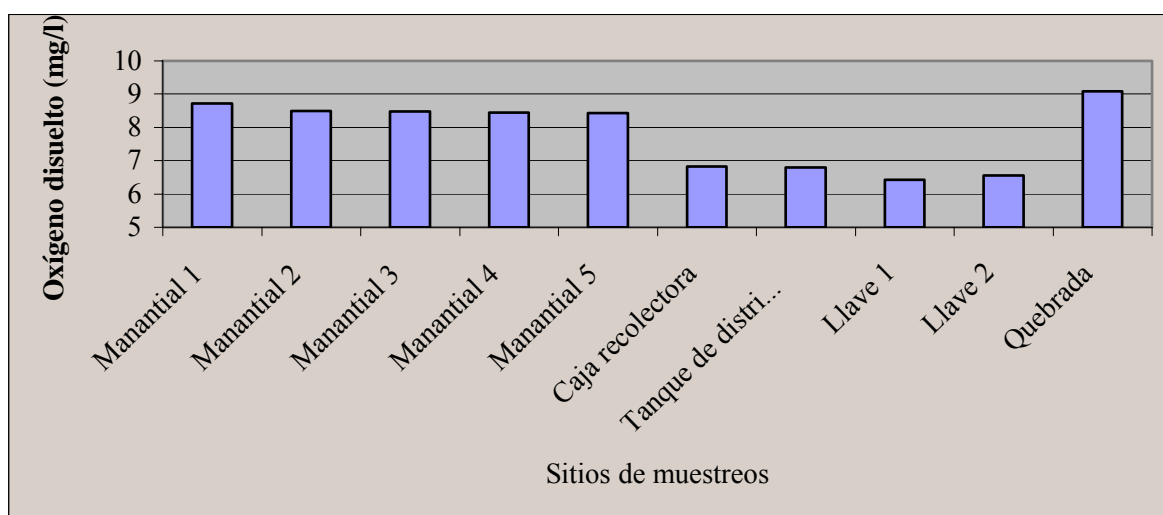


Figura 7. Valores promedio anuales de oxígeno disuelto para los sitios de muestreo de la microcuenca El Zapotillo.

El modelo fue significativo ( $P=0.0001$ ) y ajustado en un 87% e indica una variabilidad del 30%. A su vez refleja diferencias entre los sitios de muestreo, la época, la interacción sitio y época y durante el período de muestreo (Cuadro 15).

Cuadro 15. Análisis de varianza para la variable oxígeno disuelto.

Source	DF	Type III SS	F value	Pr>F
Sitio	9	0.0158	86.57	0.0001
Epoca	1	0.00061	29.48	0.0001
Repetición	14	0.00037	2.65	0.0137
Sitio y época	9	0.00051	2.76	0.0057
Ajuste del modelo		0.0001		
R-Square		0.8768		
C.V.(%)		30.23		

La quebrada mostró el mayor valor de oxígeno disuelto, este difiere del resto de puntos muestreados en donde los valores registrados fueron menores. Se observó una tendencia a que los valores de oxígeno disuelto fueran menores a partir de la quebrada, seguido por los manantiales 1, 2, 3, 4, 5, caja recolectora, tanque de distribución, llaves 1 y 2. Los manantiales 1, 2, 3, 4 y 5 no presentaron diferencias significativas, de igual forma el tanque de distribución y las llaves 1 y 2, estos a su vez difieren estadísticamente de la caja recolectora (Cuadro 16).

Cuadro 16. Separación de medias para la variable oxígeno disuelto.

SNK Grouping	Medias	Sitio
A	9.09	Quebrada
B	8.50	Manantial 2
B	8.44	Manantial 4
B	8.48	Manantial 3
B	8.43	Manantial 5
B	8.71	Manantial 1
C	6.82	Caja Recolectora
D	6.79	T. Distribución
D	6.43	Llave 1
D	6.55	Llave 2

Para los manantiales 1, 2, 3 y 4 se encontraron diferencias significativas en ambas épocas. A la vez el manantial 5, la llave 1 y 2, la quebrada, la caja recolectora y el tanque de distribución no presentaron valores estadísticamente diferentes en ambas épocas, sin embargo los dos últimos difieren con respecto a los anteriores en cuanto a concentración de pH (Cuadro 17).

Cuadro 17. Interacción de sitio y época para la variable oxígeno.

Sitio	Epoca	Medias de oxígeno	Probabilidad	Separación de medias
Manantial 1	Verano	8.21	0.0001	A
Manantial 1	Invierno	9.21	0.0001	B
Manantial 2	Verano	8.23	0.0001	A
Manantial 2	Invierno	8.77	0.0001	B
Manantial 3	Verano	8.23	0.0001	A
Manantial 3	Invierno	8.74	0.0001	B
Manantial 4	Verano	8.23	0.0001	A
Manantial 4	Invierno	8.66	0.0001	B
Manantial 5	Verano	8.31	0.0001	A
Manantial 5	Invierno	8.56	0.0001	A
Caja Recolectora	Verano	6.68	0.0001	C
Caja Recolectora	Invierno	6.96	0.0001	C
T. Distribución	Verano	6.75	0.0001	C
T. Distribución	Invierno	6.84	0.0001	C
Llave 1	Verano	6.53	0.0001	A
Llave 1	Invierno	6.34	0.0001	A
Llave 2	Verano	6.47	0.0001	A
Llave 2	Invierno	6.63	0.0001	A
Quebrada	Verano	8.80	0.0001	D
Quebrada	Invierno	9.38	0.0001	D

La quebrada presentó la mayor cantidad de oxígeno disuelto en invierno como en verano, y la llave 1 la menor cantidad en ambas épocas. Además existe una tendencia a que la concentración de oxígeno sea mayor en invierno que en verano. Esto se debe al proceso de intercambio entre el agua y el aire, el cual puede darse de dos formas: la primera es que en invierno existe mayor turbulencia, por la mayor cantidad de flujo, lo que provoca un mayor intercambio entre el agua y el aire; la segunda a la precipitación, ya que las gotas de agua al caer golpean la superficie aumentando de esta forma el área de contacto con el aire. Sin embargo en verano a razón de la materia orgánica, microorganismos existentes y un menor flujo de agua se reduce la cantidad de oxígeno disponible.

El nivel de oxígeno no tiene efecto directo en la salud humana, sin embargo es utilizado como un indicador de la calidad del agua ya que bajos niveles de oxígeno pueden deberse a altos contenidos de materia orgánica, la cual es utilizada por bacterias que se encuentran en el agua (Torres, 1997).

#### 4.1.6 Temperatura

El valor promedio anual de la temperatura para los manantiales fue de 18.48 °C, para la caja recolectora y tanque de distribución 18.67 °C, en las llaves 1 y 2 19.24 °C y en la quebrada 19.47 °C. El mayor valor registrado en promedio se presentó en la quebrada. Estos valores se sitúan dentro del rango permisible para agua potable según la OPS (1995) (Figura 8).

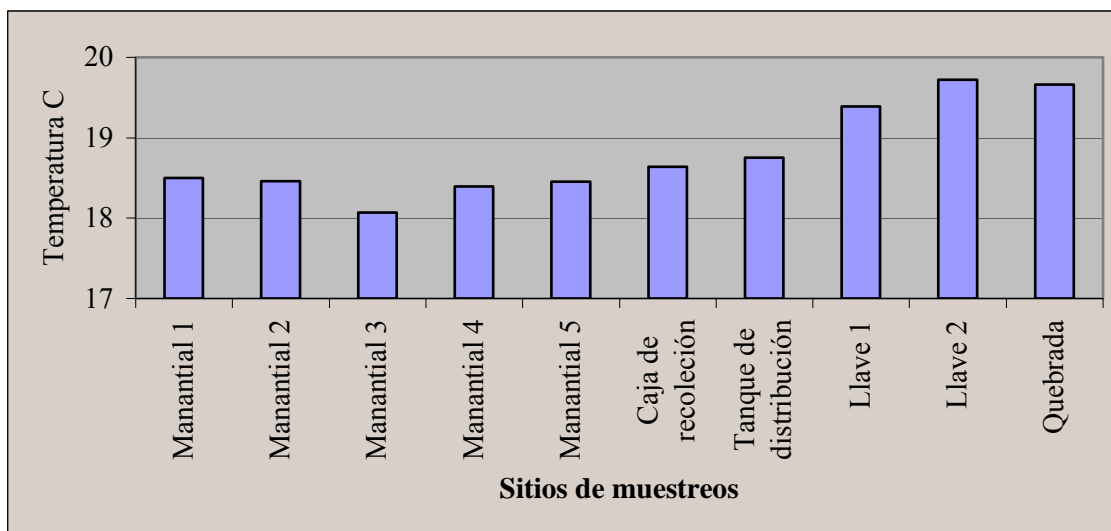


Figura 8. Valores promedios anuales de temperatura para los sitios de muestreo de la microcuenca El Zapotillo.

El modelo fue altamente significativo ( $P=0.0001$ ) y un ajuste del 64% e indica una baja variabilidad en los datos. A la vez este modelo indica que existen diferencias significativas para los sitios de muestreo, la época, en la interacción sitio y época y durante el período de muestreo ( Cuadro 18).

Cuadro 18. Análisis de varianza para la variable temperatura.

Source	DF	Type III SS	F value	Pr>F
Sitio	9	26.56	9.35	0.0001
Epoca	1	10.54	33.41	0.0001
Repetición	14	8.73	3.95	0.0001
Sitio y época	9	20.91	7.37	0.0001
Ajuste del modelo		0.0001		
R-Square		0.64		
C.V.(%)		29		

No existió diferencias significativas entre la llave 1 y 2 y quebrada, aunque la quebrada presentó el valor más alto. Sin embargo difieren del resto de sitios los cuales tienen valores menores y no difieren entre sí. A la vez existe una ligera tendencia a disminuir la temperatura a partir de la llave 1 y 2, seguidos por los sitios el tanque de distribución, caja recolectora, manantiales 5, 4, 2, 1 y en último término el manantial 3, el cual presenta la menor temperatura (Cuadro 19).

Cuadro 19. Separación de medias para la variable de temperatura.

SNK Grouping	Medias	Sitio
A	19.47	Quebrada
B	19.34	Llave 2
B	19.14	Llave 1
B	18.78	T. Distribución
B	18.56	Caja Recolectora
B	18.56	Manantial 1
C	18.56	Manantial 2
D	18.48	Manantial 5
D	18.41	Manantial 4
D	18.28	Manantial 3

No se observaron diferencias significativas en los valores promedios de temperatura en ambas épocas entre los manantiales 3 y 5, la caja recolectora, tanque de distribución y las llaves 1 y 2. Aunque estos difieren de los manantiales 1, 2 y la quebrada en ambas épocas, no presentaron diferencias (Cuadro 20).



Cuadro 20 . Interacción sitio y época para la variable temperatura.

Sitio	Epoca	Medias de temperatura (°C )	Probabilidad	Separación de medias
Manantial 1	Verano	18.52	0.0001	A
Manantial 1	Invierno	18.61	0.0001	A
Manantial 2	Verano	18.58	0.0001	A
Manantial 2	Invierno	18.54	0.0001	A
Manantial 3	Verano	18.55	0.0001	B
Manantial 3	Invierno	18.01	0.0001	B
Manantial 4	Verano	18.31	0.0001	B
Manantial 4	Invierno	18.51	0.0001	B
Manantial 5	Verano	18.44	0.0001	B
Manantial 5	Invierno	18.53	0.0001	B
Caja Recolectora	Verano	18.31	0.0001	B
Caja Recolectora	Invierno	18.83	0.0001	B
T. Distribución	Verano	18.73	0.0001	B
T. Distribución	Invierno	18.84	0.0001	B
Llave 1	Verano	18.50	0.0001	B
Llave 1	Invierno	19.78	0.0001	B
Llave 2	Verano	18.42	0.0001	B
Llave 2	Invierno	20.26	0.0001	B
Quebrada	Verano	19.03	0.0001	C
Quebrada	Invierno	19.92	0.0001	C

La cantidad de calor que se deriva del sol fluctúa debido al paso momentáneo de las nubes, al movimiento de los rayos solares a través de la cubierta forestal y a los fenómenos geológicos estacionales y anuales (Daubenmire, 1988). Por tal razón la quebrada presentó la temperatura más elevada en ambas épocas y el manantial 3 la menor en la época de invierno. Además no se observó una tendencia de la temperatura con respecto a la época de verano e invierno.

Los valores de temperaturas registrados en el agua no representan ningún peligro para la salud humana, sin embargo podrían utilizarse como un indicador de la actividad biológica del agua.

#### 4.1.7 Dureza

El valor promedio anual de la dureza expresado en mg/l de CaCO<sub>3</sub> en los manantiales fue de 255.46, en la caja recolectora y tanque de distribución 248.93, en las llaves 1 y 2 252.68 y en la quebrada 354.51, dando un promedio total anual de 277.89 mg/l de CaCO<sub>3</sub>. La quebrada obtuvo el mayor valor de dureza (354.51 mg/l CaCO<sub>3</sub>) y el menor valor fue obtenido en el manantial 4. Sin embargo ambos están dentro de los valores recomendados por la OPS, (1995) (Figura 9).

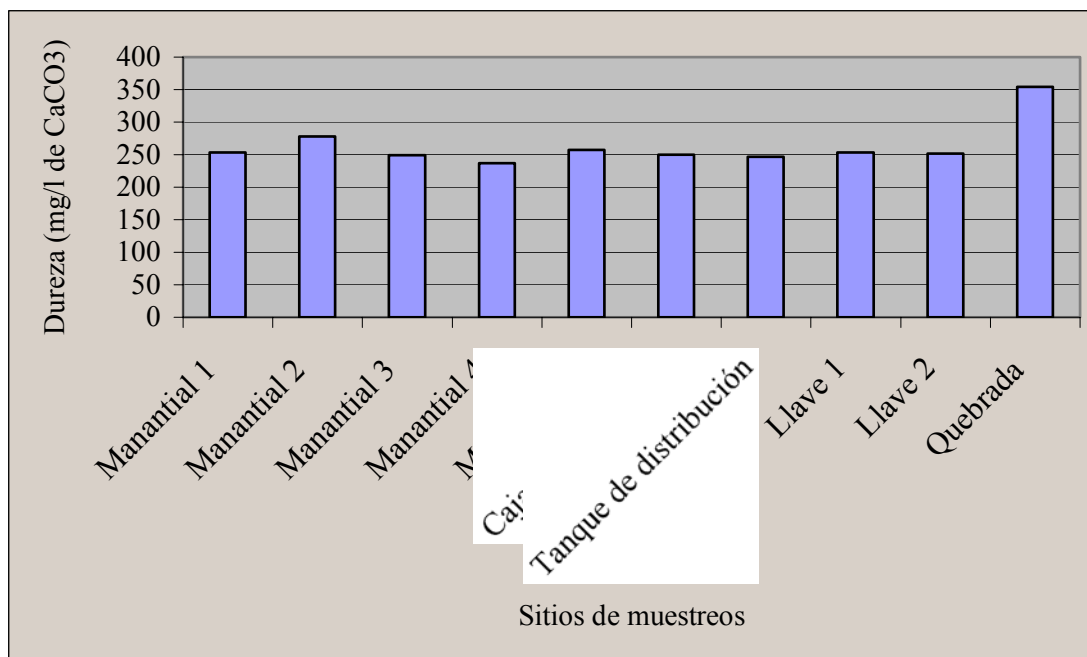


Figura 9. Valores promedio de dureza para los manantiales de la microcuenca El Zapotillo.

El modelo presentó diferencias significativas entre los puntos muestreados, la época, sin embargo no existe diferencia significativa para la interacción sitio y época y durante el período de muestreo. A su vez el modelo es significativo ( $P=0.0001$ ), representa un ajuste del 67% y un coeficiente de variación del 19.42% (Cuadro 21).

Cuadro 21. Análisis de varianza para la variable dureza.

Source	DF	Type III SS	F value	Pr>F
Sitio	9	0.0627	7.98	0.0001
Epoca	1	0.0091	10.44	0.0016
Repetición	14	0.00745	1.22	0.2981
Sitio y época	9	0.0061	0.78	0.6386
Ajuste del modelo		0.0001		
R-Square		0.67		
C.V.(%)		19.42		

La quebrada presentó la mayor concentración en promedio de dureza en mg/l de CaCO<sub>3</sub> y la menor fue obtenida en el manantial 4. No se observaron diferencias significativas entre los manantiales 1, 2, 3, 4, 5, caja recolectora, tanque de distribución y la quebrada. Sin embargo estos difieren de la llave 1 y 2, los cuales no son estadísticamente diferentes (Cuadro 22).

Cuadro 22. Separación de medias para la variable dureza.

SNK Grouping	Medias	Sitio
A	252.24	Llave 1
A	253.12	Llave 2
B	247.24	T. Distribución
B	250.63	Caja Recolectora
B	253.78	Manantial 1
B	278.44	Manantial 2
B	237.31	Manantial 4
B	257.62	Manantial 5
B	250.14	Manantial 3
B	354.51	Quebrada

En la época de verano no se observaron diferencias significativas entre los manantiales 1, 2, 5, llave 1 y 2, pero si hubo diferencia entre éstos con respecto a época de invierno a excepción del manantial 2. En ambas épocas el manantial 3, la caja recolectora, tanque de distribución y la quebrada mostraron valores similares estadísticamente. El mayor valor de dureza fue obtenido en la quebrada en verano y el menor en el manantial 4 en invierno (Cuadro 23).

Cuadro 23. Interacción de sitio y época para la variable dureza.

Sitio	Epoca	Medias de dureza (CaCO <sub>3</sub> )	Probabilidad	Separación de medias
Manantia1 1	Verano	261.05	0.0001	A
Manantia1 1	Invierno	246.54	0.0001	B
Manantia1 2	Verano	286.69	0.0001	A
Manantia1 2	Invierno	270.19	0.0001	A
Manantia1 3	Verano	254.16	0.0001	B
Manantia1 3	Invierno	246.12	0.0001	B
Manantia1 4	Verano	242.46	0.0001	B
Manantia1 4	Invierno	232.15	0.0001	B
Manantia1 5	Verano	264.12	0.0001	A
Manantia1 5	Invierno	251.13	0.0001	B
Caja Recolectora	Verano	256.13	0.0001	B
Caja Recolectora	Invierno	245.13	0.0001	B
T. Distribución	Verano	252.36	0.0001	B
T. Distribución	Invierno	242.13	0.0001	B
Llave 1	Verano	260.12	0.0001	A
Llave 1	Invierno	246.26	0.0001	B
Llave 2	Verano	261.23	0.0001	A
Llave 2	Invierno	243.25	0.0001	B
Quebrada	Verano	355.59	0.0001	C
Quebrada	Invierno	353.45	0.0001	C

El mayor valor se registró en el sitio 10 tanto en verano como en invierno y el menor valor en el sitio 4 en ambas épocas. Además existe una tendencia a que los valores sean mayores en verano que en invierno. Esto se debe a la ausencia de precipitaciones durante la época de verano que restringe el flujo de nutrientes, materia orgánica, residuos de pesticidas, materia fecal de origen animal y vegetal, los cuales contienen altas concentraciones de ácidos. Aunado a ello la tendencia del agua proveniente de los manantiales a tener altas concentraciones de iones de calcio (Ca), magnesio (Mg) y de carbonatos, lo cual provoca un aumento en el pH y en la dureza del agua (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1974).

Los valores registrados no son considerados como dañinos para la salud humana, sin embargo podrían presentar incrustaciones en la tuberías y daños al sistema de alcantarillados.

#### 4.1.8 Análisis de plaguicidas

No se encontraron sustancias que reflejen la presencia de plaguicida en la microcuenca El Zapotillo.

#### 4.1.9 Nitritos y nitratos

No se encontró residuos alguno que indique la presencia de estos metabolitos en el agua de la microcuenca El Zapotillo.

#### 4.1.10 Caudal

El promedio anual para el manantial 1 fue de 1.99 L/seg (litros por segundo), seguido por el manantial 2 con 2.05, el manantial 3 con 2.22, el manantial 4 con 1.72 y el manantial 5 con 1.96.

El valor promedio total anual de los cinco manantiales fue de 1.98 L/seg. La sumatoria del aporte de los cinco manantiales fue de 9.94 L/seg (Figura 10).

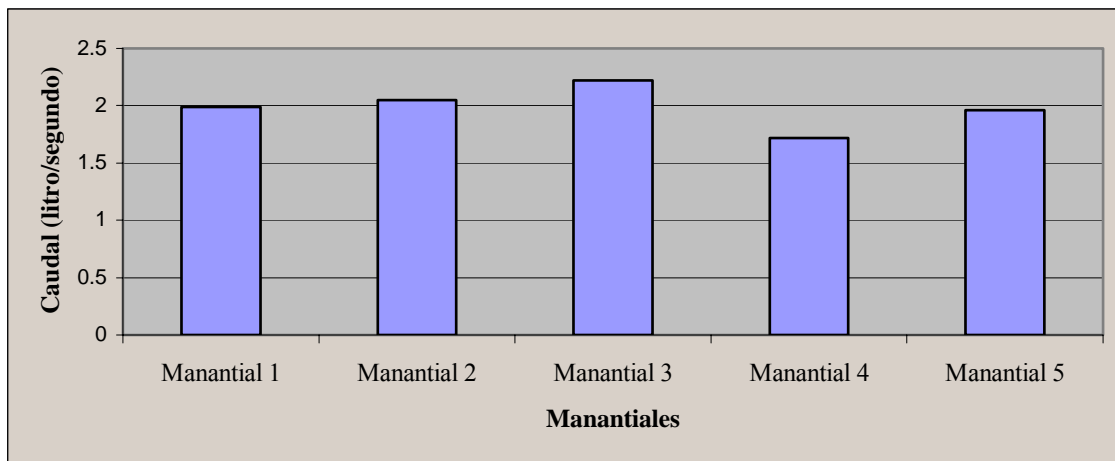


Figura 9. Valores medios anuales del caudal en los manantiales de la microcuenca El Zapotillo.

#### 4.1.11 Precipitación

La mayor precipitación se alcanzó en el mes de septiembre con 104.19 mm, seguido por octubre con 86.60 mm, luego agosto con 25.5, julio con 9.23 mm, junio con 6.91mm y finalmente mayo con 8.3 mm.

Cayeron en total 240 milímetros de precipitación en la microcuenca El Zapotillo (Figura 11).

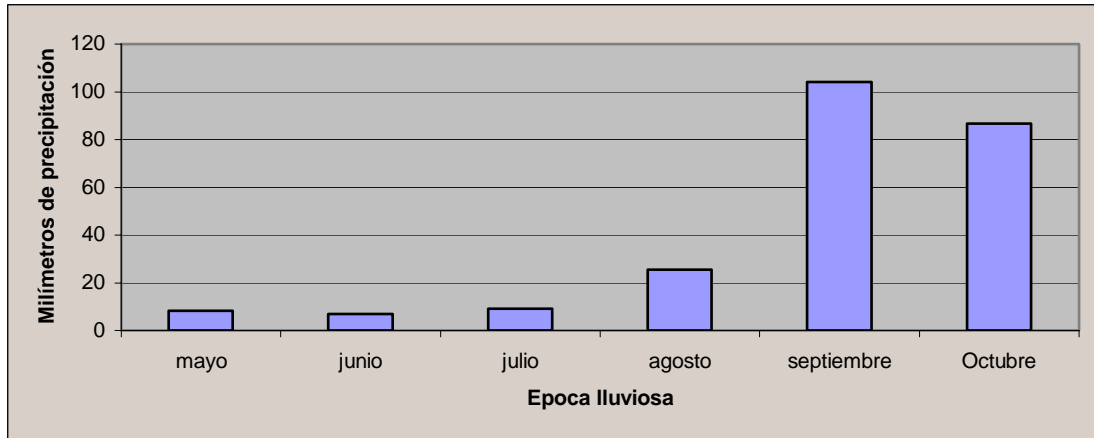


Figura 11. Valores anuales de la precipitación en la microcuenca El Zapotillo

#### 4.1.12 Fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación se obtuvieron mediante los talleres participativos, parámetros evaluados e inspección visual.

Estas fueron de origen orgánico: materia orgánica, material fecal animal y humana, desperdicios de alimentos, aguas residuales provenientes de viviendas, detergentes.

La presencia de estas fuentes de contaminación orgánica se debió al proceso de deforestación, a las malas prácticas agrícolas de la microcuenca, ya que no cuenta con una cubierta vegetal capaz de retener el sedimento proveniente del proceso de erosión y lavado de los suelos. Los altos porcentajes de pendiente que llegan hasta más de un 60%, la actividad de la crianza de animales, y la falta de letrinización en la zona provee también una alta descarga de microorganismos patógenos. Por otro lado las viviendas que se sitúan cerca de las fuentes de agua vierten los sobrantes alimenticios, detergentes y aguas residuales a lo largo del cauce principal.

#### 4.2 Guías bases para la elaboración de un plan de manejo

Se consideran alternativas relacionadas con la protección y conservación del suelo y las fuentes de agua en base a los resultados de los parámetros involucrados en la evaluación de la calidad del agua. Se hace énfasis en reducir el proceso de erosión, la degradación (física, química y biológica) del agua y en la educación de la comunidad mediante capacitaciones en el manejo del agua y desechos en el hogar.

Cuadro 24. Valores medios anuales para los sitios de muestreo de la microcuenca El Zapotillo.

En base a los resultados obtenidos para los diferentes parámetros en los sitios de muestreo de la microcuenca El Zapotillo, se puede concluir que:

Sitios de muestreo	Turbidez (UNT)	C. fecales (UFC)	C.totales (UFC)	O (mg/L)	T (°C)	pH	Dureza (mg/L)
Manantial 1	4.20	124.63	124.50	8.71	18.56	7.15	253.12
Manantial 2	4.25	154.81	156.08	8.50	18.56	7.07	278.44
Manantial 3	6.27	131.83	150.09	8.48	18.28	6.95	250.14
Manantial 4	6.94	280.35	153.71	8.44	18.41	7.09	237.31
Manantial 5	5.01	123.66	171.99	8.43	18.48	7.13	257.62
Caja recolectora	3.99	15.63	24.80	6.82	18.56	6.95	250.63
T. distribución	3.95	6.69	10.13	6.79	18.78	6.82	247.24
Llave 1	1.83	2.74	2.10	6.43	19.14	6.82	252.24
Llave 2	1.88	2.27	2.08	6.55	19.34	6.70	253.12
Quebrada	8.82	473.67	491.54	9.09	19.47	7.15	354.51

- La turbidez en los manantiales 3, 4, 5 al igual que la quebrada sobrepasaron el valor recomendado para agua potable por la OMS (1999).
- Los coliformes fecales en todos los sitios sobrepasaron el valor recomendado por la OPS (1995).
- En todos los sitios se presentaron valores superiores de coliformes totales, según la OPS (1995).
- El nivel de oxígeno disuelto estuvo dentro del rango permitido, en todos los sitios de muestreo de la microcuenca El Zapotillo.
- No se observó un cambio significativo de la temperatura a lo largo del año y a su vez se mantuvo dentro de lo establecido según las OMS (1999).
- El pH estuvo dentro del rango permitido para agua potable, según la OPS (1995).
- El agua de la microcuenca El Zapotillo se catalogó como agua dura debido a su concentración de carbonatos de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), según la Universidad de Tamaulipas (1999).

En razón a lo descrito anteriormente se establecen las guías bases de un plan de manejo para la restauración y conservación de los sitios afectados, para mitigar el efecto de contaminación por coliformes fecales y totales, y a su vez disminuir los niveles de turbidez.

Parte alta: es la más importante porque es la encargada de la producción del agua, por ello es vital el mantenimiento de la vegetación especialmente en lugares cercanos a los manantiales (Portillo, 2000). Se recomienda:

1. Capacitar a los agricultores para que utilicen obras de conservación de suelo que permitan reducir el proceso de erosión.
2. Iniciar un proceso de reforestación en las áreas más afectadas, mediante la construcción de viveros gestionados a nivel comunitario, para lograr una mayor aceptación y respaldo por los pobladores.
3. Los manantiales deberán ser protegidos del acceso de animales utilizando cercos que los delimiten.
4. Construir cajas recolectoras para cada una de las fuentes de agua con la finalidad de facilitar su limpieza, captación del agua y monitoreo.

Parte media: es la parte de la microcuenca donde es más afectada la calidad del agua por la gran cantidad de prácticas agrícolas y ganaderas, cercanas a las fuentes de agua (Fernández, 1979). Se recomienda:

1. Adecuar el manejo de rastrojo a través de la incorporación de los mismo en el terreno y no de la quema , para reducir la tasa de erosión.
2. Realizar obras físicas de conservación de suelo y barreras vivas.
3. Capacitar al productor sobre el uso racional de abonos orgánicos y químicos.
4. Reforestar áreas desprotegidas.
5. Manejar el agua por tuberías desde su captación hasta la caja recolectora.
6. Capacitar a los agricultores sobre el manejo de los plaguicidas.

Parte baja: está formada por todas las obras físicas necesarias para la conducción y distribución de agua potable que abastece a la comunidad. Se recomienda:

1. Limpiezas periódicas de la caja recolectora y tanque de distribución.
2. Iniciar un proceso de capacitación a los miembros de la junta de agua sobre el manejo del agua.
3. Construir un tanque de mayor capacidad para evitar la pérdida de agua por rebalse y así poder abastecer a un mayor número de personas.
4. Educar a la población en el uso del agua en el hogar y sus posible implicaciones en la salud de los miembros que la componen.
5. Iniciar un proceso de educación orientado hacia el manejo de los desechos en el hogar y a nivel comunitario.
6. Iniciar un proceso de descontaminación de la quebrada vía reducción de la descarga de los desechos sólidos para así evitar la contaminación de comunidades aguas abajo.



## 5. CONCLUSIONES

El agua producida en todos los manantiales no es apta para el consumo humano debido a niveles superiores a los permitidos en turbidez, coliformes fecales y totales.

La contaminación de los manantiales probablemente está influenciada por las condiciones de degradación de los recursos naturales en la microcuenca.

Es posible que la turbidez del agua está influenciada por la época, el grado de pendiente y el tipo de cobertura de los sitios.

Existe una gran carga de contaminantes aportados por la quebrada El Zapotillo hacia las fuentes de agua de comunidades aguas abajo.

La presencia de coliformes fecales y totales en las llaves y el tanque de distribución demuestra que la cloración no es efectuada correctamente.

Los caudales generados en los manantiales probablemente no son afectados por la precipitación en la microcuenca lo cual indica que el agua proviene de procesos de infiltración y precolación de mayor tiempo.

El bosque fue el más eficiente en disminuir el nivel de turbidez en los manantiales de la microcuenca El Zapotillo.

## **6. RECOMENDACIONES**

Iniciar un proceso de ordenamiento territorial con el propósito de conservar las fuentes de agua.

Convertir las zona de recarga de las fuentes de agua en zonas protegidas con cultivos permanentes para reducir la escorrentía superficial y la contaminación.

Implementar medidas para el manejo y correcta deposición de los desechos sólidos para las familias que viven cerca a la quebrada y fuentes de agua.

Capacitar a los miembros de la junta de agua para hacer un proceso de cloración efectivo en base al caudal.

Capacitar a los miembros de la comunidad en la importancia de un manejo adecuado de las fuentes de agua y la protección de la microcuenca.

Desarrollar investigaciones para determinar la aceptación de las familias a un sistema de cobro en servicio de agua el cual genere fondos para promover procesos de protección y restauración de las zonas de recarga de los manantiales.

Capacitar a la mujer en el manejo adecuado del agua en el hogar y posible efectos en la salud de los miembros de la familia.

## 7. BIBLIOGRAFÍAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1994. Annual book of standars: Determinación de turbidez en agua. Adaptado por la Universidad de Tamaulipas, 1999. <http://members.tripod.com/Arturobola/turbi.htm>.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1994. Annual books of standars. Determinación de pH en el agua. Adaptado por la Universidad de Tamaulipas, 1999. <http://members.tripod.com/Arturobola/ph.htm>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1994. Annual books of standarts. Determinación de dureza en agua. Publicado por APHA. Adaptado por la Universidad de Tamaulipas, 1999. <http://members.tripod.com/Arturobola/dureza.htm>

BORLE, J. (1973). La industria y el agua. México, D.F. Editorial MacGRAW-GILL. 145 P.

CHACON, M.; GARCIA, E.; GUIER, E. 1993. Introducción a la problemática costarricense : principios básicos y posibles soluciones. Programa de Educación Ambiental a Distancia. San José, Costa Rica. 217p.

CIRELLI, J. (1971). Agua. San José, Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia. 184 p.

DAUBENMIRE, R.F. 1998. Ecología vegetal. Universidad Estatal de Washington. Seatle Washington. Editorial Limusa. 446p.

DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NEW YORK. 1964. Manual de tratamiento de aguas. Trad. por Raúl Guerrero Torres. 4ta. Reimpresión. México, D.F Editorial Limusa Wiley, S. A.. 205p.

ESPERANZA, M.L. 1995. Calidad del agua. Suplemento de medio ambiente para América Latina y el Caribe. Laboratorio del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias (CEPIS). Año 1, Num. 2. 67 P.

FERNANDEZ, L. (1979). Medidas de conservación de suelos. Universidad de Monterrey. México, D. F. Editorial MacaGRAW-GILL. 284 p.

GRACIA MARTINO, A.; LUGO, A. E. 1996. Cartilla de agua potable para Puerto Rico. Instituto de Dasonomía Tropical. Vol. 10 Núm. (1-3). 60 p.

GUTIERREZ, M. 1992. Ecología: salvemos al planeta tierra. Tecnológico de Monterrey. México, D.F. Editorial Limusa. 191p.

GUZAMAN, G. (1977). El origen del agua. México, D.F. Editorial Trillas. 90 p.

IDEAM. 2000. Calidad del agua. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. Ministerio de la República de Colombia. Colombia.  
<http://www.ideam.gov.co/>

KRAMER, P.J. 1969. Plant and soil water relationships: A modern synthesis. Nueva York McGraw-hill book Co.,. 482 p.

MACDONALD, H.; SMART, A.; WISMAR C. 1991. Monitoring guidelines to evaluate effects of forestry activities on streams in the Pacific Northwest an Alaska. University of Washington. Seattle Washington. 166p.

MAGDOFF, F. 1999. Calidad y manejo de suelos. Universidad de Vermont, USA. 23 p.

NETSALUD. 1998. Campaña para la prevención de enfermedades infectocontagiosas. Ministerio de Salud de Costa Rica. Editorial del Ministerio de Salud de Costa Rica. San José, C. 49 p.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). 1999. Calidad del agua: Guías para la calidad de agua de bebida. Actualizado 11/18/99.  
<http://www.cepis.ops-oms.org/>

PORTILLO, D. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Tecnológica Centroamericana. Tegucigalpa, Honduras. 114 p.

PRITCHETT, W. L. 1986. Suelos forestales: Propiedades, conservación y mejoramiento. Trad. por José Hurtado Vega. México, D. F. Editorial Limusa, S. A.. 634p.

RODRIGUEZ. V. 1999. Caracterización y evaluación participativa de aspectos biofísicos y socioeconómicos en la microcuencas El Capiro y El Zapotillo, Güinope, El Paraíso. Tesis Ing. Tegucigalpa, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana-Zamorano. 89p.

RTC. 1999. Sistema nacional de información de México. México, D. F. Editorial Limusa. 126p.

TORRES, C. 1999. Evaluación del efecto del huracán Mitch en la cantidad y calidad de agua en los manantiales de la montaña Uyuca. Tesis Ing. Tegucigalpa, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana-Zamorano. 38p.

TURK, A.; TURK, J.; WITTES, J.; WITTES, R. 1981. Tratado de ecología. Trad. por José Manuel Rubio. 2da. México, D. F. Edición. Nueva Editorial Interamericana, S. A. de C.V. 542p

UNESCO (2000). Agua para el siglo XXI: Las presiones del agua.  
<http://unesco.org>

UNESCO (2000). Día mundial del agua. El ciclo hidrológico.  
<http://unesco.org>