

**Evaluación del efecto del huracán Mitch en la  
cantidad y calidad de agua en los manantiales  
de la montaña Uyuca.**

**Catalina Torres Sarmiento**

**ZAMORANO**

Departamento de Recursos Naturales

Diciembre, 1999

# **Evaluación del efecto del huracán Mitch en la cantidad y calidad de agua en los manantiales de la montaña Uyuca.**

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

presentado por

**Catalina Torres Sarmiento**

**Zamorano - Honduras**

Diciembre, 1999

El autor concede a Zamorano permiso  
para reproducir y distribuir copias de este  
trabajo para fines educativos. Para otras personas  
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

---

Catalina Torres Sarmiento

Zamorano - Honduras  
Diciembre, 1999

**Evaluación del efecto del huracán Mitch en la cantidad y calidad de agua en los manantiales de la montaña Uyuca.**

Presentado por:

Catalina Torres Sarmiento

Aprobada:

---

Luis Caballero, M.Sc.  
Asesor Principal

---

Peter Doyle, M.Sc.  
Jefe de Departamento

---

Nelson Agudelo, M.Sc.  
Asesor

---

Antonio Flores, Ph.D.  
Decano Académico

---

Alberto Chain, Ing.  
Asesor

---

Keith Andrew Ph.D.  
Director

---

George Pilz, Ph.D.  
Coordinador PIA

## **DEDICATORIA**

A mis padres y mi hermana por su confianza y amor incondicional, por la esperanza de un futuro mejor.

A la familia Pilz por su confianza, apoyo y cariño, por hacerme parte de su familia.

A la familia Torres y Sarmiento por estar siempre conmigo.

Al Ing. Almanza por haber sido mi inspiración.

A mis amigos Sergio, Ana, Nancy, Andrea, Janeth, Juan Pablo, Claudio, Joaquin, Tania, Paco, P-K, Negro, Pame, Pauli, Juancho y familia Cave, por su apoyo y compañía, por hacer la vida mas linda.

A todos los Colombianos que creemos en un futuro mejor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al niño Dios por darme todo su amor, por hacerme tan afortunada.

A mi familia por haberme hecho capaz de lograr lo que me propongo.

A mi familia Pilz por sus consejos, su entrega, por ser una familia ejemplar.

Al Departamento de Recursos Naturales y proyecto Mitch, por su apoyo económico.

A mis asesores por ayudarme a hacer algo mejor.

Al personal del Departamento de Recursos Naturales y de la Unidad Empresarial Forestales por su amistad y apoyo.

## RESUMEN

Torres, Catalina 1999. Evaluación del efecto del huracán Mitch en la cantidad y calidad de agua en los manantiales de la montaña Uyuca. Proyecto especial del programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras.

Los manantiales o arroyos son una fuente importante de agua dulce para consumo humano. Generalmente el agua de los manantiales es de buena calidad, sin embargo, debido al avance de la frontera Agrícola y al impacto provocado por fenómenos naturales, estos, cada vez son más vulnerables en su cantidad y calidad. Ya que Zamorano se abastece en un 100% de agua potable de los manantiales de la montaña Uyuca, este estudio cuantificó los cambios ocasionados por los efectos del huracán Mitch en la cantidad y calidad del agua. En ese sentido, se midieron y analizaron los siguientes parámetros de calidad: temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales, turbidez, dureza, pH, coliformes fecales y totales y el caudal total. Los muestreos se realizaron cada 15 días en la época lluviosa entre los meses de Mayo y Noviembre. Algunos parámetros se midieron directamente en el campo y otros en el laboratorio de aguas del Departamento de Recursos Naturales. Los datos obtenidos se analizaron utilizando un diseño completamente al azar y una prueba SNK para la separación de medias. Los resultados demostraron que la cantidad de agua no fue afectada obteniéndose un caudal de 18.2 litros por segundo el cual es similar a los resultados obtenidos en 1997 que fue de 18.4 litros por segundo, de igual manera, los resultados de los análisis de temperatura, pH y turbidez no mostraron cambios significativos a los obtenidos antes del huracán Mitch. La calidad microbiológica sí fue afectada, ya que la cantidad de colonias formadoras de coliformes totales incremento de 1 a 18 unidades formadoras de coliformes. Finalmente, se concluye que el agua sigue siendo de buena calidad para el consumo humano ya que con el tratamiento de cloro, se elimina el peligro de la contaminación por coliformes.

**Palabras claves:** calidad de agua, manantiales, Uyuca, huracán Mitch, Zamorano.

Lugar: Aula de Recursos Naturales

Hora: 3:30 p.m.

**Fecha: 4 de Noviembre de 1999**

## **El efecto del huracán Mitch en la producción de agua de la montaña Uyuca**

El agua es un recurso vital para los organismos vivos y sus actividades. Las aguas subterráneas que llegan a los manantiales son consideradas de buena calidad y por ello son usadas mayormente para consumo humano. Sin embargo, efectos en los componentes del ciclo hidrológico pueden impactar o alterar la calidad y cantidad de las fuentes de agua.

Las aguas subterráneas y superficiales provenientes de la montaña Uyuca, son aprovechadas por Zamorano y las aldeas vecinas en actividades domésticas, agrícolas e industriales. Debido a la ocurrencia del huracán Mitch en 1998 y su efecto en las condiciones físicas de la zona de recarga y en la zona de afloramiento, se presumió una alteración en la calidad y cantidad de agua de los manantiales. En ese sentido, se evaluaron los siguientes parámetros de calidad: Temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos disueltos, turbidez, dureza, pH, coliformes totales y fecales y el caudal.

Los análisis demostraron que la mayoría de los parámetros anteriores no fueron afectados en comparación a los datos obtenidos en el estudio realizado en 1997. Se obtuvo un incremento de 1 a 18 unidades formadoras de colonias de coliformes totales, cuyo valor se encuentra por encima del rango permitido para agua potable, según la OPS 1995, pero con el tratamiento de cloro se elimina el riesgo para la salud humana.

**Con este estudio se afirma que la oferta de agua producida por la montaña Uyuca, supera la demanda por parte de la comunidad Zamorana ya que después de abastecer los requerimientos de agua potable, diariamente, queda un excedente que es utilizado para otros usos.**

## CONTENIDO

	Portadilla.....	I
	Autoría.....	II
	Páginas de firmas.....	III
	Dedicatoria.....	IV
	Agradecimientos.....	V
	Resumen.....	VI
	Nota de prensa.....	VII
	Contenido.....	VIII
	Indice de cuadros.....	IX
	Indice de figuras.....	X
	Indice de anexos.....	XI
<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>REVISION DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.</b>	Ciclo del agua.....	3
<b>2.2.</b>	El proceso de infiltración.....	4
<b>2.3.</b>	Manantiales: fuente de agua dulce.....	4
<b>2.4.</b>	Impacto hidrológico de los bosques.....	5
<b>2.5.</b>	Calidad de agua.....	5
<b>2.5.1.</b>	temperatura.....	6
<b>2.5.2.</b>	Oxigeno disuelto.....	6
<b>2.5.3.</b>	Conductividad.....	6
<b>2.5.4.</b>	Sólidos disueltos.....	7
<b>2.5.5.</b>	Turbidez.....	7
<b>2.5.6.</b>	Dureza.....	7
<b>2.5.7.</b>	pH.....	8
<b>2.5.8.</b>	Bacterias.....	8
<b>2.5.9.</b>	Caudal.....	9
<b>2.6</b>	Fuentes y causas de la contaminación del agua.....	10
<b>2.7</b>	Eventos de precipitación.....	11
<b>2.8</b>	Escasez de agua.....	12
<b>2.9</b>	Valoración del agua.....	13
<b>3.0</b>	<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	Descripción del estudio.....	14
<b>3.2</b>	Ubicación del área de estudio.....	14
<b>3.3</b>	Descripción de los sitios de muestreo.....	15
<b>3.4</b>	Periodo de muestreo.....	16
<b>3.5</b>	Recolección de muestras.....	17

3.6	Parámetros analizados.....	17
3.6.1	Temperatura.....	17
3.6.2	Oxígeno disuelto.....	17
3.6.3	Conductividad y sólidos disueltos.....	17
3.6.4	Turbidez.....	18
3.6.5	Dureza.....	18
3.6.6	pH.....	18
3.6.7	Coliformes totales y fecales.....	18
3.6.8	Caudal.....	18
3.7	Análisis estadístico.....	19
3.8	Consumo/ abastecimiento.....	19
4.0	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>20</b>
4.1	Manantiales.....	20
4.1.1	<b>Temperatura.....</b>	<b>20</b>
4.1.2	<b>Oxígeno disuelto.....</b>	<b>21</b>
4.1.3	<b>Conductividad.....</b>	<b>21</b>
4.1.4	Sólidos disueltos.....	22
4.1.5	Turbidez.....	23
4.1.6	Dureza.....	23
4.1.7	pH.....	24
4.1.8	Coliformes totales.....	25
4.1.9	Coliformes fecales.....	26
4.1.10	Caja recolectora (manantial 11).....	26
4.1.11	Análisis de parámetros antes del huracán Mitch.....	27
4.2	Cantidad de agua.....	27
4.3	Consumo/ abastecimiento .....	28
5.0	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>29</b>
6.0	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>30</b>
7.0	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>31</b>
8.0	<b>ANEXOS.....</b>	<b>33</b>

## INDICE DE CUADROS

## Cuadro

1. Clasificación de la dureza del agua en términos de ppm de Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>)..... 8
2. Valor promedio de los parámetros de calidad de agua analizados antes y después del huracán Mith, en los manantiales de la montaña Uyuca..... 27

**INDICE DE FIGURAS**

Figura	
1. Diagrama del ciclo hidrológico.....	3
2. Valor promedio de temperatura en los manantiales de la montaña Uyuca.....	20
3. Valor promedio de Oxígeno disuelto en los manantiales de la montaña Uyuca .....	21
4. Valor promedio de conductividad en los manantiales de la montaña Uyuca .....	22
5. Valor promedio de sólidos disueltos en los manantiales de la montaña Uyuca .....	22
6. Valor promedio de turbidez en los manantiales de la montaña Uyuca .....	23
7. Valor promedio de dureza en los manantiales de la montaña Uyuca .....	24
8. Valor promedio de pH en los manantiales de la montaña Uyuca .....	24
9. Valor promedio de coliformes totales en los manantiales de la montaña Uyuca .....	25
10. Valor promedio de coliformes fecales en los manantiales de la montaña Uyuca .....	26

## INDICE DE ANEXOS

### Anexo

1. Ubicación geográfica de los manantiales que abastecen de agua a Zamorano.....	34
2. Valor promedio de los parámetros de calidad de agua, analizados en los manantiales de la montaña Uyuca.....	35
3. Normas de calidad para agua potable.....	36
4. Valor promedio de los parámetros de calidad de agua analizados en los 11 manantiales de la montaña Uyuca.....	37
5. Caudal registrado durante el período de muestreo.....	38

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable para la vida humana ya que compone la mayor parte de los organismos vivos y es usada en casi todas las actividades humanas. Por ejemplo, es vital para la agricultura, procesos industriales, generación de energía eléctrica, recreación y navegación, entre otros. La disponibilidad de agua para tales usos es tan importante como la calidad de la misma ya que ésta es un factor determinante en la calidad de vida de la población.

El 71% de la superficie del planeta está cubierta por agua (mares y océanos) pero la cantidad de agua para uso doméstico, industrial y agrícola es limitada. El 3% es agua dulce, incluyendo los polos y los témpanos de hielo, y solo una pequeña fracción de agua equivalente al 0.003%, es la realmente disponible como agua dulce (Enkerlin *et al*, 1997). Es así como la disponibilidad de agua para consumo humano, es crítica en muchas regiones ya que el crecimiento poblacional, el incremento en consumo per cápita, la contaminación de las fuentes, la alteración de los ciclos hidrológicos locales debido a la deforestación o el mal manejo de las cuencas; repercuten en la disponibilidad del agua.

El agua subterránea representa un importante reservorio de agua dulce para consumo humano. Cuando llueve parte del agua se escurre por la superficie del suelo en forma de escorrentía, otra parte se evapora y el resto entra a la tierra por medio del proceso de infiltración constituyendo el agua subterránea. Los manantiales son los sitios donde el agua subterránea sale a la superficie del suelo y es allí donde el agua esta disponible para diferentes usos.

Trastornos atmosféricos como tormentas tropicales y huracanes alteran la condición biofísica y por ende el comportamiento hidrológico de las cuenca. En el mes de Octubre de 1998, Honduras fue afectado por el huracán y tormenta tropical MITCH el cual impactó considerablemente el bosque de la montaña Uyuca que abastece de agua potable a El Zamorano y las comunidades aledañas. En 1997, se realizo un estudio que analizó la calidad del agua de los manantiales de Uyuca, sin embargo, debido a las grandes cantidades de suelo, roca y material vegetal que fueron arrastradas de la parte alta de la montaña como consecuencia del MITCH, se presume que la calidad del agua que provee la montaña fue efectada.

El presente estudio se realizó con los siguientes objetivos:

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la calidad y cantidad de agua producida por los manantiales de la montaña Uyuca después del huracán MITCH.

### **Objetivos específicos:**

- Comparar los resultados obtenidos de las mediciones, con el estudio realizado antes de la ocurrencia del MITCH.
- Realizar una comparación de la oferta de agua producida en Uyuca y la demanda de agua por parte de Zamorano.

Debido a limitaciones económicas y de tiempo, el estudio sólo se realizó a nivel de los manantiales que abastecen de agua a Zamorano y en la época lluviosa.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 CICLO DEL AGUA

Se define como el proceso que sigue el agua desde que cae a la tierra pasando por el suelo a los reservorios hasta que regresa a la atmósfera dicha circulación. Este proceso es impulsado por la energía solar.

La **precipitación**: el agua cae en forma de lluvia (gotas de agua), nieve o granizo luego, puede ocurrir: **evaporación** que es la transferencia del agua a la atmósfera (en forma de gas - vapor de agua) desde las superficies terrestres y acuáticas así, como la transpiración de la vegetación. Parte del agua que entra en contacto con el suelo es absorbida y transmitida hacia abajo por la gravedad hasta alcanzar el nivel freático para luego unirse

a depósitos subterráneos, este proceso se conoce como infiltración. Si la capacidad de infiltración del suelo es menor a la intensidad de la precipitación, el exceso de agua se va a acumular en la superficie para luego escurrir formando arroyos o ríos y llegar a lagos y mares. El agua evaporada forma las nubes y éstas en presencia de partículas higroscópicas (generalmente de polvo) se precipitan (Fig. 1). Según Dingman 1993, la infiltración y el movimiento del agua en el suelo son los procesos hidrológicos mas importantes ya que determinan la cantidad de agua superficial que alimenta lagos y ríos, la cantidad de agua disponible para la evapotranspiración y la cantidad de agua para recargar el agua subterránea.

Figura 1. Diagrama del ciclo Hidrológico (Acevedo, 1995).

## **2.2 EL PROCESO DE INFILTRACION**

Al rededor del 10% de la precipitación se infiltra a través del suelo y rocas por efecto de la gravedad (McKinney y Schoch, 1998).

El suelo consiste de partículas de arena, limo y arcillas separadas entre si por espacios de diferentes tamaños mas conocidos como: espacios porosos.

El proceso de infiltración envuelve tres procesos:

- a) la entrada del agua al suelo
- b) almacenamiento del agua en el suelo y
- c) la transmisión del agua a través del perfil del suelo, este proceso da lugar a la formación del agua subterránea (Dingman, 1993).

El agua subterránea, es aquella que desciende a través del suelo permeable y llena los espacios porosos hasta que llega a una lamina o capa impermeable. Los espacios llenos de agua forman la zona de saturación o acuífero y sobre ésta, se encuentra la zona de aireación la cual consiste de espacios que pueden contener agua pero no están saturados.

El límite entre la zona de saturación y la zona de aireación, se conoce como: nivel freático. En áreas con alta precipitación, el nivel freático tiende a estar cerca de la superficie del suelo (McKinney y Schoch, 1998).

### **2.3 MANANTIALES: fuente de agua dulce**

Un manantial es la salida natural de las aguas subterráneas, a la superficie (FAO, 1984). El agua de los manantiales es una excelente fuente de agua para consumo humano. Sin embargo, el agua en su recorrido entra en contacto con diferentes sustancias orgánicas e inorgánicas, las cuales pueden modificar sus características naturales. Por esto es importante monitorear periódicamente la calidad de la misma ya que las aguas contaminadas son una de las mayores causas de enfermedades humanas.

La calidad y cantidad de agua en los manantiales va a depender en gran parte de la geología, suelo y del estado de la cuenca hidrográfica que los alimenta. Por ejemplo, una cuenca con problemas de erosión va a causar un desequilibrio ecológico y la descarga de los manantiales se va a reducir e incluso podría llegar a desaparecer. Geólogos estiman que un acuífero toma como mínimo alrededor de 200 años para recargarse completamente (McKinney y Schoch, 1998). Entonces, bajo esta óptica, podría considerarse al agua como un recurso no renovable en términos de tiempo de la vida humana de ahí, la importancia del manejo y conservación de las cuencas hidrográficas

### **2.4 IMPACTO HIDROLÓGICO DE LOS BOSQUES**

La cobertura vegetal de los bosques naturales influye en el ciclo hidrológico, el clima y el suelo ya que modifica los procesos de escorrentía, infiltración, microclima, erosión, entre otros (Stadtmüller, 1994).

Los bosques naturales que frecuentemente están en contacto con la nubes, se les conoce como: bosques nublados. Estos, poseen tres características hidrológicas que son importantes en la producción de agua de una cuenca:

- Los árboles maduros actúan como barreras vivas condensando el vapor de agua facilitando así, el proceso de precipitación horizontal o lluvia oculta.
- La frecuente nubosidad mantiene baja la evapotranspiración
- Son importantes abastecedores de agua en época de sequía (Agudelo, 1998).

Por otro lado, los suelos forestales tienen una alta capacidad de infiltración debido a: estructura del suelo, poco o inexistente uso del suelo, la densa capa de materia orgánica, además, las raíces de los árboles favorecen la infiltración y percolación del agua que mantienen el flujo de los manantiales y el caudal de base (Stadtmüller, 1994).

Estudios sobre el comportamiento hidrológico de las cuencas, indican que la eliminación de los bosques se traduce en un incremento de los caudales superficiales del agua a consecuencia de reducción en las pérdidas por evapotranspiración. En el caso de los bosques nublados, su deforestación puede ocasionar pérdidas substanciales de agua en las cuencas, ello debido al ingreso adicional de este elemento al bosque mediante el proceso de lluvia horizontal (Agudelo, 1998).

## **2.5 CALIDAD DE GUA**

La calidad de agua se define como el conjunto de características físicas, químicas y biológicas del agua en su estado natural o al ser alteradas por el hombre.<sup>1</sup>

Las exigencias en cuanto a calidad de agua varían de acuerdo a la utilización que se le de a este recurso. Es así, como el agua para riego debe tener baja concentración de sales; el agua para consumo humano debe tener bajo contenido de microorganismos infecciosos y el agua para generar energía eléctrica debe tener baja carga de sedimentos (White *et al*, 1972) por lo tanto, los parámetros de calidad a evaluar serán diferentes en cada caso.

Entre los parámetros que permiten evaluar la calidad del agua se encuentran:

### **2.5.1 Temperatura.**

La temperatura expresa la cantidad de calor de energía radiante que hay en la atmósfera, en el agua o en la tierra. El agua tiene una alta capacidad para absorber calor solo necesita una caloría para incrementar la temperatura de un gramo de agua en un grado centígrado.

Según la OPS (1995), el valor recomendado de temperatura para el agua potable está entre 15-30 °C. Los cambios leves de temperatura no causan trastornos en los seres humanos pero pueden causar disturbios en los ecosistemas acuáticos. El incremento en la temperatura del agua aumenta la actividad biológica de los organismos acuáticos, incrementa el crecimiento de bacterias, acelera las reacciones químicas además, afecta la disponibilidad de oxígeno ya que la solubilidad del mismo, decrece exponencialmente (McKinney y Schoch, 1998).

### **2.5.2 Oxígeno Disuelto**

El oxígeno es un gas soluble y su concentración en el agua es medida en partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/L). La solubilidad del oxígeno esta en función de la temperatura ya que la concentración de oxígeno en el agua aumenta a medida que

---

<sup>1</sup> Moncada, J. 1999. Calidad de agua. Departamento de Recursos Naturales. Zamorano, Honduras. (comunicación personal).

disminuye la temperatura. Hay ciertos factores que contribuyen a la reducción del oxígeno disuelto entre ellos tenemos: el bajo gradiente de corrientes, presencia excesiva de materia orgánica y altas tasas de respiración de bacterias y otros microorganismos que se alimentan de la materia orgánica. Pequeñas variaciones en la concentración de oxígeno disuelto pueden causar efectos adversos en la reproducción y viabilidad de especies acuáticas pero no causan trastorno alguno en la salud humana. Sin embargo, es importante medir este parámetro dentro de la evaluación de la calidad de agua ya que es un indicador del estado bacteriológico y físico del agua.

### **2.5.3 Conductividad**

La conductividad se refiere a la capacidad de una sustancia de conducir corriente eléctrica (MacDonald *et al*, 1991) y es expresada en  $\mu\text{mhos/cm}$ . Esta capacidad esta en función de la temperatura y de la concentración de iones disueltos, por ello este parámetro, se relaciona con el total de sólidos disueltos (TSD) y en muchos casos este puede ser estimado, multiplicando la conductividad por un factor de corrección. El valor de conductividad nos da una idea de cómo podrían andar otros parámetros de calidad del agua ya que si el valor encontrado fuese alto podría pensarse que el agua tiene una alta concentración de sólidos disueltos lo que indicaría que el agua tiene limitaciones para su uso humano, agrícola, industrial y para la generación de energía eléctrica. El valor recomendado por la OPS para agua potable es de  $400 \mu\text{mhos/cm}$ .

### **2.5.4 Sólidos Disueltos**

Se refiere a la proporción de sedimentos disueltos en la columna de agua. Alta concentración de sólidos disueltos reduce su calidad y por ende su valor estético. Además, los sólidos disueltos tienen efectos adversos en las turbinas de las plantas hidroeléctricas y reducen la vida útil de las represas y los canales de irrigación. Así mismo, los sedimentos pueden tener efectos benéficos al depositar nutrimentos en suelos que periódicamente se inundan haciéndolos muy fértiles y productivos. La concentración de sólidos disueltos es expresada en  $\text{mg/L}$  y según la OPS (1995), el valor máximo admisible para agua potable es de  $1,000 \text{mg/L}$ .

### **2.5.5 Turbidez**

Turbidez se refiere a la cantidad de luz que es difundida o absorbida por un fluido debido a la presencia de partículas suspendidas de arcillas y arenas, materia orgánica, plancton y microorganismos por lo tanto, este parámetro esta relacionado con la concentración de sólidos disueltos. La medición de turbidez es importante para evaluar la calidad de agua para uso domestico, estético y recreacional. Según MacDonald *et al* (1991), en un sitio particular niveles altos de turbidez podrían deberse a ácidos orgánicos en un momento determinado mientras que en otro momento, podrían deberse a arenas y arcillas

provenientes de la erosión lo que complica la comparación entre sitios. La turbidez es medida en unidades nefelométricas de turbidez (UNT) y según las normas para parámetros organolépticos de la OPS, la norma para agua potable es que el valor máximo permisible sea de 5 UNT y el óptimo de 1 UNT.

### 2.5.6 Dureza

La dureza es una propiedad del agua que se debe a la presencia de carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y otros compuestos de calcio y magnesio. Además, compuestos de hierro y aluminio pueden aumentar la dureza del agua aunque en menor grado. La dureza puede clasificarse en **carbónica** debida a carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio y la **no carbónica** que es debida a sulfatos, cloruros, nitrato de calcio y magnesio. La dureza no tiene efectos en la salud humana pero puede presentar inconvenientes en su uso doméstico, industrial y agrícola. Las aguas con alta dureza presentan problemas para hacer espuma con el jabón ya que las sales forman un precipitado o grumo y es por esto que se gasta mas cantidad de jabon para obtener espuma. El precipitado se adhiere a las paredes de los utensilios metálicos y a los tejidos. La dureza se expresa en mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de calcio) y según la OPS (1995), el valor recomendado para agua potable es de 400 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . En general, el propósito para el cual se va usar el agua determina la necesidad de ablandamiento. De acuerdo a la cantidad de carbonato de calcio, el agua se clasifica en dura, semidura y suave (cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de la dureza del agua en términos de ppm de Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Dureza en términos de ppm de $\text{CaCO}_3$	Dureza en términos de gramos por galón de $\text{CaCO}_3$	Descripción
0 – 50	0 – 3	Extremadamente suave
51 – 100	51 – 100	Moderadamente dura
101 – 150	101 – 150	Dura
151 – 170	151 – 170	Muy dura
171 – 250	171 – 250	Excesivamente dura
sobre 250	Sobre 250	Dura para uso doméstico

Fuente: Volcano.net, 1999.

### 2.5.7 pH

Es una medida de la concentración de iones de hidrogeno en el agua. El incremento en la temperatura reduce el pH del agua y esto conlleva al incremento de solubilidad de metales pesados (MacDonald *et al*, 1991). Además de la temperatura, el pH varía con la

concentración de CO<sub>2</sub> por esto, las medidas de dicho parámetro deben ser realizadas inmediatamente después de tomada la muestra de agua.

La OPS ha establecido un rango de pH de 5.0 - 9.0 como valor permisible para agua de uso doméstico. En dicho rango también se desarrollan microorganismos como las bacterias. Aguas fuera del rango normal de 6 a 9 pueden ser dañinas para la vida acuática.

### 2.5.8 Bacterias

Generalmente en el monitoreo de la calidad del agua se buscan cuatro grupos de bacterias: Coliformes totales, Coliformes fecales, Estreptococos fecales y Enterococos siendo los de origen fecal los mas peligrosos para la salud humana. La mayoría de bacterias se alimentan de sustancias orgánicas y son saprófitas es decir, viven sobre material muerto vegetal o animal.

Los Coliformes fecales se encuentran en el intestino y heces de animales de sangre caliente, la especie mas importante de este grupo es la *Escherichia coli* (MacDonald *et al*, 1991).

Los Coliformes totales no son un grupo especializado y muchos no tienen efectos directos en la salud humana, sin embargo, se ha demostrado que hay cierta correlación entre la cantidad de Coliformes totales y la incidencia de enfermedades gastrointestinales (MacDonald *et al*, 1991). Por ello, es importante considerarlo al momento de monitorear la calidad de agua para consumo humano y de acuerdo a la OPS (1995), el valor máximo admisible para coliformes totales, es de tres unidades formadoras de colonias por 100 ml de muestra y para Coliformes fecales, no debe haber presencia de unidades formadoras de colonias por 100ml de muestra.

En áreas forestales, una alta cantidad de unidades formadoras de colonias puede deberse a una mala disposición de desechos (si son áreas recreativas) o a la presencia de animales domésticos o silvestres cuyas heces llegan al suelo y luego por medio de la escorrentía son arrastradas e infiltradas llegando así a contaminar el agua natural que producen las fuentes de agua.

Existe un grupo de bacterias en el cual se encuentran las del género crenotrix las cuales provocan depósitos de oxido de hierro (ferruginosas) y de manganeso (mangnesianas)

### 2.5.9 Caudal

El aforo de agua significa la medición del agua en unidades de volumen de agua. El caudal es la cantidad de unidades de volumen escurridas en un tiempo dado a través de un conducto natural o artificial. No importando el uso que se le vaya a dar a este recurso, es necesario conocer la cantidad de agua con que se cuenta. Por ejemplo, es necesario conocer el caudal de la fuente de agua para poder planificar el riego, la capacidad de procesamiento de una planta de alimentos o la capacidad de abastecimiento de agua potable a los poblados. El uso del agua doméstica va depender del nivel de vida y puede ser desde 20 litros hasta mas de 500 litros por persona al día (Instituto de Recursos mundiales *et al*, 1991).

Para la medición de agua se utiliza una metodología diferente según se trate de agua en reposo o agua en movimiento. El primer caso se trata de medir agua en reposo y el segundo, agua en movimiento. Las medidas de caudal o de agua en movimiento son expresadas en metros cúbicos ( $m^3$ ) por tiempo, ya sea hora (H), minuto (min.) o segundos (Seg.).

Para la medición o aforo del agua existen métodos directos y métodos indirectos (Miller, 1978).

#### **Métodos directos:**

- Método volumétrico: consiste en recoger el agua que circula por un conducto, en un recipiente de capacidad conocida, midiendo el tiempo que tarda en llenarse dicho recipiente. La relación que existe entre el volumen del recipiente y el tiempo que tarda en llenarse da como resultado, el caudal que circula por el conducto.
- Método por pesada: Se utiliza cuando no se puede cubicar el recipiente que se va usar para medir el agua. Se basa en que un litro de agua pesa, aproximadamente, un kilogramo. Para calcular el caudal se divide el peso del agua contenida en el recipiente por el tiempo que tarda en llenarse el mismo. Es un método poco usado.

#### **Métodos indirectos:**

- Con instrumentos: consiste en la medición de la velocidad del agua mediante un instrumento especial y el cálculo del área de la sección por la cual pasa dicho líquido para lo cual se utilizan fórmulas geométricas. Se calcula la sección total del canal por sumatoria de secciones parciales, que se asume, forman figuras geométricas regulares (triángulos, trapecios, rectángulos, etc.)

El caudal se calcula mediante la siguiente fórmula:  $Q = A \times V$

donde:  $Q =$  caudal ( $m^3/seg$ )  
 $A =$  área - sección del conducto ( $m^2$ )  
 $V =$  velocidad del agua ( $m/seg$ )

## **2.6 FUENTES Y CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

Toda actividad humana produce algún tipo de alteración al ambiente. Las alteraciones a las características físicas, químicas y biológicas del agua en su estado natural, se conocen como agua contaminada. En las actividades agrícolas, industriales y domésticas, se crean subproductos que de una u otra forma, se incorporan al ciclo hidrológico afectando así la calidad de los cuerpos de agua. Las fuentes de contaminación se clasifican así:

**Contaminación puntual o localizada:** se presenta cuando se conoce el origen del contaminante por ejemplo, los desechos industriales, aguas servidas de origen urbano, residuos de plantas de procesamiento agrícola y pecuario, entre otros.

**Contaminación no puntual:** no se conoce el origen del contaminante por ejemplo, aguas provenientes de las laderas cultivadas.

Según Enkerlin *et al* (1997), las causas de la contaminación del agua se pueden clasificar así:

**Contaminación orgánica e inorgánica:** las sustancias que propician esta, pueden ser de origen antropogénico o natural en los lagos por ejemplo, se da un incremento en los nutrimentos (sulfatos y fosfatos) a consecuencia de la contaminación eólica y de contaminación agrícola (fertilización) aguas arriba. El exceso de nutrientes causa eutroficación lo que a su vez incrementa la población de algas que disminuyen la contaminación de oxígeno disuelto o incrementan la contaminación de amoníaco, sustancia que es tóxica a varios organismos.

Compuestos formados de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, son vertidos a las corrientes de agua y estos por acción de los microorganismos son usados para formar nuevos organismos y para ello utilizan el oxígeno disuelto en el agua por lo tanto, donde hay contaminación orgánica, se presenta una baja concentración de oxígeno disuelto lo que puede traer problemas, en el uso de agua para la acuicultura.

Algunos contaminantes como el petróleo, a pesar de ser naturales, son tóxicos para muchas especies sin embargo son los desechos agrícolas, industriales y domésticos los principales causantes de dicha contaminación.

**Contaminación física:** altas temperaturas, los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables, causan desequilibrio en el ecosistema acuático. Cambios bruscos de temperatura producen cambios locales en la contaminación del agua y en la contaminación de oxígeno (Enkerlin, *et al* 1997) esto, aunado a una alta contaminación de sólidos disueltos, provoca la contaminación de la contaminación fotosintética de algas y plantas acuáticas. Generalmente la contaminación térmica proviene de las aguas residuales de las industrias.

**Contaminación tóxica:** es la ocasionada por compuestos tóxicos como metales pesados (zinc, cobre, mercurio), compuestos orgánicos (pesticidas), gases (amoníaco), entre otros. Cualquier compuesto químico al mezclarse con otras sustancias puede inhibir su toxicidad e incrementarla. Generalmente, este tipo de contaminación, proviene de las aguas de desechos industriales.

**Contaminación microbiológica:** esta es la fuente de contaminación que más le interesa al hombre ya que los microorganismos como bacterias, virus y protozoarios, pueden provocar enfermedades como tifoidea, cólera, disentería, amibiasis, entre otras que pueden llegar a causar la muerte. Muchos de esos patógenos pueden ser eliminados con la adición de cloro ya que este químico es altamente tóxico a muchas formas de vida, sin embargo, algunos patógenos como los protozoarios, son resistentes a la cloración. En el caso de agua subterránea, los protozoarios por su gran tamaño, no son un problema de contaminación ya que son removidos durante el proceso de infiltración pero, la

contaminación por bacterias y virus representan un serio problema que podría resultar en una epidemia de enfermedades (Ward *et al*, 1985). Las heces de los animales de sangre caliente y el suelo en sí, son la principal fuente de este tipo de contaminación.

## 2.7 EVENTOS DE PRECIPITACION

La frecuencia e intensidad de las precipitaciones van a depender de la ubicación, la vegetación, las masas de aire y el relieve del suelo (Fuentes, 1983).

Trastornos atmosféricos pueden dar lugar a diferentes tipos de tormentas entre las cuales se encuentran: tormentas eléctricas, tropicales, huracanes y tifones; su diferencia radica en la intensidad de los vientos y la precipitación. Estos, afectan el comportamiento hidrológico dentro de las cuencas causando problemas tales como derrumbes, inundaciones, entre otros.<sup>2</sup>

Ciclón tropical se desarrolla sobre aguas tropicales y tiene una circulación, en el sentido contrario a las manecillas del reloj. Un ciclón se clasifica, según la intensidad de sus vientos, en: perturbación tropical cuyos vientos en superficie son ligeros; depresión tropical con vientos máximos en superficie de 61kilometros por hora (Km/hr); tormenta tropical presenta vientos máximos dentro del rango de 62 a 87 Km/hr y huracán con vientos máximos en superficie mayores a 116 Km/hr. La escala saffir - Simpson se ha convertido en una forma de categorizar los huracanes de acuerdo a la velocidad de los vientos y es útil para estimar la cantidad de daño que puede ocurrir a causa de estos, por ejemplo, la categoría 5 presenta vientos sobre 155 millas por hora (mph) y ocasiona daños catastróficos tal fue el caso que se presentó con el huracán Mitch.

## 2.8 ESCASEZ DE AGUA

Existen diferentes alternativas de solución y desde el punto de vista económico y ambiental la mas favorable es la de economizar el uso del agua lo que a su vez disminuye la contaminación ambiental. Dicha solución involucra un aspecto social: el precio del agua. Si el recurso es costoso el consumidor tiene un incentivo para protegerlo ya sea reduciendo su gasto, haciendo mas eficiente su uso o sustituyéndolo.

En la agricultura el consumo de agua para riego es del 70% y aproximadamente dos terceras partes de esta se desperdicia (Enkerlin *et al*, 1997). Sin embargo el uso del sistema de **microirrigación** o riego por goteo, permite un aprovechamiento del 80 al 90% del agua además, otras prácticas que permiten economizar dicho recurso serian: cubrir la tierra con plástico para reducir la perdida de agua por evaporación, el uso de sistemas computarizados que permiten conocer la humedad del suelo y así determinar cuando se necesita el riego, además, en el mercado hay disponibles variedades resistentes a la sequía y a la salinidad (que puede ser causada por la microirrigación).

---

<sup>2</sup> Caballero, L. 1999. Notas de clase: Utilización de los Recursos Naturales. Zamorano, Honduras.

Para el agua de uso doméstico e industrial, también existen métodos que permiten una mayor eficiencia en su consumo tal es el caso del **reciclaje y reutilización**. En varios países estos sistemas se están llevando a cabo vía legislación por medio de incentivos y sanciones, se han promulgado leyes que impiden desechar las aguas altamente contaminadas a los ríos, por lo tanto, éstas deben pasar por un sistema de tratamiento antes de ser vertidas. El costo del tratamiento va a incrementar el costo de producción para las industrias pero, disminuiría el costo ambiental a la sociedad y es aquí donde se debate el criterio de desarrollo sostenible.

La solución legal incluiría políticas que controlen la contaminación pero esta solución podría ser muy poco efectiva debido, al alto costo en equipo y personal que implica el monitoreo continuo de dicha regulación.

El uso de fuentes alternas tal como: **Desalinización** por medio de la energía solar para lo cual se usan tanques de evaporación ésta, se captura, se condensa y almacena. Es un sistema muy costoso, 10 a 12 veces mas que los actuales. Esto es una solución para el uso doméstico y en casos muy específicos como islas o zonas áridas pero para el uso agrícola por ejemplo, no sería factible económicamente debido al alto volumen de consumo.

**La siembra de nubes**, método que consiste en esparcir en la atmósfera partículas de nitrato de plata que actúan como núcleos de condensación para promover la formación de nubes que luego van a precipitar en forma de lluvia. En Israel fue probado este sistema y se rechazó debido a la baja relación costo/beneficio y a la contaminación potencial por la posible acumulación de las sustancias que forman los núcleos (Enkerlin *et al*, 1997).

## 2.9 VALORACION DEL AGUA

Las soluciones actuales al problema de abastecimiento de agua son diversos y con diferentes grados de factibilidad sin embargo, a nivel de Latinoamérica, la mejor solución debería ser la de hacer una **valoración real del recurso agua** ya que este se encuentra “sub-preciado” es decir, tiene un precio muy por debajo de lo que realmente le corresponde. El costo incluye principalmente, la obra civil pero no el costo de protección a la cuenca. Si se realiza una reestructuración de las tarifas del agua, se lograría hacer mas eficiente su uso con lo cual se disminuiría la contaminación ambiental y, además, se obtendrían recursos económicos para el manejo y conservación de las cuencas y programas de educación ambiental a todo nivel.

La montaña Uyuca ha estado bajo control por Zamorano, desde que ésta comenzó sus labores en la década de los cuarenta. Sin embargo fue a partir de 1985 que Zamorano comenzó a realizar actividades de protección y manejo, asegurando de esta forma, su abastecimiento de agua potable. Sin embargo, no se le ha dado un valor real a este recurso ya que no se han considerando los costos de protección de la montaña como parte de los costos totales de producción de agua. Las actividades de manejo y protección en la montaña Uyuca incluyen:

- Vigilancia

- ❑ Prevención y control de incendios y erosión
- ❑ Construcción de filtros
- ❑ Construcción de caminos
- ❑ Mantenimiento de infraestructura
- ❑ Mantenimiento de plantaciones
- ❑ Manejo de bosque natural
- ❑ Operación del vivero

Para realizar la valoración del agua es necesario conocer todos los costos, que intervienen en la producción del agua para hacer una relación de los costos totales con el volumen total de agua producido por la montaña y obtener así, el valor real del recurso agua.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO**

Se evaluó la calidad y cantidad de agua a través de parámetros como: temperatura, turbidez, pH, conductividad, sólidos disueltos, oxígeno disuelto, dureza, coliformes totales, fecales y caudal.

En Abril de 1997, se realizó un estudio similar en el cual se evaluaron parámetros de calidad: temperatura, turbidez, pH y coliformes totales. Sin embargo, se presumió un cambio tanto de la calidad como en la cantidad de agua de los manantiales debido al huracán y tormenta tropical Mitch, por lo tanto, fue necesario repetir el estudio para comparar los resultados y así conocer el efecto real de dicho fenómeno sobre los manantiales. Además, se incluyeron otros análisis a manera de enriquecer la información sobre el estado cualitativo del agua.

Se evaluó la cantidad de agua producida en la montaña para compararla con la demanda por parte de la comunidad Zamorana.

### 3.2 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El trabajo de campo se llevo a cabo en los manantiales ubicados en la montaña Uyuca (anexo 1) la cual esta ubicada en el Departamento de Francisco Morazán entre el Km. 17 y 24 carretera Tegucigalpa – Danli, se localizan altitudes desde 1,000 a 2,000 msnm, temperatura y precipitación promedio anual en la parte baja de 22 °C y 1,100 mm y en la parte alta de 16 °C y mas de 2,000 mm, respectivamente (Gallo, 1997). Predomina una topografía irregular cubierta con bosque de pino en la parte baja y media y latifoliado en la parte alta. Se han clasificado tres zonas de vida: bosque muy húmedo (parte superior), bosque húmedo montano bajo (parte media) y bosque húmedo subtropical (parte baja)<sup>3</sup>.

### 3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

Los manantiales son los sitios de afloramiento del agua subterránea proveniente de la montaña Uyuca. Estos sitios fueron protegidos por medios de la construcción de cajas recolectoras o compartimentos que en su mayoría están revestidas de concreto. El acceso al interior de las cajas se hace por medio de una compuerta de hierro. El acceso alrededor de las cajas recolectoras esta restringido por una malla metálica. A continuación se presenta una descripción más detallada de cada manantial.

#### **Manantial 1**

Compartimento de forma cuadrada, construido sobre la superficie de suelo, cuyas paredes están revestidas de concreto y el piso de arenilla y piedra. Compuerta de entrada ubicada en la parte superior la cual generalmente esta cubierta por tierra. El agua entra por fisuras en la pared y el piso, tiene un orificio de salida y dos de limpieza. En una ocasión se observo heces de humanos.

#### **Manantial 2**

Forma rectangular, construido sobre la superficie de suelo, revestido de concreto, piso con piedra, grava y arena. Acceso en la parte superior. El agua entra a la caja a través de 43 tubos de PVC incrustados en la parte inferior de la pared, tiene un orificio de salida, uno de rebalse y uno de limpieza.

#### **Manantial 3**

Forma cuadrada, construido sobre la superficie de suelo, revestido de concreto, piso con piedra, grava y arena. Acceso en la parte superior. El nacimiento del agua esta por debajo de la carretera Tegucigalpa - Danlí sin embargo, el agua pasa a una caja recolectora que

---

<sup>3</sup> Agudelo, N. 1999. Zonas de vida de Uyuca. El Zamorano, Francisco Morazán, Honduras. (comunicación personal).

esta enterrada y luego a través de tubería de hierro pasa a la caja recolectora que representa este manantial.

#### **Manantial 4**

Compartimento bajo la superficie del suelo cuya forma es irregular ya que tres de sus paredes son parte de la superficie de la montaña y solo una pared es de concreto. El acceso es por la parte superior que generalmente presenta tierra y hojarasca. El agua entra a través de infiltración de las rocas y sale directamente sin acumularse, ya que la cantidad de agua es mínima. El piso está cubierto por arena y arcilla, se notó un fuerte olor a hierro y azufre.

#### **Manantial 5**

Compartimento de forma cuadrada bajo la superficie del suelo revestido de concreto, piso con piedra y arena. Acceso por la parte superior. El agua entra a través de seis tuberías de PVC. Se notó la presencia de raíces al interior del manantial. La compuerta está rodeada de tierra proveniente de pequeños derrumbes.

Los manantiales 3, 4 y 5, están unidos en cuanto a protección exterior por una malla metálica.

#### **Manantial 6**

Forma cuadrada bajo la superficie del suelo. Compuerta en la parte superior. Paredes y piso revestidos de concreto. El agua entra por fisura y tiene un orificio de salida. Siempre se notó el agua bastante turbia y alta presencia de insectos.

#### **Manantial 7**

Forma rectangular, sobre la superficie del suelo. Paredes de concreto y piso con arena y piedra. Compuerta en la parte superior. El agua entra por fisura y tiene un orificio de salida.

#### **Manantial 8**

Forma cuadrada sobre la superficie del suelo, revestido de concreto. Compuerta en la parte superior. El agua entra a través de un tubo de hierro. Este manantial es el que mayor cantidad de agua demuestra.

#### **Manantial 9**

Forma rectangular, bajo la superficie del suelo. Paredes y piso en piedra. Acceso en la parte lateral. El agua entra por infiltración a través de la roca y tiene un orificio de salida. Se notó mal ajuste en la puerta de acceso y presencia de ratones.

Los manantiales 8 y 9 están protegidos a su alrededor, por una malla metálica. El agua de estos manantiales va directamente a los tanques recolectores a través de tubería de hierro.

#### **Manantial 10**

Forma de cuadrado bajo la superficie del suelo, al igual que el manantial cuatro, tres paredes son roca de la montaña y solo un costado es de concreto donde se encuentra la

compuerta de entrada. El piso es de piedra y arena. El agua entra por fisura en la roca y tiene un orificio de salida.

### **Manantial 11**

Forma de cuadrado bajo la superficie del suelo. Paredes y piso de concreto. Acceso por compuerta superior. Esta es la caja recolectora del agua proveniente de los manantiales 1,2,3,4,5,6,7 y 10. La entrada de agua es a través de tres tuberías de hierro, tiene un orificio de salida y dos de limpieza. Se noto alta cantidad de arena en el piso. En este manantial se realizo la medición de caudal.

## **3.4 PERÍODO DE MUESTREO**

Se evaluó la calidad y cantidad de agua que producen los manantiales de la montaña Uyuca durante la época lluviosa que por lo general se presenta entre los meses de Mayo a Octubre, existiendo un periodo seco (canícula) entre mediados del mes de Julio y Agosto. Todas las muestras fueron recolectadas cada 15 días, periodo entre Mayo y Septiembre del año en curso, una vez al día en las horas de la mañana.

## **3.5 RECOLECCION DE LAS MUESTRAS**

Para evitar la contaminación de las muestras, se usó guantes esterilizados y/o se desinfectó las manos con alcohol natural etílico al 95% de pureza. Durante los dos primeros muestreos para los análisis bacteriológicos, dureza y pH, las muestras fueron recolectadas en bolsas de plástico de 300ml previamente esterilizadas por el fabricante y en los siguientes muestreos, se usaron frascos de vidrio de 250ml previamente esterilizados en un autoclave marca All AMERICAN modelo 25x, a una temperatura de 121 °C durante 15 minutos. Las muestras se recolectaron en el interior de cada manantial, fueron identificadas con su número correspondiente e inmediatamente fueron almacenadas en una hielera a una temperatura de 4 °C con el propósito de retardar los procesos químicos y biológicos que se pudieran dar. Luego, las muestras fueron analizadas en el laboratorio de análisis de calidad de agua del Departamento de Recursos Naturales / Zamorano.

Las mediciones de caudal fueron tomadas en la caja recolectora (manantial #11) para lo cual se uso un balde plástico de capacidad para 20 litros y un cronómetro.

En el estudio realizado en 1997, las mediciones de caudal se realizaron en cada manantial pero debido a daños físicos ocasionados por el huracán MITCH y a cambios de las tuberías, las mediciones en el presente estudio se limitaron al manantial #11.

## **3.6 PARÁMETROS ANALIZADOS**

### **3.6.1 Temperatura**

Los datos se tomaron en cada manantial por medio de un termómetro digital marca YSI modelo 50B, con un rango de  $-5$  a  $45$  °C y un margen de error de  $0.1$  °C.

### **3.6.2 Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto fue medido directamente en cada manantial por medio de un medidor de oxígeno marca YSI modelo 50B, con un rango de  $0$  a  $19.99$  miligramos por litro (mg/L).

### **3.6.3 Conductividad y sólidos disueltos**

Ambos parámetros fueron medidos en el campo por medio de un medidor digital marca VWR. Medidas expresadas en micromohos por centímetro ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) y miligramos por litro (mg/L), respectivamente.

### **3.6.4 Turbidez**

La turbidez fue medida en cada manantial por medio de un turbidímetro de campo, marca Del Agua, graduado a una escala de  $5$  a  $2,000$  Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT).

### **3.6.5 Dureza**

El análisis de dureza se realizó en el laboratorio a través del método EDTA, el cual define la concentración de calcio (Ca) y magnesio (Mg), expresado como carbonato de Ca en miligramos por litro (mg/L).

### **3.6.6 PH**

La medición del pH del agua se realizó en el laboratorio de agua del Departamento de Recursos Naturales de Zamorano por medio de un pH-metro marca HADECIO, modelo 50200, el cual tiene una escala de  $0$  a  $9$ .

### **3.6.7 Coliformes totales y fecales**

El análisis bacteriológico se realizó en el laboratorio de agua del Departamento de Recursos Naturales de Zamorano donde se usó el procedimiento de filtración por membrana de celulosa, se usó Bacto endoagar, del laboratorio DIFCO, como medio de cultivo específico para coliformes totales y una incubadora marca WTC Blinder que provee la temperatura de  $35$  °C por  $24$  horas y mantiene un alto nivel de humedad relativa (aproximadamente  $90\%$ ) necesarios para la incubación de las bacterias en mención.

Para coliformes fecales se utilizó m FC agar del laboratorio DIFCO como medio de cultivo y una incubadora marca REVCO que provee una temperatura de 45 °C durante 24 horas. Los resultados son expresados en unidades formadoras de colonias (UFC) por 100ml de muestra.

### **3.6.8 Caudal**

Para el calculo del caudal se utilizó el método volumétrico, el cual consistió en recoger el agua que sale a través de los tres conductos, del manantial # 11, en un recipiente de capacidad conocida y se midió por cada tubo, el tiempo que tardó en llenarse. Se realizaron cinco repeticiones por cada tubo y luego, se saco un promedio total. Se estableció la relación entre el volumen del recipiente y el tiempo promedio que tardo en llenarse, lo que dio como resultado, el caudal.

### **3.7 Análisis Estadístico**

Se utilizó un diseño completamente al azar, luego los datos fueron sometidos aun análisis de varianza (ANDEVA) para conocer la influencia de la variable independiente (manantiales) sobre las variables dependientes (parámetros) y para conocer cual manantial presentaba mayor variación, se realizó una separación múltiple de medias mediante la prueba Student-Newman-Keuls (SNK). Dicho análisis se realizó por medio de el programa estadístico "Statistical Analysis System" (SAS).

### **3.8 Consumo/ Abastecimiento**

El consumo de agua de Zamorano se obtuvo de los archivos de la sección de mantenimiento/superintendencia., se realizó un promedio con los registros de 1996 – 1999, para obtener el consumo por día. El abastecimiento de agua de la montaña Uyuca se calculó en base a los registros de las mediciones de caudal efectuadas por dicha sección tanto en el periodo seco como en el lluvioso.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 MANANTIALES

#### 4.1.1 Temperatura

El valor promedio de temperatura del agua en los manantiales durante el periodo de muestreo fue de 20.52 ° C (anexo 2). Se encontró diferencia significativa en la temperatura de los manantiales 1 y 2 (figura 2), sin embargo, los valores se encuentran dentro del rango permitido para agua potable (anexo 5) según la OPS, (1995).

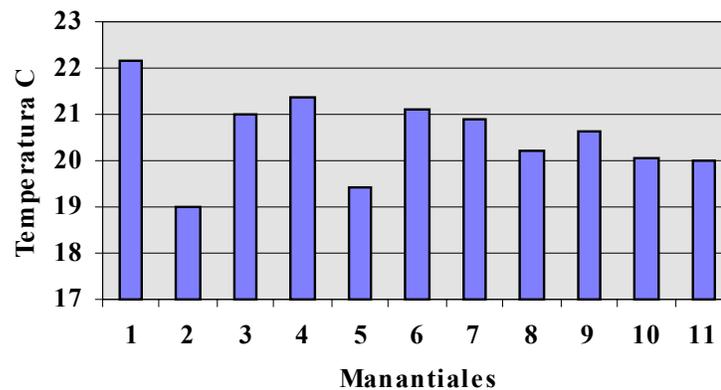


Figura 2. Valor promedio de temperatura en los manantiales de la montaña Uyuca

La variación en la temperatura del agua en los manantiales 1 y 2, se debe a condiciones climáticas de la superficie del suelo que provocan el calentamiento de la zona de afloramiento e incrementan la temperatura del agua ya que en su recorrido bajo la superficie del suelo, la temperatura es homogénea. Este parámetro no presentó una diferencia significativa con la medición realizada antes de Míth, de acuerdo a la tesis realizada en 1997 por el ingeniero Jorge Gallo quien obtuvo un promedio de 21.81 °C (ver cuadro 2) lo que indica que dicho fenómeno no tuvo efecto sobre la temperatura de los manantiales.

#### 4.1.2 Oxígeno Disuelto

El valor promedio de oxígeno disuelto en todos los manantiales fue de 6.48 miligramos por litro (mg/L) (anexo 2). El manantial que presentó, en promedio, mayor cantidad de oxígeno fue el #5 (figura 3) y esto se debió al alto gradiente de corriente que se presentó en el sitio donde se tomó la medición, sin embargo, no hubo diferencia significativa entre los manantiales. El nivel de oxígeno no tiene efecto directo en la salud humana, sin embargo, es 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 como alimento, por las bacterias que se encuentran en el agua.

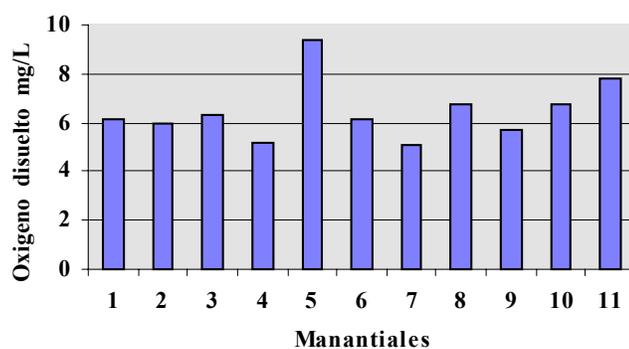


Figura 3. Valor promedio de oxígeno disuelto en los manantiales de la montaña Uyuca

#### 4.1.3 Conductividad

El valor promedio de conductividad, obtenido de todos los manantiales, fue de 71.89 micromhos por litro ( $\mu\text{mhos/L}$ ) (anexo 2). El manantial que presentó mayor valor fue el # 9 con 121.86  $\mu\text{mhos/L}$  (figura 4) y solo se encontró diferencia significativa en los manantiales 2, 4 y 5, sin embargo, estos valores no sobrepasan el valor recomendado para agua potable (anexo 3) según la OPS, (1995). La conductividad es la habilidad del agua

para conducir la electricidad, esta medida tiene poco significado en términos de calidad de agua excepto si esta incrementa por la concentración de sólidos disueltos (Brooks, *et al* 1997).

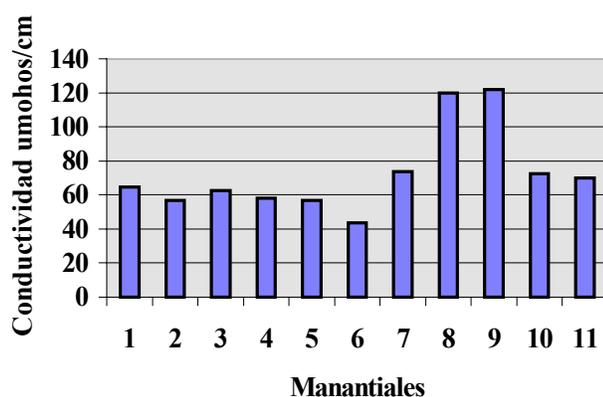


Figura 4. Valor promedio de conductividad en los manantiales de la montaña uyuca

#### 4.1.4 Sólidos Disueltos

La concentración de sólidos disueltos fue, en promedio, 48.49 miligramos por litro (mg/L) (anexo 2). Se encontró diferencia significativa en los manantiales 6,8 y 9 (figura 5), sin embargo, los valores están muy por debajo del valor establecido como óptimo, para agua potable (anexo 5) esto se relaciona con los bajos resultados obtenidos en la conductividad. Dichos parámetros no tienen efectos directos en la salud humana, mas están relacionados con la percepción estética del agua.

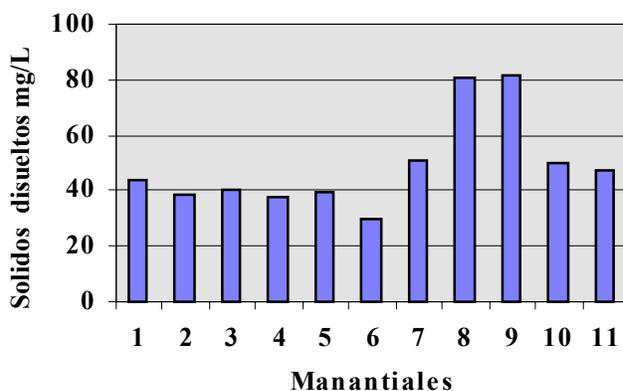


Figura 5. Valor promedio de sólidos disueltos en los manantiales de la montaña Uyuca

#### 4.1.5 Turbidez

La turbidez promedio que se obtuvo en los manantiales fue de 0.94 unidades nefelométricas de turbidez (UNT). Solo los manantiales 6 y 10 presentaron valores diferentes (figura 6).

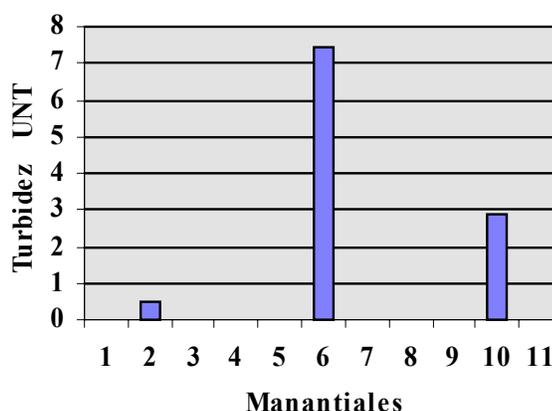


Figura 6. Valor promedio de turbidez en los manantiales de la montaña Uyuca.

El manantial # 6 presento un valor de 7.4 el cual esta por encima del valor recomendado para agua potable (anexo 3). Este valor se debe al arrastre de sedimentos hacia las cajas recolectoras, tal como se observo durante el período de muestreo y también, por la infiltración de arcillas a través de los tubos de entrada del agua a cada manantial. La turbidez es causada por arcillas en suspensión, materia orgánica, plancton y otras partículas orgánicas e inorgánicas. Por lo tanto, puede usarse para predecir la concentración de sedimentos suspendidos (Brooks, *et al* 1997).

#### 4.1.6 Dureza

El contenido de dureza en los manantiales fue en promedio, 22.13 miligramos por litro de Carbonato de Calcio (mg/L Ca CO<sup>3</sup>). No se encontró diferencia significativa entre los manantiales (figura 7). Las aguas de lluvia arrastran sales como cloruros de calcio, magnesio, potasio entre otros (Bernal, 1995), sin embargo, los valores de dureza obtenidos están muy por debajo del rango establecido para agua potable (anexo 3). Dichos

valores indican que el agua de la montaña Uyuca es extremadamente suave, por lo tanto, la presencia de compuestos de Ca y Mg, carbonatos, bicarbonatos y sulfatos es muy baja lo cual no tiene efecto sobre la salud humana.

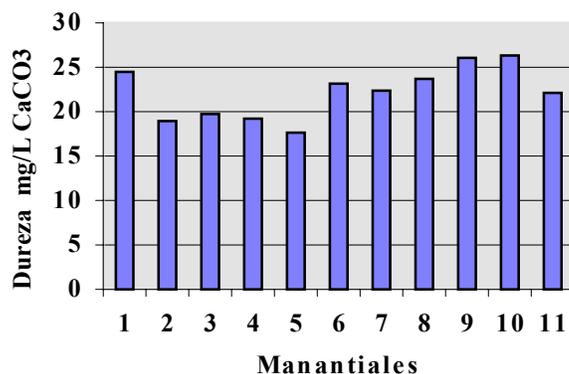


Figura 7. Valor promedio de dureza en los manantiales de la montaña Uyuca

#### 4.1.7 pH

El valor de pH de todos los manantiales durante el periodo de muestreo fue de 4.10 (anexo 2). Se encontró diferencia significativa en los manantiales 1, 8 y 9 (figura 8) estos valores al igual que la media, se encuentran por debajo del rango recomendado para agua potable que está entre 5.0 y 9.0 (anexo 3). A pesar de que no se encontró información en la cual se mencione que el pH ácido, ocasione daños a la salud humana, un agua con un pH tan bajo es corrosiva y tiene la capacidad de disolver metales tóxicos dentro del sistema de tuberías que distribuyen el agua, lo cual sí puede ocasionar problemas de salud.

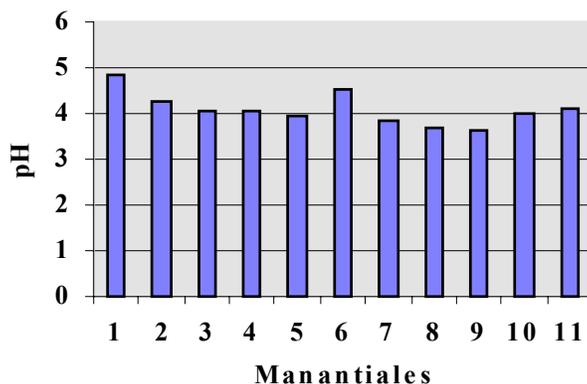


Figura 8. Valores promedio de pH en los manantiales de la montaña Uyuca

Comparado los datos de pH con los del estudio realizado antes del Mitch, no se encontró diferencia significativa ya que el valor de pH obtenido por este fue de 4.34. Esto indica que el agua ha mantenido el pH ácido desde 1997 y durante este tiempo, no se ha reportado ningún tipo de problema de salud relacionado con ello. Los valores bajos se deben al contacto del agua con compuestos que la acidifican tales como materia orgánica, ácido carbónico, entre otros.

#### 4.1.8 Coliformes totales

El número de unidades formadoras de coliformes (UFC) que se encontró durante el periodo de muestreo fue en promedio, 18.32 UFC (figura 9 y anexo 2) el cual es un valor superior al permitido para agua potable que es de 3 UFC (anexo 3), según la OPS 1995. En el estudio realizado antes de la ocurrencia del Mitch se encontró un valor promedio de 1.92 UFC durante todo el periodo de muestreo, siendo mayor el número de UFC en el periodo lluvioso lo que indica que las altas precipitaciones ocurridas durante el Mitch tuvieron efecto sobre la calidad del agua de los manantiales ya que la degradación de la calidad del agua puede resultar de eventos naturales tales como intensas precipitaciones, incendios forestales o erupciones volcánicas (Brooks, *et al* 1997). El alto número de UFC se debe a la presencia de bacterias en el agua proveniente de la escorrentía superficial que después del proceso de infiltración ha llegado hasta los manantiales ya que después de las lluvias, abundan en las aguas superficiales muchas especies de bacterias, típicas del suelo entre estas están las Crenotrix y las bacterias ferruginosas que provocan depósitos de óxido de hierro (Lerman, 1995).

Además, las bacterias pudieron haber entrado directamente por las compuertas de entrada a los manantiales ya que estas están en su mayoría, bajo el nivel del suelo lo que facilita la entrada del agua contaminada.

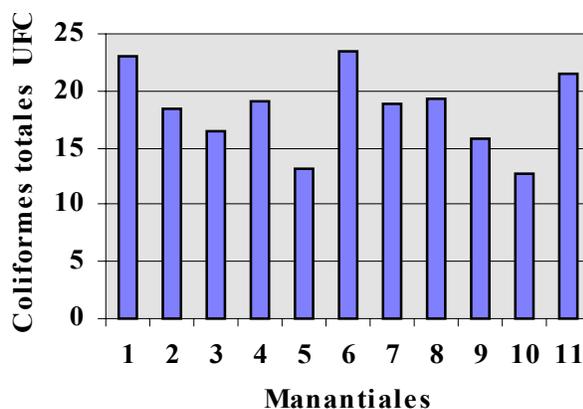


Figura 9. Valores promedio de colonias formadoras de coliformes totales en los

manantiales de la montaña Uyuca.

#### 4.1.9 Coliformes fecales

El valor encontrado de coliformes fecales durante el período de muestreo fue de 1.72 Unidades Formadoras de Coliformes (UFC), en promedio (anexo 2) el cual es un valor superior al permitido para agua potable que es de cero UFC (anexo 3), según la OPS 1995. Las bacterias pueden ocasionar daños a la salud tales como: epidemias y problemas gastrointestinales pero dichos efectos se eliminan al clorar el agua en los tanques de almacenamiento. Se encontró diferencia significativa en los manantiales 1, 6 y 11 (figura 10). Al igual que para la presencia de coliformes totales se asume que esta contaminación es provocada por la escorrentía superficial que llega directamente de la zona de recarga o a través de la infiltración de las compuertas de entrada. La contaminación puede deberse a las heces de los animales silvestres que se encuentran en la parte alta de la montaña o al arrastre de sedimentos, ya que se encontró heces humanas y basura muy cerca a la compuerta de entrada al interior de los manantiales.

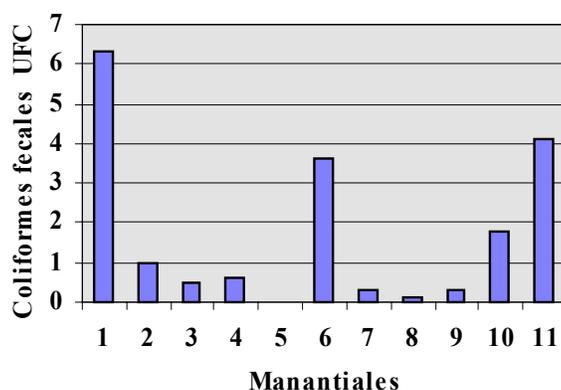


Figura 10. Valor promedio de colonias formadoras de coliformes fecales en los manantiales de la montaña Uyuca.

#### 4.1.10 Caja recolectora (manantial 11)

Este manantial es el sitio donde se une el agua proveniente de los manantiales 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 10 por lo tanto, los resultados de las mediciones obtenidas en este, nos da una idea parcial del estado de la calidad del agua de la montaña. Los valores de los parámetros analizados en cada manantial no fueron significativamente diferentes a los encontrados en el manantial # 11 (anexo 4) por lo tanto, la calidad del agua no es alterada en el recorrido de esta, a través de tuberías de hierro, hasta la caja recolectora. El agua de esta caja es conducida a los tanques redondos donde se mezcla con el agua de los manantiales 8 y 9 y donde se realiza la cloración con el propósito de eliminar las bacterias que esta acarrea.

#### 4.1.11 Análisis de parámetros antes del huracán Mitch

Al comparar los resultados de los análisis realizados antes del huracán Mitch en 1997, con los obtenidos en el presente estudio, se encontró que en los parámetros temperatura, pH y turbidez no han habido cambios significativos (cuadro 2) y todos los valores se encuentran dentro del rango permitido para agua potable (anexo 3) a excepción, de la presencia de colonias formadoras de coliformes cuya cantidad incremento 14 veces sobre el valor obtenido en el estudio realizado en 1997.

Cuadro 2. Valor promedio de los parámetros de calidad de agua, analizados antes y después del huracán Mitch, en los manantiales de la montaña Uyuca.

Parámetro	Antes	Después
Temperatura (°C)	21.81	20.52
PH (valor pH)	4.31	4.09
Turbidez ( $\mu$ mhos/cm)	0.86	0.94
Coliformes totales (UFC)	1.31	18.32
Caudal ( $m^3/día$ )	1,589.8	1,572.5

Fuente: Gallo (1997), adaptado por el autor.

#### 4.2 Cantidad de agua

El caudal proveniente de los manantiales de Uyuca fue en promedio 18.2 litros por segundo ( $1,572.5 m^3/día$ ), (anexo 5), lo que indica que la cantidad de agua producida por la montaña ha permanecido homogénea, no se detectó un efecto significativo del huracán Mitch en cuanto a este parámetro ya que el caudal registrado en el estudio realizado en 1997 fue de 18.4 litros por segundo ( $1,589.8 m^3/día$ ), sin embargo, se presume un incremento el cual no se pudo determinar al no poder medir un manantial.

#### 4.3 Oferta / Demanda

De acuerdo a los datos obtenidos de los registros de la sección de mantenimiento, se determinó que el consumo promedio de agua en Zamorano es de 1,453.31 m<sup>3</sup>/día y el

abastecimiento promedio es de 1,555.23 m<sup>3</sup>/día, por lo tanto la montaña Uyuca mantiene una sobre oferta de agua ya que permanece un excedente de agua después de suplir la demanda de agua de la comunidad zamorana.

## V. CONCLUSIONES

La cantidad del agua producida por los manantiales de la montaña Uyuca no fue significativamente afectada por el huracán Mitch ya que el caudal medido en este estudio es similar al registrado en el estudio realizado antes de la ocurrencia de dicho fenómeno. Sin embargo, se presentó un incremento que no se pudo determinar, al no poder medir un manantial.

Los análisis del agua confirman la presencia de coliformes totales y fecales, un bajo pH y oxígeno disuelto cuyos valores están fuera del rango permitido para agua potable.

La escorrentía superficial que ocurre durante eventos de precipitación prolongados, pueden afectar la calidad del agua ya que pueden transportar microorganismos y sedimentos a las cajas recolectoras.

La montaña Uyuca presenta una sobre oferta de agua ya que después de abastecer los requerimientos de agua potable de Zamorano, especialmente en la época lluviosa, queda un excedente de agua que es utilizada para otros usos.

Los daños físicos ocurridos a las estructuras de protección de los manantiales pueden permitir la contaminación física y microbiológica del agua en los manantiales.

A pesar de que el MITCH causó graves daños físicos en la zona de recarga de la montaña Uyuca, todavía no se presentan signos evidentes de su efecto en la calidad y cantidad del agua producida por los manantiales.

## VI. RECOMENDACIONES

Asegurarse de que la cloración del agua en los tanques de almacenamiento sea efectiva antes de ser distribuida en la red interna. Para ello, realizar monitoreos periódicos de la calidad del agua incluyendo, además de los parámetros analizados en este estudio, otros parámetros fisicoquímicos como: hierro, aluminio, manganeso, sulfatos, cloro residual, entre otros; desde la fuente de captación hasta las tuberías de distribución.

Construir filtros en las cajas recolectoras y antes de la entrada del agua al tanque de almacenamiento para eliminar los sedimentos que acarrea el agua.

Mejorar la estructura de los manantiales que tienen la compuerta de entrada bajo la superficie del suelo, elevando el muro de esta, para evitar la penetración de sedimentos que arrastra la escorrentía superficial.

Externamente, se debe mejorar la protección de los manantiales, cerrando los espacios libres, con malla metálica, para evitar el acceso de animales y personas.

Desarrollar un mecanismo de valoración del agua producida por la montaña Uyuca que incluya el costo de mantenimiento de la montaña y establecer un sistema de cobro en el cual se retribuya un pago según la cantidad de agua utilizada, esto, permitiría optimizar su uso, además, de obtener ingresos para mejorar el sistema de captación y distribución.

Para asegurar la provisión de agua a Zamorano en situaciones críticas, se debería evaluar otras alternativas o fuentes de captación de agua tales como pozos y plantas de tratamiento, que permiten el uso de cualquier fuente de agua para consumo humano.

En el manantial # 6, dada su alta turbidez, se recomienda cerrarlo para evitar que afecte el agua proveniente de los otros manantiales o construir un filtro de arena para reducir la turbidez.

## VII. BIBLIOGRAFIA

ACEVEDO ESTRADA, J.A. 1995. Monitoreo de pesticidas en agua de esteros del Golfo de Fonseca, Honduras. Tesis Ing. Tegucigalpa, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana - Zamorano. p. 7

AGUDELO, N. 1998. Impacto hidrológico económico de los bosques nublados en la agricultura ecológica. Tegucigalpa, Honduras. 7p.

BERNAL, J.C. 1995. Seminario agua potable para Tegucigalpa, Honduras. AHE-CATIE-UICN. 158p.

BROOKS, K.N; FFOLLIOTT, P. F; GREGERSEN, .H. M; DE BANO, L.F. 1997. Hydrology and The Management of Watersheds. Iowa State University Press. Iowa, United State of America. 502p.

DINGMAN, S.L 1993. Physical hydrology. Maxwell MacMillan International New York. 575p.

ENKERLIN, E.C; CANO, G; GARZA, R.A Y VOGEL, E. 1997 Ciencia ambiente y desarrollo sostenible. Internacional Thomson Editores. México. Pp: 401-411.

FAO. 1984. Calidad de agua para la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje 29. 85p.

FUENTES, L. J. 1983. Apuntes de meteorología agrícola. Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación. Madrid, España. 301p.

GALLO GUEVARA, J.U. 1997. Análisis de la calidad del agua de los manantiales del cerro uyuca. Tesis Ing. Tegucigalpa, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana / Zamorano. 63p.

- LERMAN, S. 1995. Taller móvil de calidad de agua: Normas bacteriales de agua. 40p.
- MacDONALD, L; SMART, A AND WISSMAR, R. 1991. Monitoring guidelines to evaluate effects of northwest and Alaska. Universidad de Washington. Seattle, Washington. 166p.
- McKINNEY, M.; SCHOCH, R. 1998. Environmental Science: Systems and Solutions. Jones and Bartlett Publishers. Sudbury, Massachusetts. 640p.
- INSTITUTO DE RECURSOS MUNDIALES; PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE; PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. 1990. Recursos mundiales 1990-1991. México,D.F. 350p.
- MILLER, J.C. 1978. Manual de aforo de aguas. Ministerio de Recursos Naturales Unidad de Recursos Hídricos. Tegucigalpa, Honduras. 70p.
- ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). 1995. Norma técnica nacional para la calidad de agua potable. Madrid, España. 23p.
- STADTMULLER, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medidas para mitigarlo. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 48p.
- WARD, C.H; GIGER, W; McCARTY, P.L. 1985. Ground Water Quality. Wiley-Interscience Publication. New York, United States of America. 547p.
- WHITE, F; BRADLEY, J.D; WHITE, U.A. 1972. Drawers of water: use in East Africa. The University of Chicago Press. Chicago, United States of America. 305p.
- [WWW.volcano.net](http://WWW.volcano.net). 1999. Clasificación de la dureza del agua en términos de Carbonato de Calcio.

## **VIII. ANEXOS**

1. Ubicacion geografica de los manantiales que abastecen de agua a Zamorano.

Anexo 2. Valor promedio de los parámetros de calidad de agua, analizados en los manantiales de la montaña Uyuca.

Parámetro	Promedio	Desviación estándar
Temperatura	20.52	1.24
Oxígeno disuelto	6.48	3.60
Conductividad	71.89	14.62
Sólidos disueltos	48.49	10.46
PH	4.09	3.08
Dureza	22.13	6.21
Turbidez	0.94	.54
Coliformes totales	18.32	8.40
Coliformes fecales	1.72	3.74

## Anexo 3. Normas de calidad para agua potable.

Parámetros organolépticos			
Parámetro	Unidad	Valor deseado	Valor máximo admisible
Turbidez	UNT	1	5
Parámetros físico-químicos			
Parámetro	Unidad	Valor deseado	Valor máximo admisible
Temperatura	OC	18 - 30	
Oxígeno disuelto	mg/L	8	
Conductividad	umhos/cm	400	
Sólidos disueltos	mg/L		1000
pH	valor pH	6.5 - 8.5	
Dureza	mg/L	400	
Parámetros microbiológicos			
Parámetro	Unidad	Valor deseado	Valor máximo admisible
Coliformes totales	colonias/100ml	0	3

Coliformes fecales	colonias/100ml	0	0
--------------------	----------------	---	---

Fuente: OPS (1995), adaptado por el autor.

Anexo 4. Valor promedio de los parámetros de calidad de agua analizados en los 11 manantiales de la montaña Uyuca.

Manatial	Tempera	Oxigeno	Conducti	Solidos Disuelto	pH	Dureza	Turbidez	Coliform totales	Coliform fecales
1	22.16	6.17	64.64	44.12	4.85	24.4	0	23.1	6.3
2	18.99	5.94	56.92	38.24	4.26	19	0.5	18.4	1
3	20.99	6.3	62.52	40.44	4.07	19.8	0	16.4	0.5
4	21.35	5.17	58.22	37.65	4.05	19.2	0	19	0.6
5	19.4	9.38	56.62	39.14	3.96	17.7	0	13.1	0
6	21.11	6.14	43.76	29.84	4.51	23.2	7.44	23.4	3.6
7	20.88	5.1	73.65	50.88	3.86	22.5	0	18.9	0.3
8	20.21	6.72	119.86	80.73	3.68	23.78	0	19.2	0.1
9	20.61	5.71	121.86	81.54	3.63	26.11	0	15.7	0.3
10	20.03	6.78	72.44	49.91	4.01	26.3	2.9	12.7	1.8
11	20	7.82	69.86	47.27	4.11	22	0	21.6	4.1

## Anexo 5. Caudal registrado durante el período de muestreo

Fecha de muestreo	Caudal	
	L/ seg.	m <sup>3</sup> /dia
11-06-99	18	1555.2
25-06-99	17	1468.8
09-07-99	18	1555.2
23-07-99	20	1728
07-08-99	16	1382.4
25-08-99	18	1555.2
03-09-99	20	1728
20-09-99	18	1555.2
01-10-99	18	1555.2
15-10-99	19	1641.6
Promedio	18.2	1572.5