



ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES
Y CONSERVACION BIOLOGICA

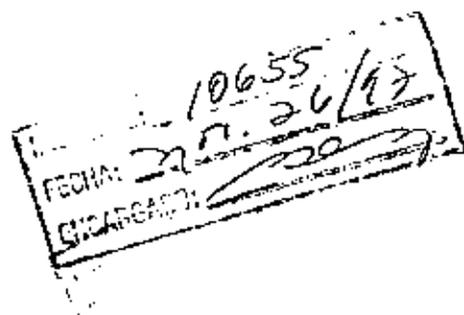
ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS
MANANTIALES DEL CERRO UYUCA

Tesis presentada como requisito parcial para optar al
título de Ingeniero Agrónomo en el grado
académico de licenciatura

Por

Jorge Ulises Gallo Guevara

Honduras, Abril de 1997



721

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



Jorge Ulises Gallo Guevara

Honduras, Abril de 1997

DEDICATORIA

A mis padres Esther y Ulises por estar siempre conmigo.

A mi abuela y abuelos (q.e.p.d.) por haberme enseñados principios básicos de la vida.

A mis hermanos María Mercedes y José Antonio, y a todos mis primos y tíos por haber confiado en todo momento en mí.

A mi tío Antonio por su cariño y oportunos consejos.

A mi primo Noel por su constante apoyo para poder cumplir mis metas.

A mi novia Karla por su amor, comprensión y apoyo.

A mi patria, Nicaragua.

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso por darme fuerzas para poder culminar mis estudios.

A toda mi familia por estar siempre a mi lado.

A la GTZ y al Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica por su apoyo económico para poder culminar mi meta.

A mis asesores Luis Caballero, Alexis Sevilla y especialmente Janeth Moncada por dar una dirección profesional a este trabajo.

A todo el personal del Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica, especialmente a Gerardo Pérez y Julio García por su valiosa colaboración.

A todos mis amigos de 4to. año por su amistad y ayuda en todo momento.

RESUMEN

En el presente estudio se analizó la calidad del agua producida por los manantiales abastecedores de agua del Zamorano, a través de la medición de ciertos parámetros de calidad, como ser: caudal, temperatura, turbidez, pH y colonias de coliformes totales. El propósito del estudio fue determinar si los manantiales tienen una relación muy directa con su ambiente superficial que puede representar un riesgo potencial de contaminación. Para ello, se seleccionaron y midieron los parámetros de calidad del agua antes mencionados, que sirvieron como indicadores de ese potencial. Previamente se realizó una caracterización biofísica de cada manantial, identificando características y condiciones externas e internas de las cajas recolectoras que pudieron ser fuente y causa de contaminación. Los objetivos específicos fueron: Determinar la calidad del agua colectada en cada manantial. Comparar los resultados obtenidos dentro y entre los manantiales para conocer el comportamiento de éstos en el período lluvioso y seco, y en base a esa caracterización biofísica y el análisis de los parámetros de calidad de agua antes mencionados proponer algunas alternativas de manejo de los manantiales para así reducir riesgos de contaminación y asegurar agua de buena calidad a la comunidad Zamorana. En el estudio se midieron parámetros como: caudal, temperatura, turbidez, pH y colonias de coliformes totales, en todos los manantiales en dos períodos y horas distintas. Los dos períodos eran un lluvioso y uno seco, mientras que las dos horas eran la mañana y la tarde. Realizándose un análisis comparativo y uno estadístico de los datos obtenidos. En este último se realizó un ANDEVA analizado en "Statistical Analysis System" (SAS) bajo un modelo factorial. Algunos manantiales presentaron más colonias de coliformes totales que otros, encontrándose más en época lluviosa que en seca. Mientras, que el pH y la temperatura en los manantiales no presentó una diferencia marcada en cuanto a las épocas y horas de muestreo. La turbidez presente en los manantiales fue de 0 NTU, a excepción de uno, la cual es mayor durante la época lluviosa que la seca. El caudal fue diferente en todos los manantiales, siendo mayor en la época lluviosa. En general, se puede afirmar que el agua de los manantiales es de buena calidad y no se ve influenciada por el ambiente superficial.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Partada.....	i
Derechos de autor.....	ii
Aprobación de tesis.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Resumen.....	vi
Indice de contenido.....	vii
Indice cuadros.....	ix
Indice de figuras.....	x
Indice de anexos.....	xi
I. INTRODUCCION.....	1
1.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. ASPECTOS GENERALES.....	3
2.2. GENERALIDADES DE LOS MANANTIALES.....	3
2.3. DEFINICIONES.....	5
2.4. FUENTES DE CONTAMINACION.....	5
2.4.1. Puntual.....	5
2.4.2. No puntual.....	6
2.5. TIPOS DE CONTAMINANTES DEL AGUA.....	6
2.5.1. Químicos.....	6
2.5.2. Físicos.....	7
2.5.3. Biológicos.....	7
2.6. CONTAMINACION MICROBIOLOGICA DEL AGUA.....	7
2.6.1. Microorganismos presentes en el agua.....	8
2.6.1.1. Bacterias.....	8
2.6.1.2. Hongos.....	11
2.6.1.3. Organismos de vida libre.....	11
2.6.1.4. Virus.....	12
2.6.1.5. Protozoos intestinales y Helminthos.....	12
2.6.2. Factores que afectan a los microorganismos presentes en el agua.....	12
2.6.2.1. Caudal.....	12
2.6.2.2. Temperatura.....	13
2.6.2.3. Turbidez.....	13
2.6.2.4. pH.....	14
2.6.3. Pruebas biológicas de calidad del agua.....	15
2.7. DESIFECCION.....	15

2.7.1.	Generalidades.....	16
2.7.2.	Métodos de desinfección del agua.....	16
III. MATERIALES Y METODOS.....		17
3.1.	DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	17
3.2.	DESCRIPCION DEL ESTUDIO.....	17
3.3.	SELECCION DE SITIOS DE MUESTREOS.....	18
3.3.1.	Descripción física de las cajas receptoras (manantial).....	19
3.4.	PERIODOS DE MUESTREOS.....	23
3.5.	RECOLECCION DE LAS MUESTRAS.....	24
3.6.	MEDICION DE PARAMETROS.....	25
3.6.1.	Caudal.....	25
3.6.2.	Temperatura.....	25
3.6.3.	Turbidez.....	25
3.6.4.	pH.....	26
3.6.5.	Coliformes totales.....	26
3.7.	ANALISIS COMPARATIVO Y ESTADISTICO DE LOS DATOS.....	26
3.7.1.	Modelo estadístico.....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....		28
4.1.	MANANTIALES.....	28
4.1.1.	Caudal.....	28
4.1.2.	Temperatura.....	29
4.1.3.	Turbidez.....	31
4.1.4.	pH.....	33
4.1.5.	Coliformes totales.....	34
4.2.	CAJA RECOLECTORA.....	36
V. CONCLUSIONES.....		37
VI. RECOMENDACIONES.....		39
VII. LITERATURA CITADA.....		40
VIII. ANEXOS.....		42

INDICE DE CUADROS

Cuadro		
1.	Ubicación Geográfica de los manantiales abastecedores de agua del Zamorano.....	20
2.	Fechas de muestreo y las precipitaciones acumuladas y registradas en la semana previa a la fecha de muestreo en el Cerro Uyuca y en el valle del Zamorano.....	24

INDICE DE FIGURAS

Figura		
1.	Ciclo Hidrológico.....	4
2.	Estructura de la caja receptora de agua de los manantiales.....	20
3.	Valores promedios del caudal durante el período seco y lluvioso en los manantiales estudiados.....	28
4.	Sumatoria del caudal de los manantiales y la precipitación acumulada y registrada en la semana previa a la fecha de muestreo en el Cerro Uyuca	29
5.	Valores promedios de la temperatura del agua durante el período seco y lluvioso en los manantiales estudiados.....	30
6.	Valores promedios de la temperatura del agua durante la mañana y la tarde en los manantiales estudiados.....	31
7.	Valores de la turbidez del agua del manantial # 8 durante el período seco y lluvioso.....	32
8.	Valores promedios de pH del agua durante el período seco y lluvioso en los manantiales estudiados.....	33
9.	Valores promedios de las colonias de coliformes totales del agua durante el período seco y lluvioso en los manantiales estudiados.....	34
10.	Sumatoria del número de colonias de coliformes totales de los manantiales y la precipitación acumulada y registrada durante cada semana previa a la fecha de muestreo en el Valle del Zamorano	35

INDICE DE ANEXOS

Anexo		
1.	Diseño estructural de las cajas receptoras del agua de los manantiales.....	42
2.	Diagrama de la contaminación biológica de los manantiales.....	43
3.	Ubicación Geográfica de manantiales que abastecen de agua al Zamorano dentro de la microcuenca de la quebrada El Gallo.....	44
4.	Ubicación Geográfica de las viviendas que forman la comunidad Joya Grande.....	45
5.	Capacidad volumétrica de las cajas receptoras del agua de los manantiales	46
6.	Datos de precipitación diaria registrados en el Valle del Zamorano durante los meses de muestreo.....	47
7.	Datos de precipitación diaria registrados en el Cerro Uyuca durante los meses de muestreo.....	49
8.	Datos de campo de los parámetros estudiados, obtenidos durante el período de muestreo (05/09/96 - 15/10/96)	51
9.	Separación múltiple de medias por la prueba SNK para los parámetros estudiados.....	56
10.	Ajuste del modelo estadístico para los parámetros estudiados.....	61
11.	Efecto de las variables independientes sobre los parámetros analizados.....	61
12.	Media general de todos los parámetros analizados.....	62
13.	Datos de muestreo de la caja recolectora.....	63

I. INTRODUCCION

El agua es uno de los recursos más importantes de la naturaleza, esencial para la sobrevivencia de todos los organismos, siendo utilizada como agua potable para consumo humano y animal, uso industrial y para riego agrícola principalmente. Entre las principales fuentes de agua potable se encuentran las aguas subterráneas, las cuales se ha estimado que suministran agua potable a aproximadamente 140 millones de personas en áreas urbanas y rurales. En Latinoamérica, el agua subterránea, generalmente es utilizada como fuente de agua potable por pequeñas comunidades y también para riego agrícola. En Honduras el 50% del agua potable consumida es suministrada por las aguas subterráneas, en el caso de Nicaragua y Costa Rica la mayor parte de las necesidades urbanas e industriales de agua son suministradas por agua subterránea (Lee, 1996).

Dentro de las aguas subterráneas, se encuentran los manantiales, los cuales, juegan un papel muy importante como fuentes de agua potable para un sinnúmero de comunidades rurales, por ejemplo la Escuela Agrícola Panamericana (El Zamorano), cuenta como única fuente de agua potable con los manantiales del Cerro Uyuca, los cuales proporcionan el 100% del agua de consumo doméstico e industrial y también proporciona agua para riego agrícola en periodos en que se da un exceso de producción de agua.

Para lograr una eficaz captación del agua, El Zamorano construyó cajas recolectoras en cada manantial, los cuales están construidas en su mayoría por mampostería. En la actualidad los manantiales son manejados homogéneamente, es decir, se asume que todos se comportan de igual manera durante todo el tiempo. Sin embargo, estos manantiales se ven influenciados por la precipitación que cae tanto en las zonas próximas a los lugares de afloramiento, como en la zona de recarga hídrica. El manejo actual de los manantiales consiste en esporádicos muestreos para el análisis químico y de coliformes totales. También se realizan algunas labores de mantenimiento, entre ellos, la remoción de raíces de árboles que se encuentran dentro de las cajas.

Se presume que debido a las condiciones biofísicas, tanto de las zonas de recarga hídrica como es las áreas de afloramiento. Hay periodos en los que el agua llega contaminada a las cajas recolectoras, esta contaminación puede ser causada ya sea por bacterias o por cualquier otro contaminante físico transportado por las aguas superficiales contaminadas que llegan a dichas cajas.

Anteriormente no se ha estudiado de manera individual cada manantial, por lo que propósito de ésta investigación es analizar cada manantial en características como: caudal, temperatura, pH, turbidez y número de colonias de coliformes totales. La medición de estos parámetros servirá como indicador de una posible o potencial contaminación del agua por bacterias y materia orgánica antes de llegar a los tanques recolectores donde se realiza su tratamiento. Esto ayudará a conocer la calidad del agua antes de este punto para determinar las condiciones de su tratamiento, ya que de lo contrario podría existir riesgo en la salud de los pobladores del Zamorano. La medición de estos parámetros nos llevará a conocer las características individuales de los manantiales y así poder establecer posteriormente un manejo más apropiado para cada uno de ellos o bien conservar el mismo que se le ha dado hasta ahora si la calidad del agua producida es la apropiada.

1.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO

General:

Obtener la información necesaria para optimizar el manejo de los manantiales del cerro Uyuca.

Específicos:

1. Describir las características físicas y el comportamiento hidrológico de los manantiales abastecedores de agua de la EAP.
2. Determinar la calidad del agua colectada en cada manantial a través de la medición de: caudal, temperatura, turbidez, pH y el número de colonias de coliformes totales.
3. Comparar los resultados obtenidos dentro y entre los manantiales para conocer el comportamiento de éstos en el período lluvioso y en el período seco.
4. Proponer alternativas de manejo de los manantiales de acuerdo a los resultados obtenidos para reducir el riesgo de contaminación y asegurar agua de buena calidad a la comunidad Zamorana.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. ASPECTOS GENERALES

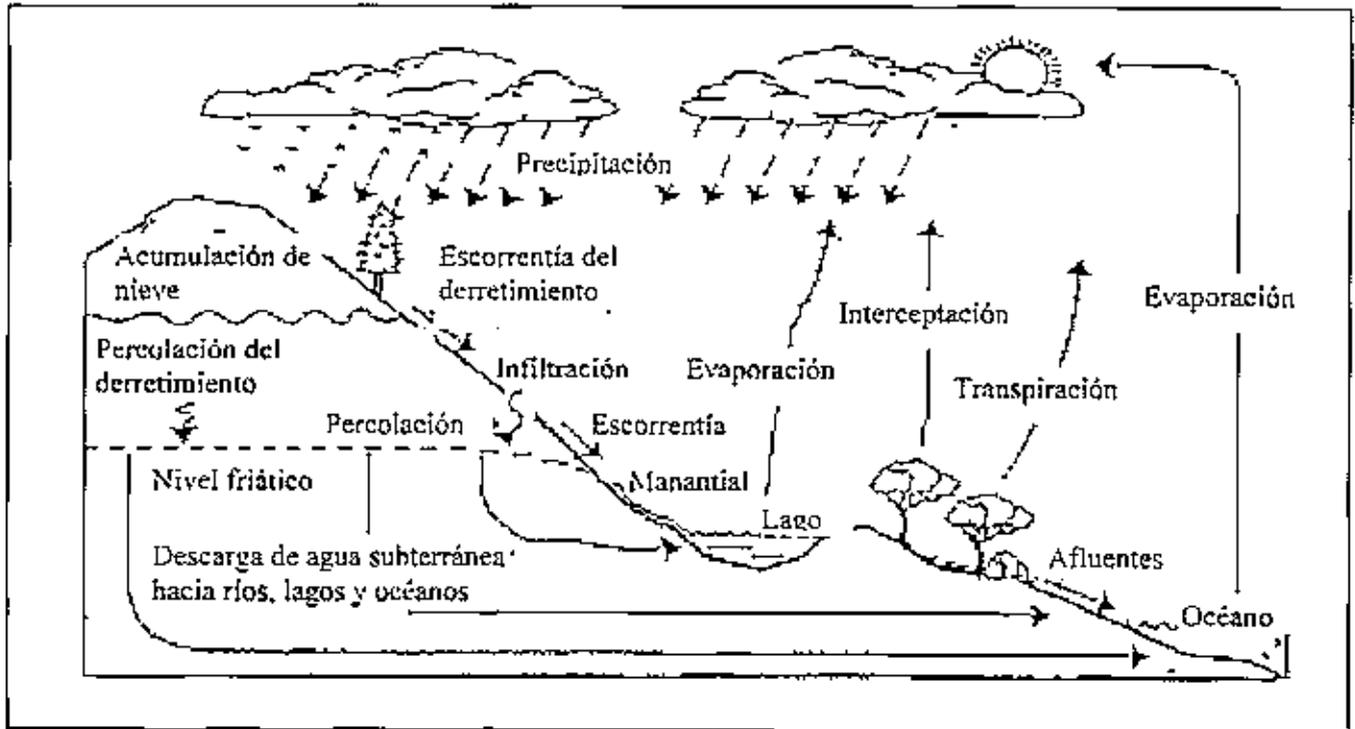
El agua es uno de los elementos básicos para el sostenimiento de la vida y es utilizada por la humanidad para satisfacer sus necesidades fisiológicas básicas y como recurso o insumo para mejorar sus condiciones de vida. De lo anterior podemos deducir que hay diferentes usos del agua que producen cambios inevitables en su calidad original (Cubillos, 1988).

Las fuentes de agua dulce son: ríos, lagos, lagunas, agua subterráneamente propiamente dicha y manantiales. El agua dulce se utiliza en un 70% en la agricultura, un 20% a la industria y un 10% para uso doméstico. Se estima que Latinoamérica cuenta con más de 23.000 m³ de agua dulce per cápita disponible, la cual es la mayor en todo el mundo. Aunque, la demanda de agua se ha incrementado debido a un crecimiento de la población, el ciclo hidrológico se ha mantenido constante, por lo que se afirma que existe la misma disponibilidad de agua. Con esto, podemos afirmar que el problema no es la poca cantidad o poca disponibilidad de agua, sino la poca accesibilidad de la población a este recurso, ya sea por la falta de infraestructura o por los precios subsidiados que pagan por ella. Siendo el agua un recurso de vital importancia para el hombre, las plantas y los animales es necesario darle un uso más racional y apropiado a este recurso.

2.2. GENERALIDADES DE LOS MANANTIALES

Parte de la lluvia que cae sobre la tierra, se infiltra en el suelo, en donde el agua se moviliza hasta llegar a la zona saturada o acuífera. Este movimiento vertical del agua puede transformarse en movimiento horizontal al encontrarse con una capa subterránea impermeable o al existir saturación del suelo. Los manantiales se forman debido al flujo horizontal y/o vertical del agua, el cual es favorecido por las condiciones geológicas y topográficas de la zona (Figura 1). Durante su movimiento en el suelo, el agua puede entrar en contacto con sustancias orgánicas e inorgánicas que pueden modificar sus características naturales. Por esta razón, es necesario realizar análisis de calidad del agua de una forma periódica para conocer posibles cambios ocurridos en su calidad y de esta

Figura 1. Ciclo Hidrológico.



Fuente: Dunne y Leopold (1978).

forma tratar de prevenir alguna contaminación, sea ésta directa o indirecta (Rheinheimer, 1987).

Para disminuir los riesgos de contaminación del agua en los manantiales se construyen cajas receptoras que colectan el agua y preservan su calidad natural (Anexo 1).

2.3. DEFINICIONES

Para entender mejor la problemática de la calidad del agua y ser más eficiente en la preservación o mejoramiento de la misma, es necesario conocer ciertas definiciones, tales como calidad del agua y agua contaminada.

Calidad del agua: Según Cubillos (1988) calidad del agua. "Es el conjunto de características físicas, químicas y biológicas del agua en su estado natural o después de ser alteradas por la acción del hombre". De la definición se desprende que el estudio de la calidad del agua abarca principalmente las características de las aguas naturales, los cambios ocasionados por la intervención del hombre, los efectos de esos cambios, los métodos del control de la calidad y la polución.

Agua contaminada: Según Cubillos (1988), la descarga de materiales de desecho al agua degrada su calidad, es decir, la hace menos apropiada para su uso. En el deterioro de la calidad del agua intervienen las características físicas, químicas y agentes biológicos. Para la OPS (1987), agua contaminada, es aquella que tiene alterada sus características propias naturales, causada por cualquier tipo de contaminante, y su nivel de contaminación depende del uso que se le va a dar al agua (restricción de uso).

2.4. FUENTES DE CONTAMINACION

Las fuentes de contaminación pueden ser clasificadas en puntuales y no puntuales de acuerdo a su origen y concentración.

2.4.1. Puntual

Las fuentes de contaminación puntual son aquellas, en donde, el contaminante tiene origen concentrado y proviene de un lugar específico, como por ejemplo: una alcantarilla de aguas negras, el efluente de una planta industrial (Lee, 1996). Las características de los

desechos industriales dependen del tipo de industria y del grado de tratamiento que reciben, sin embargo en la mayoría de los casos los desechos industriales son vertidos a los cuerpos de agua sin ningún tratamiento previo. Actualmente las autoridades ambientales están tratando de monitorear estas descargas para disminuir la contaminación, como es el caso de la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) en los EE.UU (Huber, 1992).

2.4.2. No puntual

Las fuentes de contaminación no puntual son aquellas en donde el contaminante tiene origen disperso y se acumula en un volumen o área de gran dimensión, como por ejemplo: escorrentía contaminada con pesticidas de una plantación agrícola, sedimento lavado de una pendiente desnuda por deforestación, lavado de hidrocarburos de la superficie de una carretera (Lee, 1996).

2.5. TIPOS DE CONTAMINANTES DEL AGUA

Según Cubillos (1988), los tipos de contaminantes los podemos clasificar en tres grupos: Químicos, físicos y biológicos.

2.5.1. Químicos

Los contaminantes químicos se pueden clasificar en orgánicos e inorgánicos:

Químicos orgánicos: En este grupo se incluyen los compuestos biodegradables, detergentes y biocidas. Entre los efectos de estos contaminantes se puede mencionar el incremento en la demanda de oxígeno para su oxidación y efectos tóxicos de diverso grado sobre la biota.

Químicos inorgánicos: Este grupo incluye sales minerales que se encuentran normalmente en las aguas y llegan a deteriorar su calidad una vez que alcanzan concentraciones que alteran sus propiedades. También incluye los ácidos y álcalis que modifican el ambiente acuático hasta hacerlo desfavorable a algunas especies acuáticas. Así mismo incluye los metales pesados (mercurio, cadmio y plomo) que se acumulan en la cadena trófica, afectando la biota y al hombre; los detergentes difíciles de degradar y tóxicos de la industria química.

2.5.2. Físicos

Entre los contaminantes físicos tenemos: el calor, el cual modifica el ambiente acuático y afecta la biota, estos efectos son irreversibles cuando el cambio de temperatura es mayor a 2 °C. pudiendo ocasionar alteraciones en procesos vitales de los microorganismos, tal como un aumento en su tasa de respiración. Los sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables (sólidos totales) así como el color disminuyen la penetración de la luz y la actividad fotosintética de las algas y las plantas acuáticas. La radioactividad destruye tejidos, es el contaminante mejor controlado en los lugares donde se produce, se han desarrollado métodos de manejo, control y disposición rigurosa. La radioactividad del suelo, agua y aire puede provenir de fuentes naturales, explosiones nucleares y accidentes en centrales de energía atómica y lugares donde se usan compuestos radioactivos.

2.5.3. Biológicos

Los contaminantes biológicos que más preocupan al hombre son los microorganismos patógenos (contaminación microbiológica), capaces de transmitir enfermedades a veces endémicas. Si no se utilizan prácticas de saneamiento ambiental apropiadas, puede ser un problema muy grave para la salud humana.

2.6. CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA DEL AGUA

La presencia de humanos y de animales en la parte alta de los manantiales puede ser causa de contaminación microbiológica. Esto podría ocurrir debido a la infiltración de los desechos hasta alcanzar la corriente de agua subterránea o llegar al manantial a través de la escorrentía superficial (SANAA, 1993). Según Ochoa¹ si existiera contaminación microbiológica significaría que existen focos de contaminación cercanos y/o que la velocidad de infiltración del agua es rápida y pasa por un foco de contaminación lejano (Anexo 2).

La contaminación fecal del agua puede incorporar una amplia variedad de organismos patógenos intestinales-bacterianos, virales y parasitarios, cuya presencia está relacionada con un sinnúmero de enfermedades con distinto grado de virulencia. La gravedad del daño va desde una ligera gastroenteritis hasta casos graves de disentería, cólera o tifoidea. En muchos casos estas enfermedades han ocasionado epidemias masivas con un alto índice de mortalidad (OPS, 1987).

¹ OCHOA, R. 1996. Contaminación microbiológica de los manantiales. Tegucigalpa, Honduras. Programa de asistencia técnica y coordinación de hidrogeología del SANAA. (Comunicación personal).

Debido a que pueden existir diversos microorganismos patógenos en el agua, existe una amplia gama de dosis mínima suficiente para causar infección en el ser humano, dependiendo de la especie patógena y de las características de las personas, entre ellos: edad, estado nutricional y de salud en general de la persona al momento de la exposición (Rheinheiner, 1987).

De acuerdo a las características geológicas de cada lugar, los manantiales difieren en su rendimiento, temperatura y por los minerales presentes, pudiendo modificar la microbiología de estas aguas, como por ejemplo: en las fuentes de agua que contienen hierro, es frecuente encontrar siderobacterias, como *Gallionera ferruginae*, *Leptothrix ochracea* y *Cenothix polyspora* (Rheinheiner, 1987).

2.6.1. Microorganismos presentes en el agua

En el agua se pueden encontrar un sinnúmero de microorganismos, que pueden ocasionar problemas de salud. Entre estos microorganismos tenemos: bacterias, hongos, organismos de vida libre, virus, protozoos intestinales y helmintos.

2.6.1.1. Bacterias

Las bacterias son los microorganismos más profundamente distribuidos en el agua. Se encuentran aún en las aguas atmosféricas que jamás estuvieron en contacto con la tierra, abundan en las aguas superficiales y en pequeños números en las aguas subterráneas y manantiales (Lerman, s.f).

Algunas bacterias patógenas son las causantes de enfermedades intestinales, entre ellas tenemos: *Salmonellas*, *Shigellas*, *Vibrio cholerae* (*Vibriocomo del cólera*), *Endomeba histolítica*, *Escherichla coli*, *Enterotoxígena*, *Yersinia enterocolitica* y *Campylobacter fetus*. Todas estas bacterias intestinales son capaces de permanecer vivas en el agua solamente por un tiempo limitado, pero su número es a menudo alto en el agua contaminada, donde las formas patógenas conservan su virulencia por mucho tiempo (OPS, 1987).

- Características generales de las bacterias:

En la mayoría de las aguas predominan las bacterias gramnegativas que a menudo exhiben diferencias de tamaño muy notables. La mayor parte de las bacterias son móviles, y por lo general, se movilizan por medio de flagelos, también hay algunas que reptan sobre sustratos sólidos, sin embargo el movimiento propio de los microorganismos no tiene importancia desde el punto de vista de su distribución, la cual es alcanzada principalmente por el efecto de arrastre de las aguas. Estas bacterias acuáticas no constituyen un grupo

homogéneo desde el punto de vista sistemático, pues representan casi todas las órdenes de la clase bacteria (Rheinheimer, 1987).

La composición de la flora bacteriana es muy variable según la clase de agua. Esta depende principalmente de la concentración de sales y sustancias orgánicas, del pH, turbidez y temperatura, así como también de la fuente de contaminación de cada caso. La mayoría de las bacterias de las aguas son organismos C-heterótrofos, es decir, se trata de gérmenes que se alimentan de sustancias orgánicas. Casi todas son saprófitas, o sea que viven sobre material muerto de origen vegetal o animal. Además, en el agua hay bacterias fotoautótrofas y quimioautótrofas, que sólo necesitan sustancias nutritivas inorgánicas. Algunas fotoautótrofas están capacitadas para la fotosíntesis (como las plantas verdes) o pueden reducir el ácido carbónico y sintetizar sustancias orgánicas, a este grupo pertenecen las clorobacterias y las bacterias púrpura. Las azobacterias, sulfobacterias y algunas siderobacterias pertenecen a las quimioautótrofas. Algunas bacterias de las aguas son capaces de reunirse para construir grupos de células más o menos numerosas. Así, se observan agrupaciones en forma de esfera, óvalo, estrella, cinta, red o placa (Rheinheimer, 1987).

La mayoría de las bacterias de las aguas subterráneas, manantiales y los arroyos están presentes también en la tierra, por lo que en cierto modo estas bacterias tienen el mismo carácter que las del suelo. Por lo que la mayoría de estas bacterias acuáticas ostentan las mismas formas fundamentales que las terrestres, se trata por tanto, de células esféricas, bacilares o en forma de coma o espiral principalmente. Existe una diferencia en cuanto a la abundancia y riqueza de materias nutritivas, de tal modo, que en las capas superiores de la tierra las materias nutritivas son más abundantes y ricas que en la mayoría de las aguas, trayendo como consecuencia una flora bacteriana más compleja y diversa, mientras que, en el agua subterránea, se pueden desarrollar sólo las bacterias del suelo menos exigentes. Esta reducida presencia de microorganismos y sustancias nutritivas en el agua subterránea es consecuencia de la filtración del agua a través de las distintas capas del suelo (Rheinheimer, 1987).

Uno de los modos más importantes de transmisión de bacterias patógenas es la ingestión del agua contaminada, cuya importancia para propagar infecciones bacteriales varía mucho, tanto con el tipo de enfermedad como las circunstancias locales (OMS, 1993).

El reconocimiento de que las infecciones microbianas pueden ser transmitidas por el agua, ha dado lugar al desarrollo de métodos para efectuar exámenes de rutina, que garanticen que el agua destinada al consumo humano se encuentre libre de contaminación por excrementos (OPS, 1987). Según Lerman (s.f.), una opción lógica es detectar los organismos que normalmente estén presentes en las heces de los seres humanos y animales de sangre caliente como indicadores de contaminación por excrementos. La presencia de dichos organismos también indica la existencia de materia fecal, o sea que existe la posibilidad de que estén presentes organismos patógenos intestinales. A la inversa, la ausencia de organismos asociados fecales indicará, así mismo, que con toda posibilidad no habrá organismos patógenos. La búsqueda de dichos indicadores de

contaminación fecal proporciona de esa forma un medio para controlar la calidad del agua.

El uso de organismos intestinales normales como indicadores de contaminación fecal, en lugar de organismos patógenos, es un principio de aceptación universal en la vigilancia y evaluación de la seguridad microbiana en los sistemas de abastecimiento de agua potable. Los organismos indicadores deben abundar en los excrementos, pero deben estar ausentes o existir sólo en números reducidos en otras fuentes. Las principales características de los organismos indicadores es que son fáciles de aislar, identificar y enumerar. Igualmente deben sobrevivir más tiempo en el agua que los gérmenes patógenos y ser más resistentes a los desinfectantes. En la práctica, todos estos criterios no pueden darse en un solo organismo, las bacterias coliformes cumplen muchos de ellos, especialmente la *Escherichia coli* que es el principal indicador de contaminación por materia fecal de origen humano o animal. Otros organismos indicadores son: *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. Es preciso tener en cuenta que las bacterias coliformes no provienen sólo de heces de los animales de sangre caliente sino también de la vegetación y el suelo (OPS, 1987).

Cuando existan dudas, especialmente cuando se han encontrado organismos coliformes y hay ausencia de bacterias coliformes fecales y de *E. coli*, se pueden usar otros organismos indicadores que confirmen que la contaminación es de naturaleza excrementicia, entre estos indicadores secundarios están: *Streptococcus faecales* y *Clostridia sp.* (Rheinheiner, 1987).

- Clasificación general:

Según Lerman (s.f.), las bacterias encontradas en el agua pueden ser agrupadas " a grosso modo" en tres clases:

a) Bacterias del agua natural: Entre las más comunes están: *Pseudomonas*, y algunos *Flavobacterium* (amarillas) y *Chromobacterium* (anaranjadas). En general estas bacterias no representan ningún peligro, ya que no son organismos patógenos.

b) Bacterias del suelo: Entre las más comunes están: *Bacillus sp.* (gram positivas), tales como *B. cereus*, *B. mycolydes*, y otros que son esporulados. Como gram negativas tenemos *Aerobacillus sp.*, *Shuerotillus sp.*, *Cerutrix sp.* Esta clase de bacterias no son organismos patógenos, pero deterioran la calidad estética del agua.

c) Bacterias intestinales: El grupo más peligroso para la salud son las bacterias de origen fecal. Su presencia en el agua es indicio de contaminación. En este grupo se encuentran:

- Gram positivas:

i. *Clostridium sp.*(anaerobia), tales como: *C. sporogenes*, la cual no es patógena, y *C. perfringens*, la cual si es patógena.

ii. *Streptococo fecali*, su presencia indica contaminación reciente por aguas negras.
 - Gram negativas: *Escherichia coli*, es el microorganismo que más se usa como indicador de contaminación fecal.

Escherichia coli, *Enterobacter sp.*, *Klebsiella sp.*, *Citrobacter sp.*, son organismos coliformes, empleados comúnmente como indicadores de contaminación.

2.6.1.2. Hongos

En la mayoría de las aguas existen hongos y otros microorganismos. Se han descubierto ya numerosas especies que se encuentran en los cuerpos de aguas y se ha comprobado que en parte se trata de hongos acuáticos característicos que no podían desarrollarse en otros medios. Los hongos son generalmente organismos C-heterótrofos, por lo que necesitan de material orgánico para poder sobrevivir. La mayoría de los hongos acuáticos necesitan nitrógeno libre. Además de proteínas, azúcares, almidón y grasas, pueden desintegrar la pectina, las hemicelulosas, la celulosa, la lignina y la quitina. Hay hongos que se desarrollan tanto en las aguas ácidas como en las alcalinas, es decir, entre valores de pH de 3.2 y 9.6, como por ejemplo las especies *Achlya rucemosa* y *Saprolegnia monoica*. En cambio, otros necesitan que el medio acuoso sea ácido o alcalino. Los hongos muestran también un comportamiento muy diverso en cuanto a sus exigencias de temperatura adecuada, la inmensa mayoría de ellos son organismos mesófilos (Rheinheiner, 1987).

Según Cubillos (1988) los hongos son mucho más multiformes que las bacterias y se diferencian de éstas por el mayor tamaño de sus células. Los hongos son organismos eucarióticos, por lo que poseen núcleos celulares verdaderos. En el agua se encuentran los siguientes grupos de hongos:

- Míxomicetos: Labirintulomicetos (Labirintulados) y Plasmodioforomicetos (Míxomicetos).
- Hongos superiores: Ascomicetos, Basidiomicetos y Hongos imperfectos o deuteromicetos (hongos incompletos).
- Hongos inferiores: ficomicetos, que son los acuáticos propiamente dichos.

Según Rheinheiner (1987) los hongos, se desarrollan donde existen concentraciones de nutrientes en cantidades suficientes para cumplir con sus necesidades básicas de sobrevivencia y desarrollo, por lo que no tienen ninguna importancia en la microflora de las aguas subterráneas y manantiales, ya que estas aguas se caracterizan por contener una escasa concentración de principios nutritivos.

2.6.1.3. Organismos de vida libre

Un ejemplo muy palpable son las algas, que pueden producir sustancias tóxicas, que pueden causar efectos negativos en la salud humana, pero en los manantiales no representan un problema común, por las condiciones biológicas adversas, que estos

presentan, tal como la escasa cantidad de nutrientes. Sin embargo, en condiciones propicias puede ocasionar problemas de salud, tal es el caso de una relación entre altas concentraciones de algas verdiazules y brotes de gastroenteritis en la India, las Filipinas y los EE.UU (OPS, 1987).

2.6.1.4. Virus

Los virus más importantes son los que se multiplican en el intestino y son expelidos en gran número en las heces de los individuos afectados. Aún cuando la reproducción de los virus no ocurre fuera de los huéspedes vivos, los virus entéricos tienen una gran habilidad para sobrevivir en el ambiente acuático y pueden permanecer en estado viable por días o meses. Pero, en el caso de los manantiales estos no representan un problema muy común, ya que necesitan de organismos vivos para poder subsistir, al contrario de las aguas superficiales en donde se encuentra una gran cantidad de organismos, lo que permite su sobrevivencia, pudiendo así transmitir enfermedades tales como: gastroenteritis, meningitis y hepatitis infecciosa (OPS, 1987).

2.6.1.5. Protozoos intestinales y Helminthos

Los Protozoos intestinales pueden ser agentes patógenos, sin embargo la infección es más asociada al contacto recreativo que al hecho de haber ingerido agua, mientras que en el caso de los Helminthos no es ni factible ni necesario vigilar su presencia en el agua como actividad habitual (OPS, 1987).

2.6. 2. Factores que afectan a los microorganismos presentes en el agua

Según la OPS (1987) hay un gran número de factores físicos y químicos que influyen sobre el desarrollo de los microorganismos de las aguas, estos factores ejercen una acción múltiple, ya sea cooperando unos con otros, en el mismo sentido o bien oponiéndose entre sí. Esta influencia, no se circunscribe al volumen y composición específica de las poblaciones microbianas, sino que repercute también sobre la morfología y fisiología de las bacterias y hongos. Así, algunos parámetros del agua como ser: caudal, temperatura, turbidez, pH y otros, cuyos valores sean superiores o inferiores a los óptimos, pueden alterar considerablemente el metabolismo, la forma celular y la reproducción de algunas especies de microorganismos en el agua.

2.6.2.1. Caudal

Según Lee² el caudal va a estar determinado por el volumen de las precipitaciones que caen sobre la superficie de la tierra en un determinado período de tiempo, por lo que

² LEE, M. 1996. Calidad del agua. Catedrático de la Universidad de California, EE.UU. (Comunicación personal).

puede estar sujeto a oscilaciones periódicas según las estaciones climáticas, teniéndose de esta forma caudales menores en la época seca y mayores en la época lluviosa. Es necesario, tener en cuenta que el agua misma representada por sus caudales es la encargada del transporte de los microorganismos, por lo que potencialmente se espera mayor riesgo de contaminación en los períodos de mayor precipitación.

2.6.2.2. Temperatura

Según Rheinheiner (1987), las manifestaciones vitales de todos los microorganismos están supeditadas a la temperatura, las bacterias, las cianolíceas y los hongos no pueden desarrollarse sino dentro de un margen de temperatura, que se estima entre -10°C a 100°C . Dentro de estos límites la temperatura influye sobre la tasa de crecimiento, las necesidades nutritivas y en una forma poca significativa sobre la composición enzimática y química del agua.

Se han observado variaciones estacionales en los recuentos de bacterias coliformes en las fuentes de agua natural. No obstante la temperatura sería nada más una de una serie de factores abióticos que lleven a esta variación (OPS, 1987).

Según Ochoa³ (1996), el conocer la temperatura de los manantiales nos permite determinar si este proviene de infiltración (temperaturas normales o ambientales) o de corrientes térmicas (altas temperaturas).

2.6.2.3. Turbidez.

Las partículas orgánicas e inorgánicas que existen en el agua pueden ser fuente de alimento de los microorganismos y además los pueden proteger ante cualquier adversidad. En general, las partículas orgánicas parecen tener poco o ningún efecto protector, al contrario de las partículas inorgánicas que pueden ofrecer una protección efectiva a los microorganismos asociados a ellas. En gran medida el grado de protección que se proporciona se determinará por la naturaleza de las partículas y no por la cantidad en que estén presentes (OPS, 1987).

El crecimiento microbiano es más intenso en la superficie de la partículas presentes en el agua, esto se debe ahí hay mayor disponibilidad de nutrientes para el crecimiento y reproducción de las bacterias en comparación con las que se hallan en suspensión libre. La capacidad adsorptiva de algunas partículas en suspensión puede conducir a la captura de compuestos orgánicos e inorgánicos perniciosos que se encuentran en el agua y de ese modo la turbidez puede tener una relación directa con aspectos de la calidad del agua. En ese sentido, es muy importante el componente orgánico o húmico de la turbidez (OPS, 1987).

³ OCHOA, R. 1996. Temperatura del agua de los manantiales. Tegucigalpa, Honduras. Programa de asistencia técnica y coordinación de hidrogeología del SANAA. (Comunicación Personal).

Según Ochoa⁴ el agua de los manantiales no suele tener materia en suspensión debido a la filtración que sufre al pasar por los estratos porosos de la tierra, por lo tanto la turbidez en éstos casos se daría únicamente por tobas descompuestas provenientes de cenizas volcánicas, las cuales están formadas por feldespatos y vidrios que se descomponen en arcillas. Lo anterior quiere decir, que al presentarse turbidez en un manantial sería una turbidez coloidal y no una turbidez causada por sustancias orgánicas e inorgánicas.

Cuando no varía la riqueza de los principios nutritivos la diferencia de enturbamiento en las aguas menos dinámicas no repercute siempre sobre el número de bacterias. De ahí, que en general se pueda afirmar que los incrementos de la turbidez de las aguas, que vayan acompañados de una elevación considerable del número de bacterias, sean atribuibles al menos en parte, a un aumento de las materias orgánicas en suspensión. Por el contrario, si la concentración bacteriana varía muy poco, hay que buscar las causas en las sustancias inorgánicas que flotan en el agua. Por tanto, el paralelismo existente entre el grado de enturbamiento y el número total de bacterias permite deducir en cierto modo la naturaleza de las materias que privan al agua de su transparencia. La luz solar ejerce inhibición en el crecimiento de la mayoría de los microorganismos presentes en el agua, ya que si se da una afección directa puede inhibir un sinnúmero de procesos vitales característicos de los microorganismos, tales como respiración y reproducción entre otros. En resumen, se puede afirmar que la turbidez ejerce influencia sobre la composición de la microflora de las aguas. Esta influencia es indirecta y sus efectos dependen sobre todo del funcionamiento de otros factores, como, la luz, pH, temperatura y la cantidad y calidad de sus sustancias alimenticias (Rheinheiner 1987).

La cantidad de turbidez del agua se mide en Unidades de turbiedad nefelométrica (NTU), y para fines de consumo humano se recomienda que el agua no exceda el valor de 5 NTU aunque el óptimo debe ser valores menores de 1 NTU (OMS/OPS 1995).

2.6.2.2. pH

Según Ochoa⁵ el valor de pH del agua de los manantiales nos indica la naturaleza química de las rocas por donde el agua pasa durante su infiltración o movimiento subterráneo. El pH del agua influye notablemente sobre el crecimiento y reproducción de los microorganismos. La mayoría de las bacterias se desarrollan dentro de un rango margen de pH de 4 a 9, siendo el óptimo para la mayoría de las bacterias 6,5 a 8,5. Hay algunas bacterias, como las acidófilas que crecen en un medio con pH de 3 o inferior a éste (Rheinheiner, 1987).

Las aguas fluviales contienen cantidades apreciables de Dióxido de Carbono (CO₂) en disolución, esto hace que el agua sea ácida (condición independiente de cualquier otra acidez que pueda presentarse debido a otras sustancias), y aumente su poder disolvente

⁴ OCHOA, R. 1996. Turbidez del agua de los manantiales. Tegucigalpa, Honduras. Programade asistencia técnica y coordinación de hidrogeología del SANAA. (Comunicación Personal).

⁵ OCHOA, R. 1996. pH del agua de los manantiales. Tegucigalpa, Honduras. Programade asistencia técnica y coordinación de hidrogeología del SANAA. (Comunicación Personal).

cuando pasa a través del suelo, debido a la acción del CO_2 , los carbonatos de calcio y de magnesio en forma de bicarbonatos. En las aguas de los manantiales tampoco se encuentra la acidez causada por ácidos minerales, al ser estos neutralizados por los óxidos terrosos (Mattheus, 1958).

2.6.3. Pruebas biológicas de calidad del agua

Según Rheinheiner (1987), actualmente, los exámenes frecuentes del agua potable para detectar la presencia de bacterias fecales, sigue siendo la única forma práctica y económica para asegurar calidad microbiológica del agua de consumo humano.

Para la prueba de coliformes totales, se pueden usar las técnicas de la membrana filtrante y la de tubos múltiples principalmente, la primera es la más usada, porque es altamente reproducible, además, puede ser usada en pruebas relativamente grandes en volumen de muestras, y producir resultados más rápidos que el método de tubos múltiples. La técnica de la membrana filtrante es altamente útil para monitorear agua potable y una variedad de aguas naturales, sin embargo ésta técnica tiene sus limitaciones, particularmente cuando se está examinando agua de alta turbiedad o sin bacterias coliformes (APHA et al., 1992).

Otros parámetros para la evaluación de la calidad del agua potable son el sabor y el olor, los cuales son complementarios. En general, el sentido del gusto es más útil para detectar constituyentes inorgánicos del agua potable, mientras que el sentido del olfato es más útil para detectar los componentes orgánicos. Las fuentes de agua subterránea son las que presentan menos problemas de olor y sabor. El inconveniente de éstas pruebas es la necesidad de un grupo de jueces o catadores experimentados en la distinción de anomalías en el agua (OPS, 1987).

2.7. DESINFECCION

Desinfección es el proceso por el cual se inhibe la actividad de todos los microorganismos presentes en un medio determinado. En cambio, esterilización es la destrucción o inactivación de todos los microorganismos, incluyendo bacterias, quistes de amebas, algas, esporas y virus presentes en un volumen de agua (Weber, 1979).

2.7.1. Generalidades

“De todos los procesos físicoquímicos usados hoy en día, la desinfección es el proceso que se ha usado más años para el control de la calidad del agua.”(Weber, 1979).

“El mecanismo de destrucción de los microorganismos en la desinfección depende principalmente de la naturaleza del desinfectante y del tipo de organismo. Aunque los mecanismos de desinfección no están completamente esclarecidos, existe evidencia de que la mayor parte de los desinfectantes destruyen la proteína celular, principalmente por inactivación de los sistemas enzimáticos críticos de las enzimas esenciales para la vida microbiológica (Rheinheiner, 1987). La destrucción o inactivación de la proteína enzimática se lleva a cabo de varias maneras, según el tipo de desinfectante y/o proceso de desinfección” (Weber, 1979).

2.7.2. Métodos de desinfección del agua

Los métodos de desinfección del agua que generalmente se utilizan son: el químico y el no químico.

- Químico: Este tipo de desinfección se emplea para el tratamiento de grandes volúmenes de agua, por su menor costo y mayor facilidad de manejo. Los compuestos que se utilizan como desinfectantes son capaces de oxidar a los compuestos orgánicos, pueden actuar como desinfectantes por degradación química directa de la materia celular. Entre estos compuestos tenemos: cloro, dióxido de carbono y ozono (Weber, 1979).

Según Moncada ⁴ el cloro en presentación de gas elimina las bacterias coliformes, mientras que el cloro líquido sólo las inactiva inhibiendo su crecimiento.

- No químico: Se utiliza en situaciones en que deban tratarse pequeños volúmenes de agua. Este tipo de desinfección produce la destrucción física de los microorganismos. Entre estos métodos tenemos: térmicos (calor y congelamiento), radiaciones ultravioleta y radiaciones gamma y x (Weber, 1979).

⁴ MONCADA, J. 1997. Desinfección química del agua . El Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. Asistente de investigación. (Comunicación personal).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en los manantiales del Cerro Uyuca de la Escuela Agrícola Panamericana (El Zamorano), el cual está ubicado en el Departamento de Francisco Morazán, aproximadamente entre el kilómetro 17 y 24 carretera Tegucigalpa - Danlí. El Cerro Uyuca presenta altitudes que van desde los 1000 a 2008 msnm, con una temperatura y precipitación promedio anual de 19 °C y 1342 mm respectivamente, mientras que en el valle del Zamorano la precipitación promedio anual es de 1024 mm.

El Cerro Uyuca es de origen volcánico, presentando un suelo con características rocosas y un alto contenido de materia orgánica. Además, la topografía predominante es muy irregular, presentando pendientes mayores de 100 % en una gran parte de su área. La cobertura vegetal del Cerro Uyuca es dominada principalmente por pinos en la parte baja y media y árboles latifoliados en la parte alta, los cuales captan una buena cantidad de precipitación horizontal. Los manantiales se encuentran ubicados en las faldas del costado noreste del Cerro.

En esta zona geográfica, a lo largo del año se cuenta con una época lluviosa y una seca. La primera por lo general se presenta entre los meses de mayo a octubre, existiendo un período sin precipitaciones entre el 15 de julio y el 15 de agosto. Sin embargo, en 1996 éste período se presentó en el mes de septiembre. La época seca se presenta entre los meses de noviembre a abril.

3.2. DESCRIPCION DEL ESTUDIO

A través de este trabajo se estudió la calidad del agua que producen los manantiales del Cerro Uyuca, la cual se usa para el consumo doméstico del Zamorano. Aún, cuando el agua que proviene de los manantiales es parte fundamental para el buen funcionamiento del Zamorano, hasta la fecha no se había realizado un estudio básico que brinde información acerca del comportamiento individual de los manantiales y así poder darles el manejo más apropiado para garantizar agua en buena cantidad y calidad.

En el presente estudio se midieron cinco parámetros de calidad del agua, los cuales son: caudal, temperatura, turbidez, pH y número de colonias de coliformes totales (CCT). La medición de colonias de coliformes totales y turbidez no permite conocer la calidad biológica y física o coloidal del agua respectivamente. El conocer el valor de pH del agua nos permite saber con que tipo de sustancias químicas tiene contacto en su recorrido. La temperatura nos indica la proveniencia del agua (termal o fluvial) además puede tener efectos sobre los otros parámetros de calidad del agua. En general el estudio de estos parámetros nos permitirá conocer la calidad del agua producida por cada manantial y cual es la relación con el ambiente superficial para diseñar un manejo individual más apropiado.

Por considerarse que el agua de los manantiales se ha infiltrado a grandes profundidades y que las mismas no tienen contacto con la superficie del suelo, se asumió la ausencia de coliformes totales (CCT) y de turbidez. Además se asumió la igualdad en pH y temperatura, en cada uno de los manantiales por considerarse que provienen de las mismas condiciones geológicas. Como es de esperarse se asumió variación en el caudal. También se asumió la uniformidad en espacio y tiempo de todos los parámetros. Esto consiste en que en la medición de estos parámetros no influyó la hora del día en que fueron tomadas las muestras (mañana y tarde), ni tampoco el período en que fueron tomadas (con precipitaciones o sin precipitaciones).

Se usó el Sistema de Posición Geográfico (GPS), de fotos aéreas, hojas cartográficas y de mapas de propiedad del Zamorano para poder elaborar un mapa de ubicación geográfica de los manantiales y la cuenca que los alberga, el Cerro Uyuca y la comunidad de Joya Grande (Anexo 3 y 4), la cual representa una potencial contaminación para estas fuentes de agua.

3.3. SELECCION DE SITIOS DE MUESTREOS

Los sitios de muestreos fueron las cajas receptoras de 10 manantiales, ubicados dentro de propiedades del Zamorano en el Cerro Uyuca. En el cuadro 1, se puede observar en detalle la ubicación geográfica de cada manantial y su altura a nivel del mar.

Cuadro1. Ubicación geográfica de los manantiales abastecedores de agua del Zamorano.

Manantiales (#)	Ubicación geográfica (UTM)		Altura (msnm)
	Norte	Este	
1 ⁷	1549826	495340	1036
A	1549821	495350	1028
B	1549834	495370	1044
2	1549847	495354	1051
3	1550541	494849	1146
4	1549842	495037	1120
5	1549806	495027	1110
6	1549797	495025	1114
7	1549788	495023	1104
8	1550154	494984	1148
9	1550053	494995	1133
10	1549654	495046	1078
11 ⁸	1549731	495005	1102
Caja recolectora ⁹	1549637	495040	1076

3.3.1. Descripción física de las cajas receptoras (manantial)

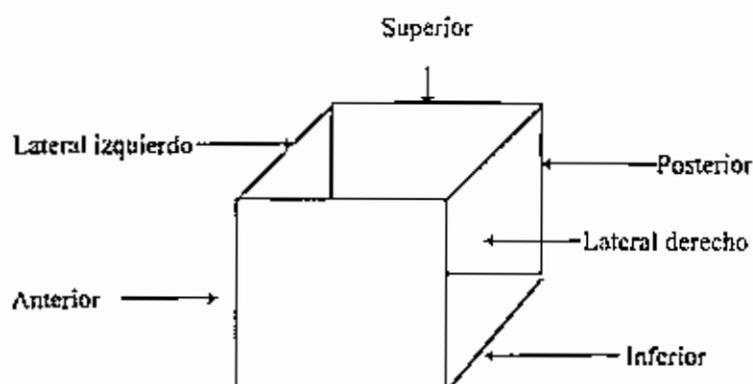
En este inciso se pretende dar una descripción gráfica representativa de las cajas receptoras de los manantiales.

⁷ Este manantial resulta de la unión de los manantiales A y B, por lo que en el muestreo se tomó como una sola unidad, es decir un solo manantial, presentando la ubicación y altura de los manantiales A y B como información adicional.

⁸ Este manantial no se muestreó, ya que su estructura está completamente sellada, por lo que resulta imposible la toma de datos, presentando la ubicación y altura de este como manantial adicional.

⁹ Es una caja recolectora de agua de todos los manantiales, con excepción del # 1 y 2. Los datos de los muestreos no se incluyeron en el análisis estadístico sólo en el comparativo.

Figura 2. Estructura de la caja receptora del agua de los manantiales.



El acceso interno a las cajas recolectoras se hace a través de una compuerta, ubicada por lo general en la parte superior de ésta, a excepción de algunas cajas que la tienen ubicada en el costado anterior. El acceso a los manantiales es restringido a personas y animales por medio de mallas metálicas. Los manantiales que presentaban más riesgos de contaminación por la acción de personas se les cubrió la compuerta con tierra.

Para mejorar la calidad del agua, que sale de las cajas recolectoras se usó los filtros de arena fina, o de piedra triturada (grava). Se observó que algunas de las cajas carecen de éstos filtros. Estos filtros no son más que una capa de arena fina o de piedra triturada (grava) ubicada en la parte inferior de cada caja receptora.

Todos los manantiales están contruidos de mampostería (cemento + piedra), a la cual generalmente se le da un acabado con mortero (arena + cemento) y algunos presentan el lado inferior hecho de concreto (arena + cemento + grava).

Manantiales A y B

El agua llega tanto por fisura como por afloramiento, la parte inferior es de mampostería, algunas piedras de estas están sueltas notándose la acumulación de tierra y raíces de árboles. La parte superior es de concreto, con una compuerta de hierro. Los restantes cuatro lados que conforman la caja son de mampostería. Tiene un orificio de salida de agua, pero no presenta orificios para limpieza. Se encontró dentro de la caja la presencia de raíces de árboles. Ambos manantiales alimentan de agua al manantial # 1.

Manantial # 1

El agua llega a esta caja por medio de un tubo que proviene de los manantiales A y B. Posee un orificio de entrada y otro de salida del agua, y tres más para limpieza. En la parte inferior de la caja hay poca grava. La compuerta es de hierro y está ubicada en la parte superior. En general, presenta una estructura bien hermética, por lo que presenta pocas posibilidades de contaminación.

Manantial # 2

Es un manantial donde el agua llega por fisura, con la parte inferior cubierta por tierra fina, y también se nota la presencia de piedras. La parte superior es de concreto, y presenta fisuras por donde el agua puede penetrar en forma de gotas cuando el concreto está bien húmedo, lo que podría ser un riesgo de contaminación. Los otros cuatro lados que conforman la caja son de mampostería. Presenta un orificio de salida del agua, pero no hay orificio de limpieza. La compuerta de hierro está ubicada en el lado anterior. Se encontró dentro de la caja la presencia de raíces de árboles.

Manantial # 3

El agua llega por fisura, la parte superior es de concreto, y ahí está ubicada la compuerta de hierro, la cual es tapada por cuatro losetas de concreto, las que se cubren con tierra para evitar peligro de contaminación por las personas. Cuando llueve esta tierra guarda humedad, lográndose la infiltración del agua hasta la compuerta, para posteriormente deslizarse por los bordos de dicha compuerta y entrar en contacto directo con el agua del interior de la caja, por lo que se aprecia un factor de contaminación. La parte inferior es de concreto, y está cubierta por un poco de piedras y arena fina. Se notó la presencia de raíces de árboles. El costado por donde sale el agua es de mampostería y los restantes tres lados que conforman la caja son de concreto. La caja tiene un orificio de salida del agua y tres de limpieza.

Manantial # 4

El agua llega por fisura en tubos de PVC. En la parte superior se encuentra la compuerta de hierro, la cual al no haber losetas de concreto, es cubierta directamente por tierra, ocurriendo de esta forma un más acentuado riesgo de contaminación que el que presenta el manantial # 3. La parte inferior es de concreto, está cubierta por una capa gruesa de piedra y tierra fina. Los otros cuatro lados que conforman la caja son de mampostería. Tiene un orificio de salida y dos de limpieza. Se notó la presencia de raíces de árboles.

Manantial # 5

Este manantial nace debajo de la carretera Tegucigalpa - Danlí, pero el agua es conducida hacia un lado de la carretera, llevándola primero a una caja recolectora a la que no se le conoce sus dimensiones, ya que está enterrada, y posteriormente se traslada a una caja de

pase, en la que todos sus lados son de mampostería, la compuerta es de concreto, que a su vez es completamente toda la parte superior de dicha caja. Esta compuerta a diferencia de las otras no está asegurada con candados, siendo así un peligro por cualquier tipo de contaminación mal intencionada por cualquier persona. Esta tapa está a la altura del suelo, lo que puede ser un riesgo de contaminación. Esta caja de pase tiene un orificio de entrada y uno salida de agua, no presenta orificios de limpieza. Se notó la ausencia de arena, tierra y raíces.

Manantial # 6

El agua llega por fisura. La propia superficie del cerro, constituye un lado de la caja recolectora, es decir, a diferencia de las demás cajas la parte de donde sale el agua no presenta material de construcción, sino que es directamente la superficie del cerro el que forma uno de los costados internos que conforman la caja, por lo que se nota la presencia de rocas y tierra con un alto contenido de arcilla y de óxido ferroso, la cual es característica del cerro Uyuca. La parte inferior está constituido de tierra con las características anteriormente descritas. La parte superior es de concreto y los otros tres lados que conforman la caja son de mampostería. La compuerta está ubicada en la parte superior y no está protegida por losetas, está cubierta por tierra, por lo que presenta el mismo riesgo de contaminación que el descrito en el manantial # 4. Esta caja presenta un orificio de entrada de agua y otro de salida, no hay orificios de limpieza. Se encontró la presencia de raíces de árboles

Manantial # 7

El agua llega por fisura en tubos de PVC. La parte inferior es de concreto, mientras que la parte superior y las otros cuatro lados que conforman la caja son de concreto. Hay bastante piedra y arcilla fina de color blanco. La compuerta también está ubicada en la parte superior y está cubierta por tierra, presentando los mismos riesgos de contaminación que el manantial # 4 y # 5. Presenta un orificio de salida y otro de limpieza y se encontró raíces de árboles.

Manantial # 8

El agua llega por fisura. La parte inferior es de concreto. En la parte superior que es de concreto se encuentran ubicadas dos compuertas. Los otros cuatro lados que conforman la caja están fabricadas de mampostería. Se notó la presencia abundante de piedras y arena. Presenta un orificio de salida y otro de limpieza.

Manantial # 9

El agua llega por fisura. La parte inferior está constituida por tierra. La parte superior y los otros cuatro lados que conforman la caja son de concreto. La compuerta está ubicado en la parte superior de la caja. Hay tierra, y un poco de piedra y arena con bastante óxido ferroso. Presenta un orificio de salida, pero no hay de limpieza.

Manantial # 10

El agua llega por fisura. Al igual que el manantial # 6, la superficie del cerro forma parte directa de las partes de la caja recolectora, que en este caso en vez de ser un costado como es en el manantial # 6 son tres costados. la parte inferior es de tierra. Se nota la presencia de piedra y óxido ferroso. La parte superior es de concreto. El costado anterior de la caja es de mampostería y en ésta está ubicada la compuerta. Tiene orificio de salida, pero no de limpieza.

Caja recolectora

El agua llega a la caja recolectora transportada por tubos desde varios manantiales. La caja tiene: tres orificios de entrada, uno de salida y dos de limpieza. Toda la caja es de mampostería. Se notó la presencia de arena.

3.4. PERIODOS DE MUESTREO

Los muestreos se realizaron en base a un período lluvioso y un período seco, es decir se tomaron muestras de los dos períodos para posteriormente hacer una comparación entre ambos y saber de esta forma si existe influencia de las precipitaciones sobre los parámetros estudiados.

En el año 1996 en el valle del Zamorano se dio una prolongación de la canícula hasta el mes de septiembre, realizando en este tiempo el muestreo del período seco, ya que para tomar esas muestras era necesario que hubiera sino la verdadera época seca, un período mínimo sin precipitaciones de siete días o que las precipitaciones fueran dispersas y de poca cantidad. Las muestras correspondientes a la época lluviosa, fueron tomadas al momento de ocurrir las precipitaciones después de la prolongada canícula. Todas las muestras fueron recolectadas en un intervalo aproximado de una semana (Cuadro 2).

Cuadro 2. Fechas de muestreo y las precipitaciones acumuladas y registradas en la semana previa a la fecha de muestreo en el Zamorano y Cerro Uyuca.

Períodos	Fechas	Precipitación acumulada por período estación Zamorano (mm) ¹⁰	Precipitación acumulada por período estación Uyuca (mm) ¹¹
seco	05/09/1996	1	29.1
seco	10/09/1996	13	34.5
seco	20/09/1996	5	23.3
lluvioso	25/09/1996	26	24.6
lluvioso	01/10/1996	81	137.6
lluvioso	11/10/1996	40	87.7
lluvioso	15/10/1996	76	86.8

3.5. RECOLECCION DE LAS MUESTRAS

Durante el muestreo diario se tomaron directamente de cada manantial los datos de caudal, temperatura y turbidez, mientras que para colonias de coliformes totales y pH fue necesario la recolección de las muestras de agua, para su posterior análisis. Cada sitio, se muestreó dos veces diarias, una por la mañana, a partir de las 7:30 a.m., y la otra en la tarde a partir de las 12:00 p.m.

Para evitar la contaminación de las muestras, la persona encargada de su recolección se desinfectaba las manos y los brazos con alcohol etílico al 95% de pureza. En las primeras dos fechas de recolección de las muestras, estas fueron tomadas en bolsas plásticas normales de una libra esterilizadas por el proceso de empaque, esto fue debido a la falta de frascos esterilizados, mientras que las muestras restantes fueron tomadas en frascos de vidrio de 125 ml debidamente esterilizados en un autoclave marca ALL AMERICAN, modelo 25x, a una temperatura de 121 °C durante 15 min. Las muestras fueron recolectadas directamente del interior de cada manantial o caja receptora, del agua que está en constante movimiento.

¹⁰ Precipitación acumulada en una semana previa al muestreo. Estos datos fueron obtenidos en la estación meteorológica ubicada en la parte alta del Cerro a una altura de 1846 msnm.

¹¹ Precipitación acumulada en una semana previa al muestreo. Estos datos fueron obtenidos en la estación meteorológica ubicada en el Departamento de Agronomía del Zamorano.

Una vez recolectada las muestras eran almacenadas, a una temperatura aproximada de 4 °C. Posteriormente eran trasladados al laboratorio de calidad de aguas del departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica del Zamorano.

3.6. MEDICION DE PARAMETROS

3.6.1. Caudal

El caudal fue medido de dos maneras:

1- Utilizando un cronómetro se midió el tiempo en que tardaba en llenarse de agua un recipiente de volumen conocido, en este caso: un balde plástico de cinco galones (manantial # 1) y una jarra plástica de 2 litros (manantial # 5).

2- Con el uso de tapones de madera se obstruyó temporalmente el orificio de salida del agua hacia los tanques almacenadores, midiéndose la diferencia de volumen o de nivel de agua en un tiempo determinado. Para ello se conocía desde luego las dimensiones de las cajas recolectoras (Anexo 5), este método se dio en los manantiales # 2,3,4,6,7,8,9 y 10.

La diferencia en la medición del caudal de los manantiales # 1 y #5, se debe a que en estos el agua llega a través de un tubo, facilitando así la medición con un recipiente. En cambio, en el resto de los manantiales el agua llega dispersa.

3.6.2. Temperatura

Los datos fueron tomados directamente de cada manantial por medio de un termómetro de campo marca VWR brand, de columna de mercurio, graduado a una escala de 1 °C, el cual proporciona lecturas de 0 a 100.

3.6.3. Turbidez

Los turbidez fue tomada directamente en cada manantial por medio de un turbidímetro de campo marca Del Agua. La turbidez se mide en unidades de turbiedad nefelométrica (NTU), el cual presenta una graduación logarítmica estandarizada que proporciona lecturas de turbidez entre 0 a 2000.

3.6.4. pH

La medición del pH se realizó en el laboratorio, con el fin de obtener resultados más exactos. El equipo utilizado fue el pH-metro marca HAD ECIO, modelo 50200, que proporciona lecturas de pH de 0 - 9. Este equipo fue calibrado a la temperatura que presentaba las muestras, la cual era de 4 °C, esto es con el fin corregir el pH según la temperatura.

3.6.5. Coliformes totales

La presencia de coliformes totales se midió en el laboratorio, se usó el procedimiento de filtración en membranas de celulosa, el volumen de muestra con el que se trabajó fue de 100 ml. se filtró por un sistema de vacío para posteriormente inocular la muestra utilizando endoagar como medio de cultivo específico para este análisis. El cultivo de las bacterias se realizó a una temperatura de 35° C durante 24 horas, para posteriormente realizar el conteo de las colonias.

3.7. ANALISIS COMPARATIVO Y ESTADISTICO DE LOS DATOS

Se analizó la influencia de las variables independientes período (seco o lluvioso), hora del día (mañana o tarde) y manantial sobre las variables dependientes o parámetros: caudal, temperatura, turbidez, pH y colonias de coliformes totales. Además, se registraron los datos de precipitación ocurridas en el valle del zamorano (Anexo 6) y en el Cerro Uyuca (Anexo 7) durante el período de muestreo con el objetivo de comparar entre el número de colonias de coliformes totales con las precipitaciones ocurridas en el Valle del Zamorano y el número de colonias de coliformes totales de los manantiales y las precipitaciones ocurridas en el Cerro Uyuca con los valores de caudal y turbidez.

3.7.1. Modelo estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), para lo cual se empleó "Statistical Analysis System" (SAS), con un modelo factorial, con tres fuentes de variación o factores, cuya fórmula es:

$$Y = \mu + \beta + \tau + \lambda + (\beta\tau) + (\beta\lambda) + (\tau\lambda) + (\beta\tau\lambda) + \varepsilon$$

En donde:

μ es la media poblacional.

β es el efecto de tomar las muestras en período seco (s) o en período lluvioso (h).

τ es el efecto de tomar las muestras en la mañana (m) o en la tarde (t).

λ es el efecto de tomar las muestras en los diferentes manantiales (man).

$(\beta\tau)$ es el efecto de la doble interacción (sh*mt).

$(\beta\lambda)$ es el efecto de la doble interacción (sh*man)

$(\tau\lambda)$ es el efecto de la doble interacción (mt*man).

$(\beta\tau\lambda)$ es el efecto de la triple interacción (sh*mt*man).

ε es el efecto del error.

Para conocer, cual manantial presenta mayor variación de los parámetros en estudio fue necesario realizar una separación múltiple de medias por la prueba SNK.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. MANANTIALES

4.1.1. Caudal

De acuerdo a los análisis realizados, el caudal en todos los manantiales fue mayor durante el período lluvioso (1109 L/min) que durante el período seco (874 L/min.) (Figura 3 y Anexo 8).

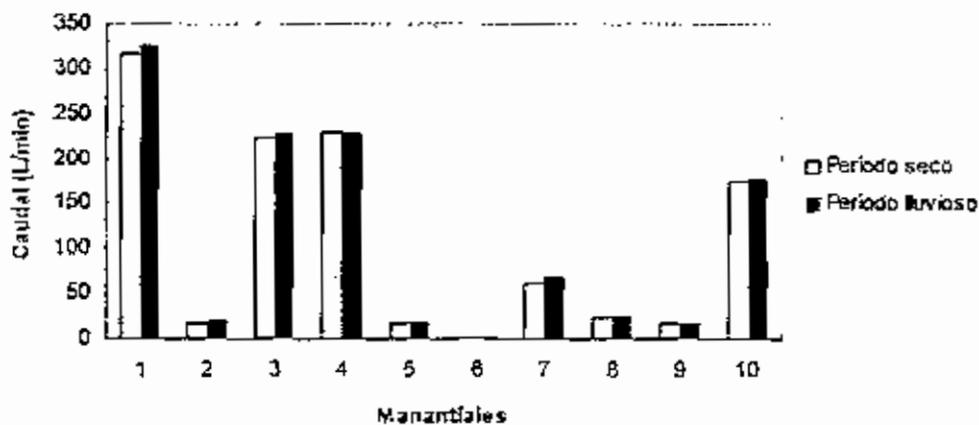


Figura 3. Valores promedio del caudal durante el período seco y lluvioso en los manantiales estudiados.

Los datos del caudal fueron comparados con las precipitaciones registradas en el Uyuca, por ser la zona de recarga de agua, esperándose un efecto sobre el caudal, el cual no se da de forma inmediata, ya que la infiltración del agua varía en espacio y tiempo pudiendo presentarse un caudal acumulativo (afectado por varias tormentas) (Figura 4).

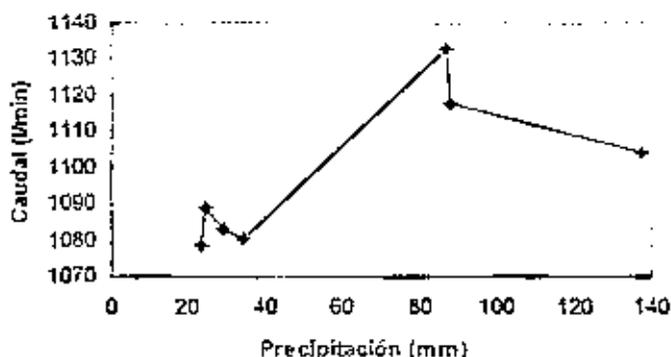


Figura 4. Sumatoria del caudal de los manantiales y la precipitación acumulada y registrada cada semana previa a la fecha del muestreo en el Cerro Uyuca.

No se observó diferencias significativas en caudal en las dos horas de muestreo en ninguno de los dos períodos. Los manantiales producen caudales de agua diferentes, siendo esto un factor de clasificación. Las mediciones muestran en cuanto a la producción de agua se refiere, que el manantial # 1, es el mayor productor con un promedio de 322 L/min, mientras que el # 6 es el menor productor con un promedio de 2 L/min, esta diferencia se debe al tipo de reservorio a que están conectadas y a las características geológicas propias del área (Anexo 9).

El modelo estadístico utilizado se ajustó a la variable dependiente caudal, encontrándose una alta probabilidad que los datos se encuentren explicados por el modelo (Anexo 10). Se puede afirmar que el caudal se ve influenciado por el período, mientras que la hora del día no influyó sobre éste (Anexo 11).

4.1.2. Temperatura

El valor promedio de temperatura del agua durante todo el período de muestreo fue de 21.8 °C (Anexo 12) y la homogeneidad de temperatura dentro y entre los manantiales nos indica que son fuentes de agua de origen fluvial y que se infiltran en la parte alta del cerro, llegando a alcanzar grandes profundidades, por lo que dicha agua no se ve afectada por las condiciones climatológicas de la superficie del suelo.

De acuerdo a los análisis realizados se observó que fue mayor la temperatura en el periodo seco época lluviosa (21.9 °C) que en el periodo seco (21.7 °C), siendo esto una diferencia poco significativa (0.2 °C) para tener influencia sobre otros parámetros de calidad de agua (Figura 5 y Anexo 8 y 9).

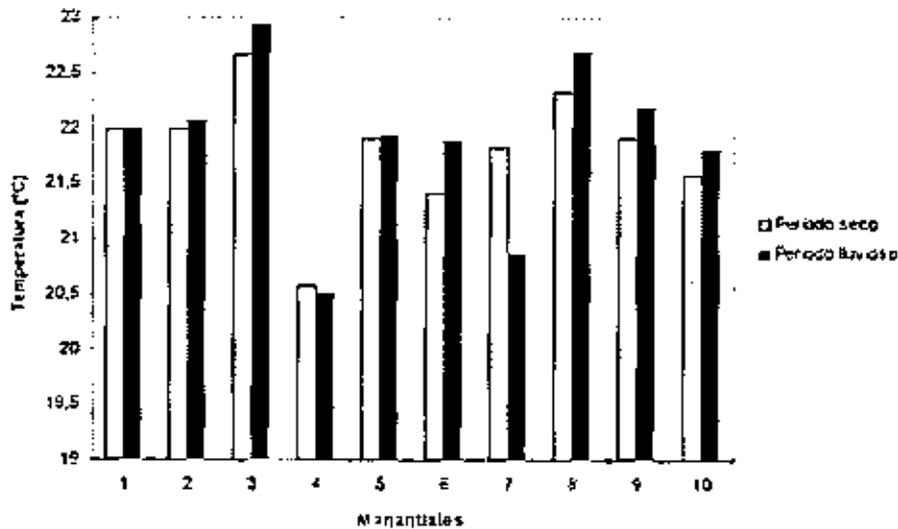


Figura 5. Valores promedios de temperatura del agua durante el período seco y lluvioso en los manantiales estudiados.

También se observó diferencias poco significativas en la temperatura del agua en las dos horas de muestreo, presentando menor temperatura en la mañana (21.7 °C) y mayor temperatura la tarde (21.9 °C) (Figura 6 y Anexo 9). esto se debe a que por la tarde la radiación solar alcanzado el máximo, calentando la zona de afloramiento de los manantiales incrementando, así la temperatura del agua.

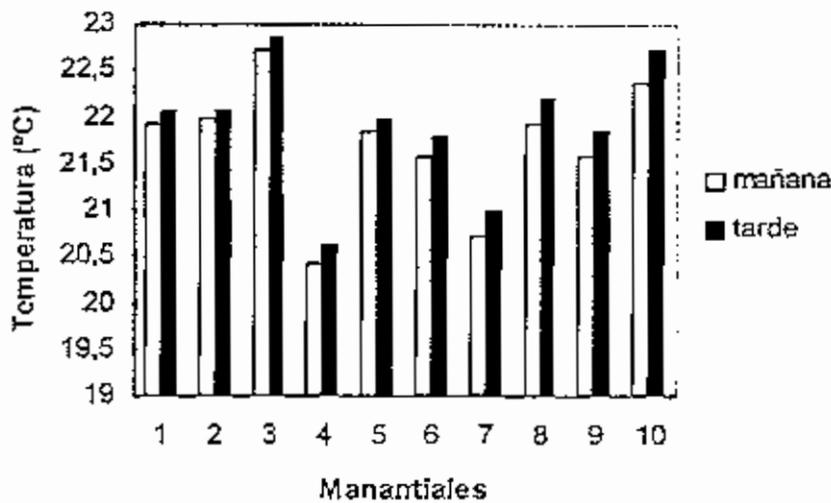


Figura 6. Valores promedios de temperatura del agua durante la mañana y tarde en los manantiales estudiados.

El manantial que presentó mayor temperatura fue el # 3 (22.8 °C) y el de menor fue el manantial # 6 (21.7°C), esta diferencia de temperatura (1.1 °C) es poco significativa para tener influencia sobre otros parámetros de calidad del agua.

El modelo estadístico utilizado se ajustó a la variable dependiente temperatura, encontrándose una alta probabilidad que los datos se encuentren explicados por el modelo (Anexo 10). Se puede afirmar que la temperatura se ve influenciada por la hora del día y manantial y su interacción, mientras que el período influyó sobre éste (Anexo 11).

4.1.3. Turbidez

La turbidez presente en todos los manantiales fue de 0 NTU, a excepción del # 8 que presenta un valor de 5 NTU durante el período seco y 7.5 a 15 NTU durante el período lluvioso (Figura 7 y Anexo 8). Se notó de esta forma el efecto de las precipitaciones sobre la turbidez del agua del manantial # 8.

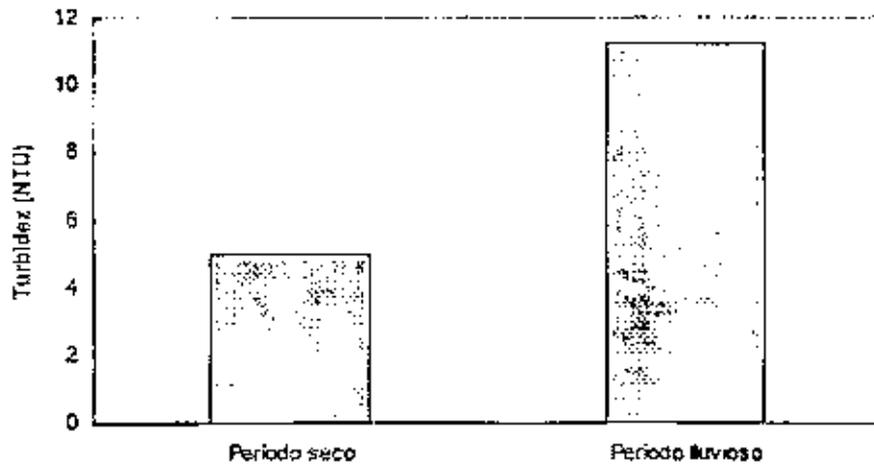


Figura 7. Valores de la turbidez del agua del manantial # 8 durante el periodo lluvioso y seco.

El aumento de la precipitación durante el periodo lluvioso hacen que el agua alcance su máxima velocidad de infiltración, según el tipo de suelo teniendo de esta manera un mayor contacto con las tobas o arcillas descompuestas, que son las responsables de la turbidez coloidal. Se presume que la presencia de turbidez sólo en el manantial # 8 se debe a las características geológicas de la zona de recarga hídrica, la cual presenta en alguna parte arcillas descompuestas causantes de la misma.

Los valores de turbidez encontrados en el manantial # 8 están por encima de lo recomendado por la OMS/OPS (1995) para agua tratada, el cual es de 5 NTU.

No se observó diferencias marcadas en cuanto a la turbidez en las dos horas de muestreo en ninguno de los periodos (Anexo 9).

El modelo estadístico utilizado se ajustó a la variable dependiente turbidez, encontrándose una alta probabilidad que los datos se encuentren explicados por el modelo (Anexo 10). Se puede afirmar que la turbidez se ve influenciada por el periodo y manantial y su interacción, mientras que la hora del día no influyó sobre ésta (Anexo 11).

4.1.4. pH

El valor promedio del pH de todos los manantiales durante el período de muestreo fue de 4.30 (Anexo 12), esto nos demuestra que el agua durante su recorrido en la infiltración tiene contacto con materia orgánica en descomposición, con ácido carbónico (H_2CO_3) y con rocas o sustancias acidificantes que hacen que su pH sea bajo o ácido.

Según la OMS/OPS (1995), el valor requerido de pH para agua potable está en un rango de 6.5 a 8.5 unidades, por lo que este valor promedio (4.3) está por debajo del aceptable.

De acuerdo a los análisis realizados se observó que el pH fue mayor durante el período lluvioso (4.34) que durante el período seco (4.27) (Anexo 9). Esta diferencia de 0.07 unidades no es significativa (Figura 8), ya que no afecta a los otros parámetros de calidad de agua antes mencionados.

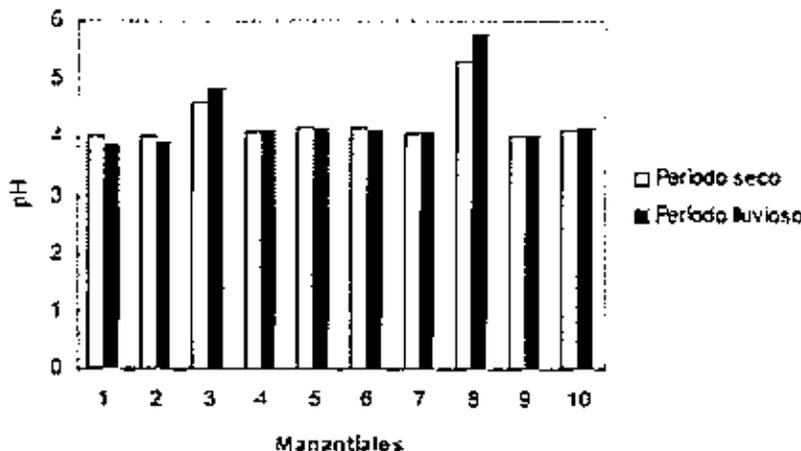


Figura 8. Valores promedio de pH del agua durante el período seco y lluvioso en los manantiales estudiados.

No se observó diferencias significativas en cuanto al pH en las dos horas de muestreo en ninguno de los dos períodos. En cambio, entre los manantiales sí hubieron diferencias significativas, presentando el valor mínimo de pH el manantial # 2 (3.98) y el máximo el manantial # 8 (5.58) (Anexo 8). Se presume que esta diferencia es debida a las condiciones geológicas del área, en donde la zona de recarga de cada manantial puede contener mayor cantidad de las sustancias acidificantes antes mencionadas.

El modelo estadístico utilizado se ajustó a la variable dependiente pH, encontrándose una alta probabilidad que los datos se encuentren explicados por el modelo (Anexo 10). Se puede afirmar que el pH se ve influenciado por el período en cada manantial y su interacción, mientras que la hora del día no influyó sobre éste (Anexo 11).

4.1.5. Coliformes totales

El número promedio de colonias de coliformes totales (CCT) encontrado durante todo el período de muestreo fue de 1.92 (Anexo 12), el cual es un valor inferior al máximo permisible para agua tratada o potable por la OMS/OPS (1995), el cual es de 3 CCT.

De acuerdo a los análisis realizados, se observó que el número de CCT detectados durante el período lluvioso fue mayor que durante el período seco. En el período lluvioso el manantial más contaminado fue el # 5 ya que se encontraron 31 CCT y el menos contaminado fue el # 1 con 5 CCT (Figura 9 y Anexo 9).

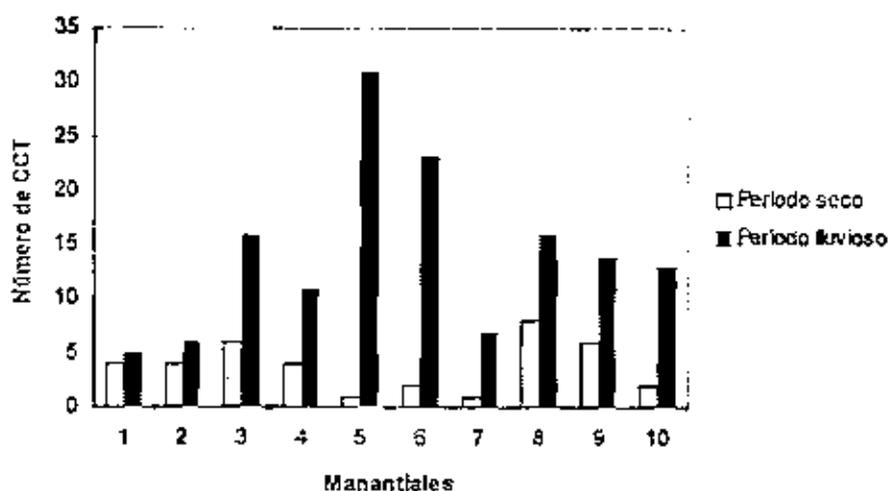


Figura 9. Valores promedios de las colonias de coliformes totales durante el período seco y lluviosa en los manantiales estudiados.

En el manantial # 5 la tapadera de la caja recolectora está a la altura de la superficie del terreno, por lo que la escorrentía superficial causada por las precipitaciones arrastra las bacterias hasta las cajas y las introduce a estas a través de la compuerta, a excepción del

manantial # 1 que su tapadera está ubicada en la parte superior, a una altura de un metro. Se asumió, que el efecto de las precipitaciones se iba a dar en la zona cercana al afloramiento del agua y que dicho efecto sería ocasionado por la escorrentía superficial causada principalmente por las tormentas de alta intensidad y poca duración, por lo que el número de CCT se comparó con los datos de precipitación del Valle del Zamorano. Los datos de precipitación registrados durante la semana del 18 al 24 de septiembre fueron 21 mm, el cual representa el primer muestreo del período lluvioso en donde se presentó el más alto número de CCT en todos los manantiales (57 CCT). Se asume que esto se debió a la tormenta de alta intensidad ocurrida el día anterior al muestreo (20 mm), la cual ocasionó escorrentía superficial provocando el arrastre de las bacterias hasta las zona de afloramiento de los manantiales (Anexo 6 y 8). Con esto podemos decir que hubo una influencia de las precipitaciones en el número de colonias detectadas, si embargo esta relación no es directa, debido a que como se mencionó anteriormente, el efecto sobre los coliformes totales es debido a las tormentas de alta intensidad, que son valores puntuales de precipitación (Figura 10).

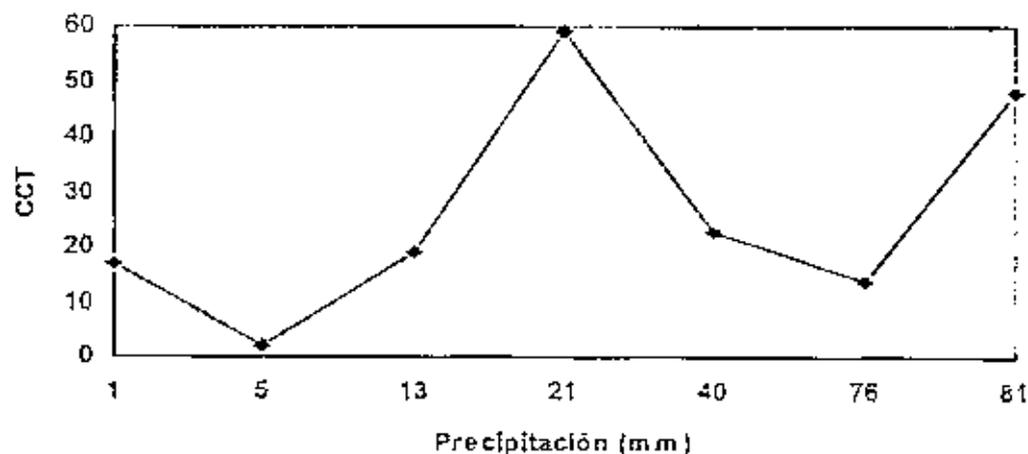


Figura 10. Sumatoria del número de colonias de coliformes totales de los manantiales y la precipitación acumulada y registrada durante cada semana previo a la fecha de muestreo en el Valle del Zamorano.

En el período seco el manantial que presentó mayor contaminación es el # 8 (8 CCT), y el # 7 y # 5 fueron los menos contaminados (1 CCT). A pesar de esta desigualdad entre manantiales, estos no presentan diferencias significativas en el número de CCT.

No se observó diferencias marcadas en cuanto al número de CCT en las dos horas de muestreo (mañana y tarde) en ninguna de los períodos (Anexo 8 y 9).

Como se dijo anteriormente se asume esta contaminación es provocada por la escorrentía superficial que llega directamente a la zona de afloramiento de los manantiales. La contaminación bacteriana podría deberse a las heces de los habitantes de la Comunidad de Joya Grande que viven en la parte superior de la microcuenca, así como también de sus animales domésticos. También esta área está influenciada por actividades de protección forestal en las que laboran un promedio de seis personas por día sin contar con servicios sanitarios o letrinas. También puede influir la presencia de cualquier material orgánico como plantas o bien el suelo, que pudiera portar dichas bacterias.

Se encontraron diferencias significativas en el número de CCT durante los dos períodos de muestreo (lluvioso y seco) (Anexo 11), sin embargo el modelo estadístico tuvo un ajuste bajo, con una alta probabilidad de que los datos no se encuentran explicados por el modelo (Anexo 10).

4.2. CAJA RECOLECTORA

Como anteriormente se había mencionado esta caja recolectora es la captadora del agua de todos los manantiales, a excepción de los # 1 y 2.

No se realizó la medición del caudal, porque este se había medido individualmente a los manantiales abastecedores a dicha caja.

La temperatura del agua se mantuvo constante en todos los muestreos, con un promedio de 22 °C, por lo que se asume que el agua llega a esta caja de una forma homogénea.

El pH del agua presentó poca variabilidad, obteniéndose un promedio de 4.28, siendo este valor inferior al rango recomendado por la OMS/OPS (1995), el cual es de 6.5 a 8.5.

La turbidez del agua presente en la caja es de 5 NTU., la cual es inferior al máximo permisible por la OMS/OPS (1995), el cual es de 5 NTU.

El número promedio de colonias coliformes totales presente en los muestreos de la caja recolectora es de 1.8, por lo que es un valor que se encuentra por debajo de las normas de la OMS/OPS (1995). En el período seco no se encontraron CCT en ninguna de las muestras, mientras que en el período lluvioso se encontraron 18 CCT. En el primer muestreo del período lluvioso se encontraron 15 CCT, pero en los restantes muestreos se encontró una menor cantidad, presentando de esta forma la misma tendencia de contaminación bacteriológica que los manantiales (Anexo 13).

V. CONCLUSIONES

1. El agua producida por los manantiales es de buena calidad, ya que la cantidad de colonias de coliformes totales encontradas en todos los manantiales durante los dos periodos de muestreo es de 1.3 unidades. Este valor es inferior al máximo permitido por la OMS/OPS (1995), el cual es de 3 unidades para agua tratada.
2. Los desechos orgánicos generados por la comunidad de Joya Grande podrían ser arrastrados por la escorrentía superficial hasta la zona de afloramiento de los manantiales, por lo que éstos podrían ser un foco de la contaminación bacteriológica presente en los estos.
3. El período de muestreo influyó en gran medida en el número de colonias de coliformes totales presentes en los manantiales, siendo mayor en el período lluvioso que en el seco. Se presume que esto se debe principalmente a las tormentas de alta intensidad, las que producen escorrentía superficial, que arrastra las bacterias hasta las cajas colectoras de agua de los manantiales.
4. Los manantiales presentan turbidez de 0 NTU, a excepción del # 8, el cual presenta una turbidez de tipo coloidal, por tener contacto con tobas o arcillas descompuestas. Este valor promedio (11.25 NTU) es superior al máximo permitido por la OMS/OPS (1995), el cual es de 5 NTU.
5. El caudal de los manantiales es diferente debido a que la producción de agua está relacionada con las características geológicas, el tipo de acuífero y las condiciones del área de recarga hídrica de cada manantial.
6. El caudal se vió influenciado por el período de muestreo, siendo mayor en el período lluvioso que en el seco. Sin embargo no hubo una relación directa con las precipitaciones ocurridas en el Cerro Uyuca, por lo que se puede afirmar que son caudales provenientes de reservorios y que necesitan periodos largos de infiltración.
7. La temperatura del agua en los manantiales durante todo el período de muestreo tubo poca variación, siendo afectada únicamente por la hora del día. Los valores más altos de temperatura se presentaron en la tarde, esto es debido al calentamiento por los rayos solares de la zona de afloramiento de los manantiales.

8. El pH del agua en todos los manantiales se mantuvo sin mucha variación durante los períodos de muestreo. El agua tiene un pH ácido presumiblemente al contacto con ácido húmico producido por la descomposición de la materia orgánica, con el ácido carbónico presente en el suelo, así como el contacto con rocas ácidas.

9. El pH del agua en todos los manantiales está fuera del rango recomendado por la OMS/OPS (1995), el cual es de 6.5 a 8.5. En base a lo anterior se afirma que el pH que presenta el agua no es el adecuado para el consumo doméstico. Sin embargo, no se han podido establecer o identificar problemas de salud ocasionados por ingerir agua con un pH ácido.

10. Los valores de los parámetros obtenidos en la caja recolectora se asemejan en gran medida a los obtenidos en los manantiales, por lo que puede ser una muestra representativa de estos.

11. El análisis de los parámetros de calidad del agua durante este estudio nos lleva a la conclusión que los manantiales no tienen una influencia directa inmediata con su ambiente superficial, por lo tanto cualquier cambio en la calidad del agua puede prevenirse manejando y manteniendo adecuadamente las cajas recolectoras de agua y la zona de afloramiento.

VI. RECOMENDACIONES

1. Mejorar la estructura de todos los manantiales, colocándoles filtros de arena o grava.
2. Realizar periódicamente obras de limpieza de los manantiales, para remover cualquier material que pueda contaminar el agua u obstruir los tubos de salida (raíces).
3. Se deberían construir canales de desagüe arriba de cada manantial para desviar el agua de escorrentía superficial y también evitar el encharcamiento.
4. Para aquellos manantiales que tienen la tapadera cubierta con tierra, sería recomendable que los bordes de ésta se levanten a unos 20 cms., y así evitar la entrada del agua que se infiltra en la tierra que cubre la tapadera.
5. A corto plazo, mejorar la estructura del manantial #5, ya que es el que presenta mayor contaminación. Se recomienda levantar la altura de la caja, para evitar la entrada de la escorrentía superficial.
6. Clausurar temporalmente el manantial # 9, en épocas con altas precipitaciones, ya que en éstos periodos la turbidez presente en este manantial se incrementa, pudiendo alterar la calidad del agua de la caja recolectora que abastece a los tanques de tratamiento.
7. Clausurar el manantial # 6, ya que tiene un bajo caudal y un alto número de colonias de coliformes totales.
8. Realizar mediciones periódicas de los parámetros de calidad de agua utilizados durante este estudio tanto en la caja recolectora, ya que es el punto previo a los tanques de tratamiento y también los lugares de distribución después del tratamiento.
9. Debido a la presencia de coliformes totales en el agua de los manantiales, se recomienda realizar pruebas periódicas de coliformes fecales en el agua de la caja recolectora.
10. Estudiar la posibilidad de realizar un tratamiento al agua para incrementar el pH. Sin embargo, el ingerir agua con un pH ácido no ocasiona problemas específicos de salud.

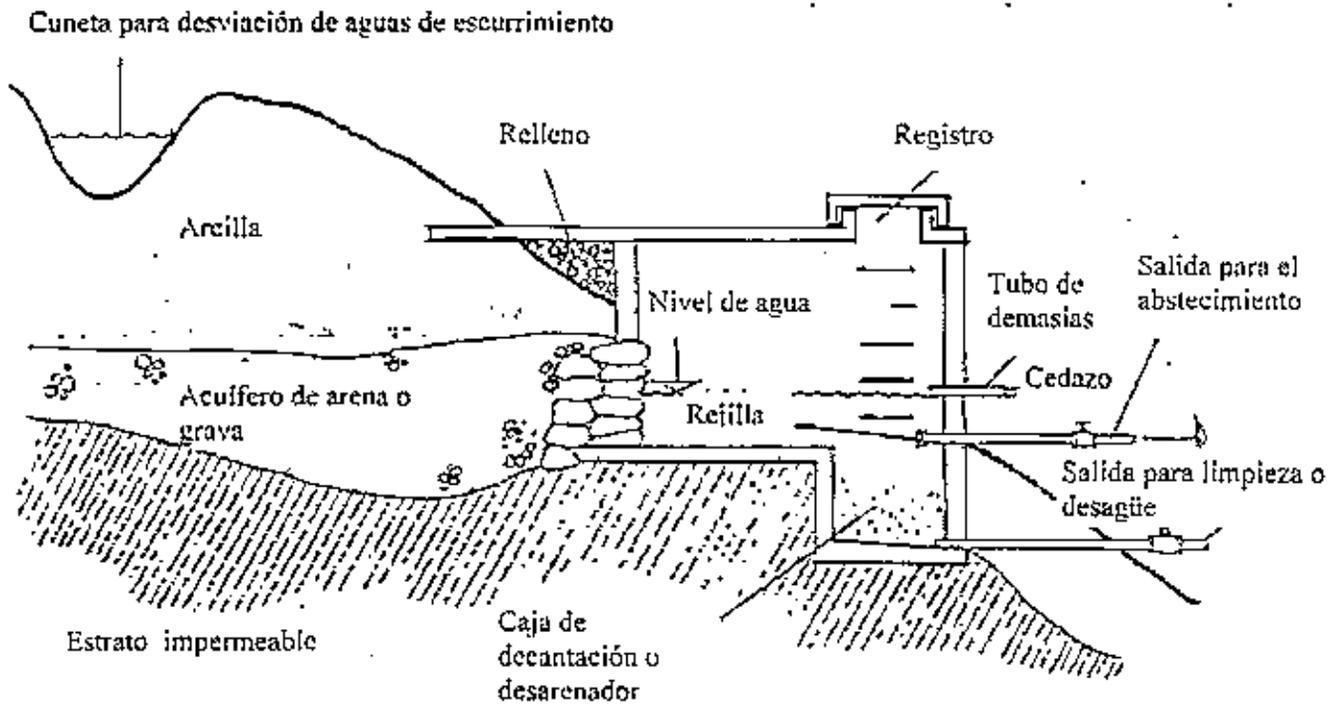
VI. LITERATURA CITADA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION ; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION ; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. 1992. *Standard Methods of water and wastewater*. 18 ed. Wash., EE.UU. APHA; WEF; AWWA. 9: 52-73.
- CUBILLOS, Z. 1988. *Calidad de agua y control de la polución*. CIDIAT. Mérida, Venezuela. Serie: Ambiente y Recursos Naturales. 3-7 p.
- HANDBOOK OF HIDROLOGY IN SURFACE WATER. (1992 EE.UU). 1992. *Handbook of hidrology in surface water; Contaminant transport*. Edited by Huber W.C. EE.UU. Mc Graw-Hill. 1151 p.
- HONDURAS, COORDINACION DE HIDROGEOLOGIA DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE SANAA ; ASESORIA TECNICA BRITANICA EMBAJADA BRITANICA. 1993. *Prevenamos la contaminación de los pozos y manantiales*. Tegucigalpa, Hond. 12 p.
- HONDURAS, OPS/OMS ; MINISTERIO DE SALUD PUBLICA ; COMITE TECNICO NACIONAL DE CALIDAD DEL AGUA. 1995. *Norma técnica nacional para la calidad del agua potable*. Tegucigalpa, Hond. 23 p.
- LEE, H. 1991. *Monitoring Guidelines to Evaluate Effects of Foresry Activitation Streams in the Pacific Northwest and Alaska*. Ed. por EPA. Wasington, EE.UU. 166 p.
- LEE, M. 1996. *Cátedra de Medición de Recursos Naturales: Monitoreo de agua ; programa de Ingeniería Agrónomica*. Depto. de Recursos Naturales y Conservación Biológica. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Hond. sp.
- LERMAN, S. s.f. *Taller móvil de calidad del agua ; Normas Bacteriales del agua*. s.l. 60 p.
- MATTHEUS, F. 1958. *Tratamiento de las aguas*. Trad. Por B. Gonzalez. 3 ed. Madrid, España. Dossat. 690 p.

- MEXICO, DIRECCION DE INGENIERIA SANITARIA ; SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA. 1993. Manual de saneamiento, vivienda, agua y desechos. 3 ed. D.F., Méx. Limusa, 520 p.
- MOSQUERA, M. 1996. Estudio de parámetros físico-químicos del agua de dos estuarios en el sur de Honduras. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 64 p.
- OMS. 1993. Recommendation. OMS. Guidelines for drinking water. 2 ed. (Gernerva, Francia). 1: 8-19
- OPS. 1987. Criterios relativos a la salud y otra información de base. OPS. Guía para la calidad del agua potable. (Wash. EE.UU). 2(506): 200-220.
- RHEINHEINER, G. 1987. Microbiología de las aguas. Trad. Del alemán por José Romero. 4 ed. Zaragoza, España. Acribia. 560 p.
- WEBWER, W. 1979. Control de la calidad del agua procesos fisicoquímicos. España. Reverte. 654 p.

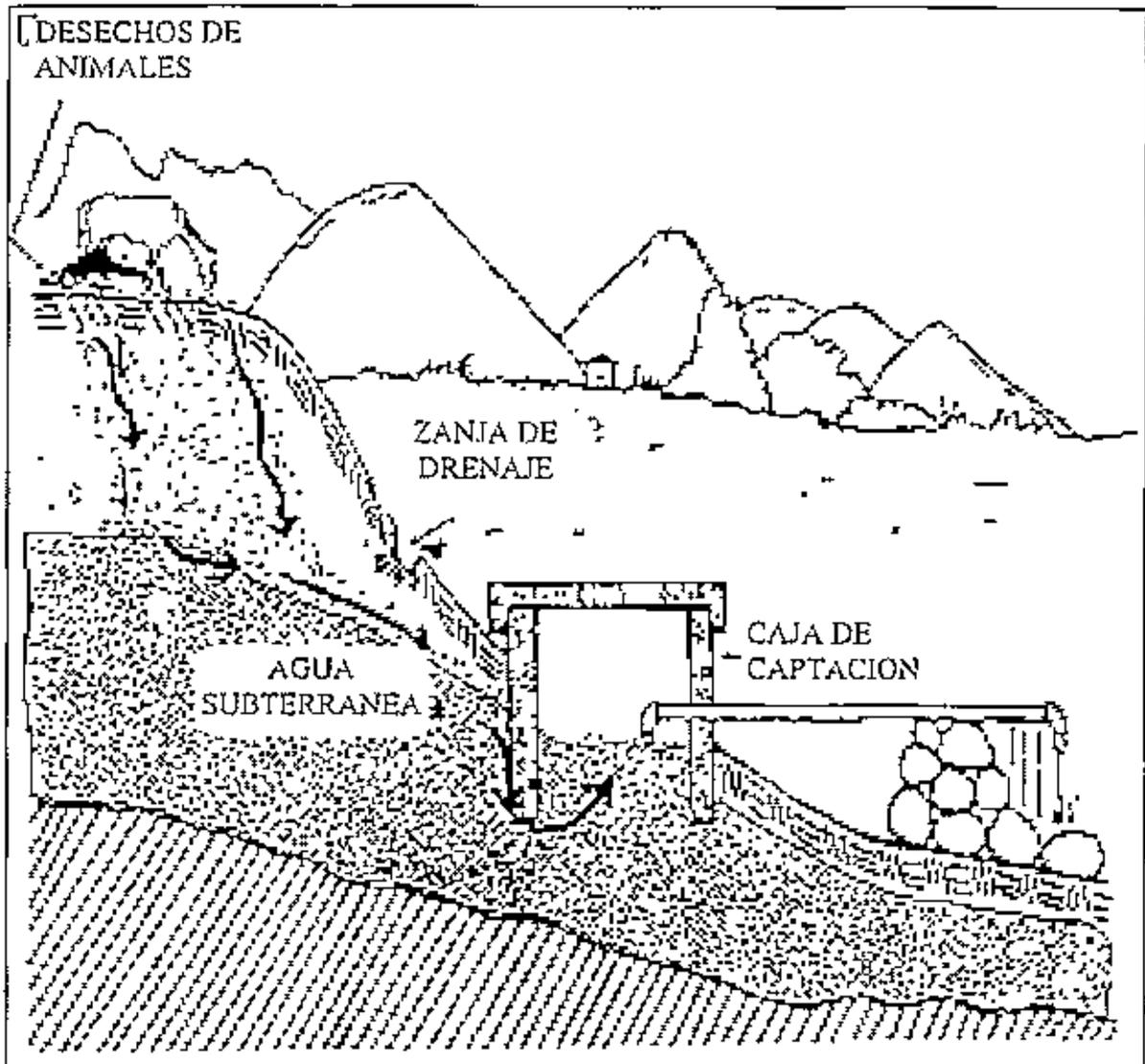
VIII ANEXOS

Anexo 1. Diseño Estructural de las cajas receptoras del agua de los manantiales.



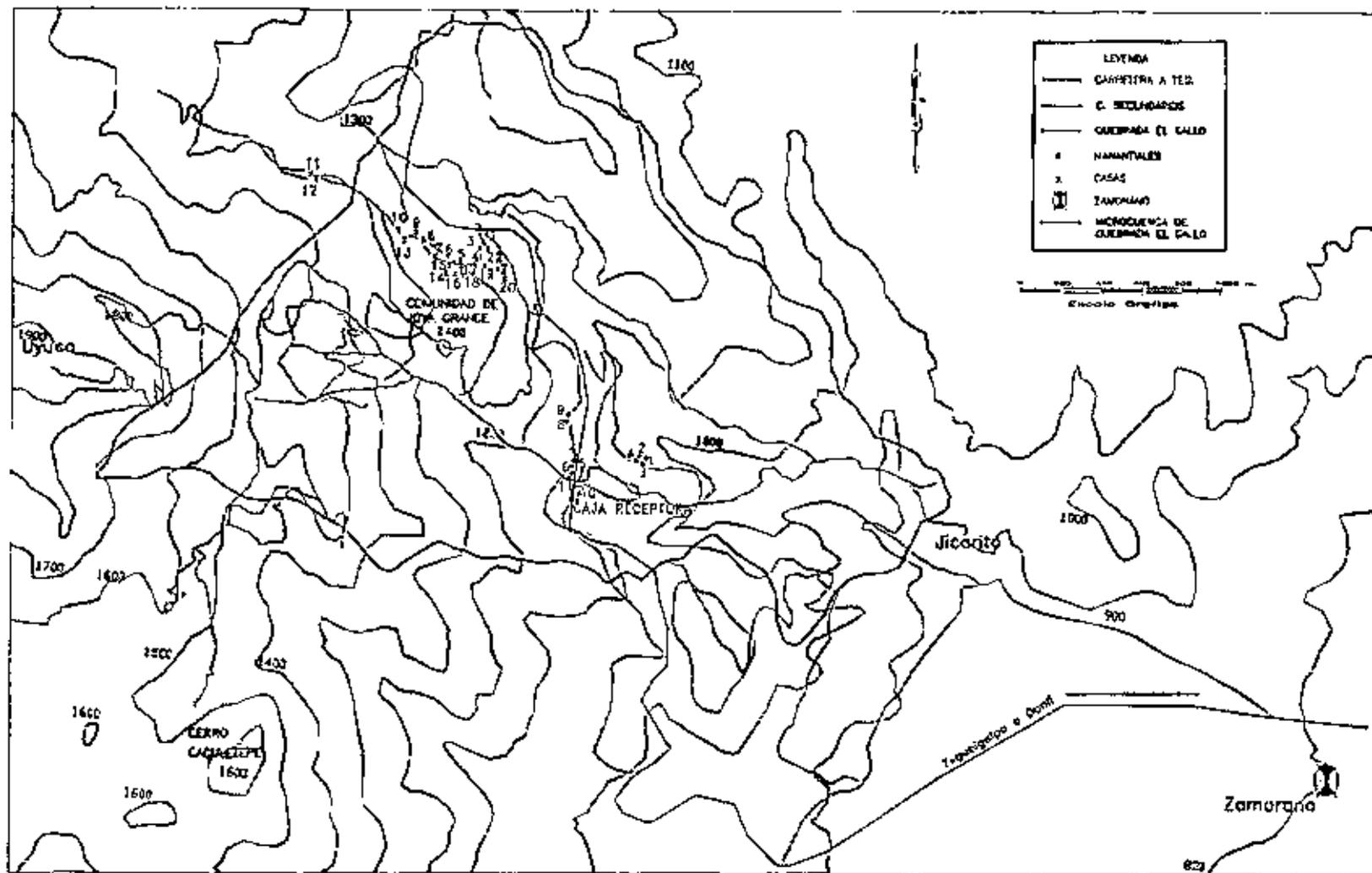
Fuente: Dirección de Ingeniería Sanitaria, México (1993).

Anexo 2. Diagrama de la contaminación biológica de los manantiales.



Fuente SANAA (1993).

ANEXO 3. UBICACION GEOGRAFICA DE MANANTIALES QUE ABASTECEN EL AGUA DE ZAMORANO, DENTRO DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA EL GALLO.



Anexo 4. Ubicación geográfica de las viviendas que forman la comunidad de Joya Grande.

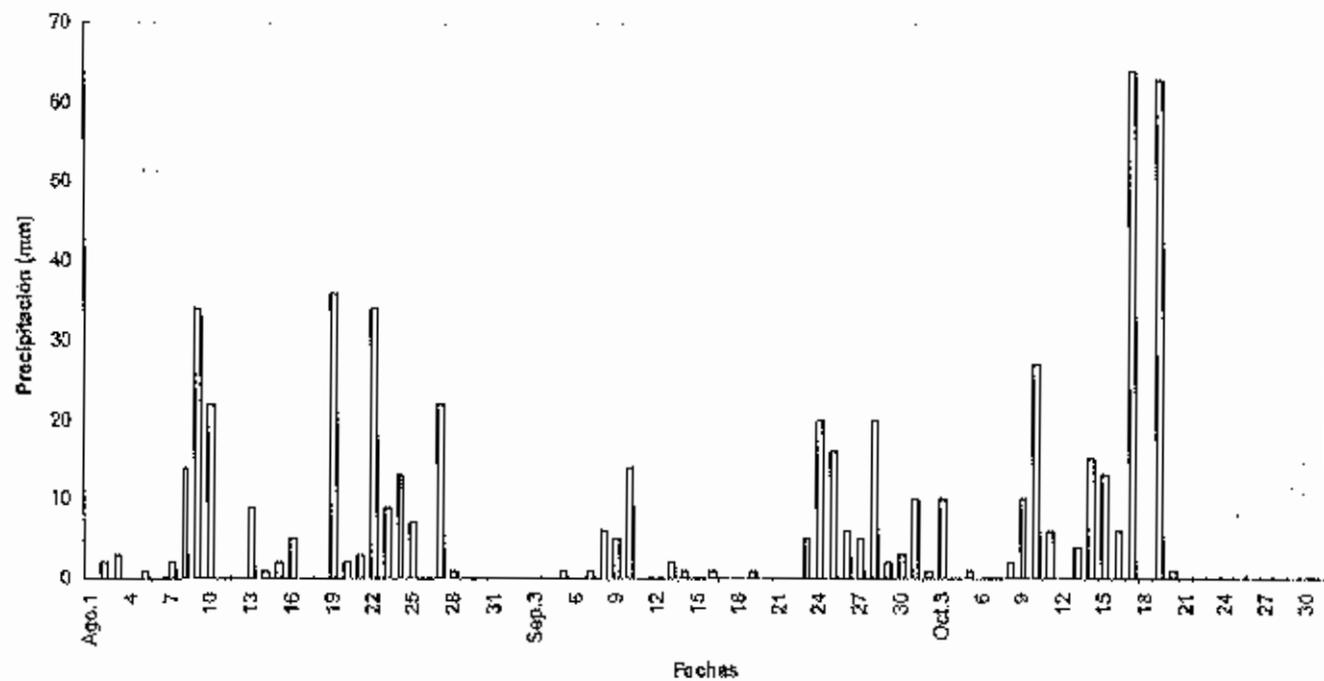
Vivienda	Ubicación geográfica (UTM)		Altura (msnm)
	Norte	Este	
1	1550925	494587	1229
2	1550908	494574	1233
3	1550904	494565	1225
4	1550880	494560	1235
5	1550799	494458	1251
6	1550802	494386	1254
7	1550822	494331	1252
8	1550907	494256	1261
9	1550932	494227	1267
10	1550969	494126	1271
11	1551231	493707	1333
12	1551231	493738	1319
13	1550921	494176	1260
14	1550800	494387	1247
15	1550795	494404	1251
16	1550799	494429	1249
17	1550791	494456	1241
18	1550790	494463	1243
19	1550800	494552	1232
20	1550704	494661	1228
21	1550744	494611	1238
22	1550860	494860	1231

Anexo 5. Capacidad volumétrica de las cajas rectora del agua de los manantiales.

Manantial (#)	Volumen (m ³)
A	4.6
B	13.0
1	2.3
2	9.0
3	4.8
4	31.0
5	0.7
6	1.5
7	4.0
8	5.3
9	5.4
10	4.0
Caja recolectora	14.5

Anexo 6. Datos de precipitación diaria registrados en el Valle del Zamorano durante los meses de muestreo.

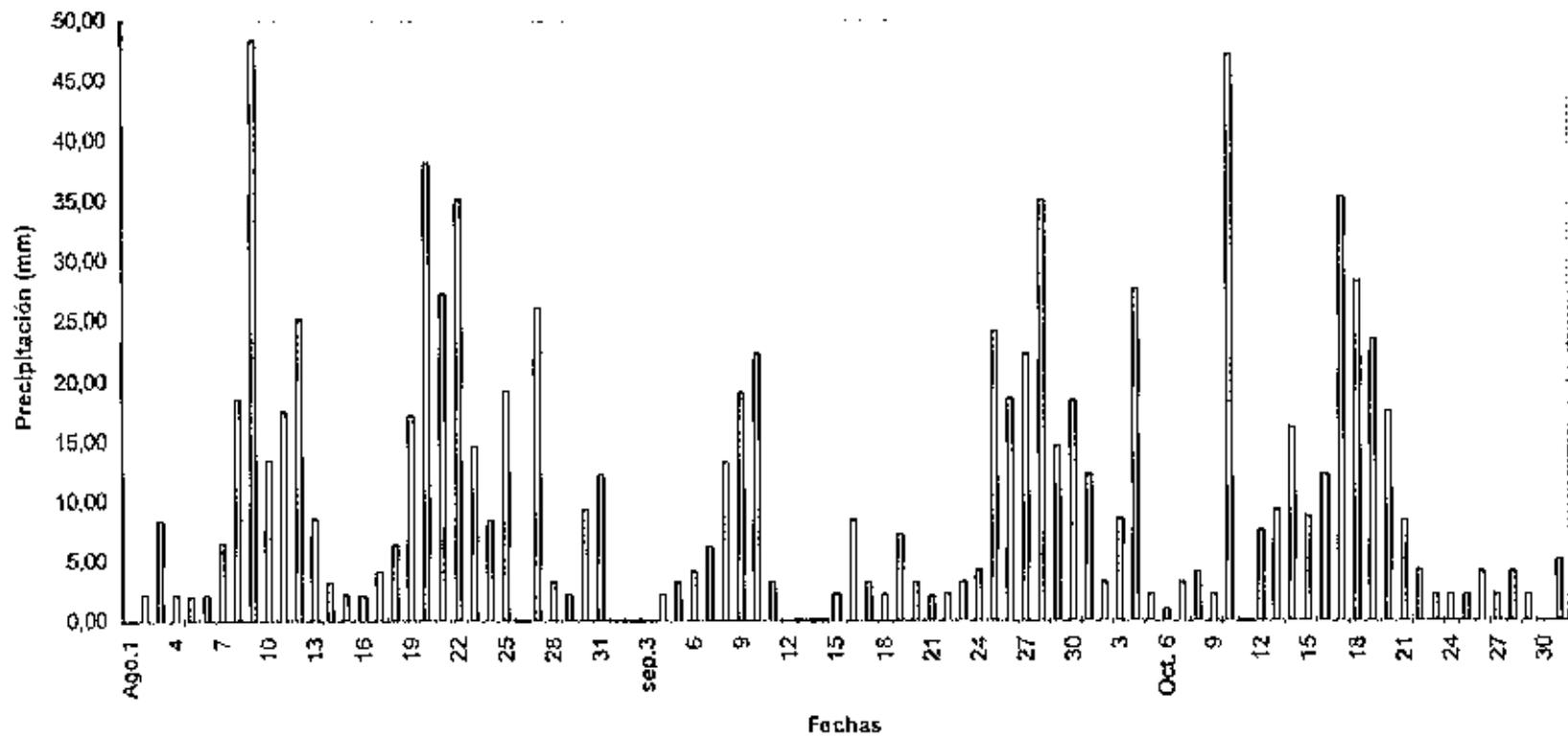
Fecha	Precipitación (mm)		
	Agosto	Septiembre	Octubre
1	0	0	10
2	2	0	1
3	3	0	10
4	0	0	0
5	2	1	1
6	0	0	0
7	2	1	0
8	14	6	2
9	34	5	10
10	22	14	27
11	0	0	6
12	0	0	0
13	9	2	4
14	1	1	15
15	2	0	13
16	5	1	6
17	0	0	64
18	0	0	0
19	36	1	63
20	2	0	1
21	3	0	0
22	34	0	0
23	9	5	0
24	13	20	0
25	7	16	0
26	0	6	0
27	22	5	0
28	1	20	0
29	0	2	0
30	0	3	0
31	0		0
Total	223	109	169



Continuación Anexo 6. Gráfica de la precipitación registrada en el Zamorano durante los meses de muestreo.

Anexo 7. Datos de precipitación diaria registrada en el Cerro Uyuca durante los meses de muestreo.

Fecha	Precipitación (mm)		
	Agosto	Septiembre	Octubre
1	3.3	0.0	12.2
2	2.2	0.0	3.3
3	8.5	0.0	8.5
4	2.2	2.2	27.6
5	2.1	3.3	2.2
6	2.2	4.1	1.1
7	6.5	6.2	3.2
8	18.6	13.2	4.2
9	48.5	19.1	2.2
10	13.4	22.3	47.3
11	17.6	3.2	0.0
12	25.3	0.0	7.6
13	8.6	0.0	9.3
14	3.3	0.0	16.2
15	2.2	2.2	8.7
16	2.1	8.4	12.2
17	4.2	3.3	35.4
18	6.3	2.2	28.3
19	17.2	7.2	23.5
20	38.4	3.3	17.6
21	27.3	2.1	8.4
22	35.2	2.3	4.3
23	14.6	3.2	2.2
24	8.5	4.3	2.3
25	19.2	24.2	2.2
26	0.0	18.6	4.2
27	26.2	22.3	2.2
28	3.2	35.2	4.2
29	2.2	14.6	2.2
30	9.3	18.4	0.0
31	12.2		5.2
Total	388.4	245.4	301.6



Continuación Anexo 7. Gráfica de la precipitación registrada en el Cerro Uyoca durante los meses de muestreo.

Anexo 8. Datos de campo de los parámetros estudiados, obtenidos durante los periodos de muestreo

Caudal (L/mín)

Período seco

manantial (#)	Fechas de muestreo						promedio
	05/09/96		10/09/96		20/09/96		
	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	
1	316.31	316.33	316.12	316.09	316.01	313.98	316.14
2	17.17	17.24	17.11	17.08	17.01	16.92	17.09
3	223.88	223.82	222.67	222.56	222.12	222.15	222.87
4	229.54	229.43	229.11	229.12	228.99	228.96	229.19
5	16.79	16.86	16.78	16.78	16.67	16.61	16.74
6	2.04	2.04	2.01	2.01	2.01	1.99	2.01
7	62.08	62.09	62.01	61.99	61.88	61.88	61.99
8	23.42	23.39	23.22	23.19	22.99	22.98	23.19
9	17.64	17.61	17.57	17.55	17.44	17.49	17.55
10	174.06	173.99	173.99	173.98	173.91	173.91	173.97

Período lluvioso

manantial (#)	Fechas de muestreo								promedio
	25/09/96		11/10/96		15/10/96				
	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	
1	319.44	319.29	323.44	324.53	328.23	328.21	330.55	330.72	325.53
2	17.33	17.32	18.12	18.12	19.55	19.66	20.68	20.72	18.94
3	224.55	224.66	227.12	227.18	229.56	229.51	232.88	232.88	228.79
4	229.43	229.55	230.89	230.99	232.67	232.65	235.29	235.33	230.1
5	16.85	16.81	17.16	17.11	17.56	17.51	17.88	17.87	17.32
6	2.01	2.02	2.03	2.03	2.05	2.05	2.08	2.09	2.09
7	63.66	63.77	65.99	66.01	68.44	68.29	71.21	71.24	67.32
8	23.41	23.41	24.98	24.98	25.11	25.17	25.33	25.39	24.79
9	17.77	17.76	17.89	17.91	18.13	18.12	18.34	18.35	18.03
10	174.34	174.39	175.83	175.87	176.44	176.44	178.61	178.54	176.31

Temperatura (°C)

Periodo seco.

manantial # 1	Fechas de muestreo						promedio
	05/09/96		10/09/96		20/09/96		
	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	
1	21.00	22.00	22.50	22.50	22.00	22.00	22.00
2	21.00	22.00	22.50	22.50	22.00	22.00	22.00
3	21.50	22.50	23.00	23.00	23.00	23.00	22.66
4	19.00	21.00	21.00	21.00	21.00	20.50	20.58
5	21.00	22.00	22.50	22.00	22.00	22.00	21.91
6	20.00	21.50	22.00	21.50	21.50	22.00	21.41
7	20.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.83
8	21.00	22.00	23.00	23.00	22.00	23.00	22.33
9	21.00	22.00	22.50	22.00	22.00	22.00	21.91
10	20.00	22.00	22.00	22.00	22.00	21.50	21.58
promedio	20.55	21.80	22.50	22.05	21.85	21.90	

Periodo lluvioso.

manantial (#)	Fechas de muestreo								promedio
	25/09/96		01/10/96		11/10/96		15/10/96		
	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	
1	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
2	22.00	22.00	22.00	22.00	22.50	22.00	22.00	22.00	22.06
3	23.00	23.00	23.00	22.50	23.00	23.00	22.50	23.00	22.91
4	20.50	20.50	20.50	20.50	20.50	20.50	20.50	20.50	20.50
5	22.00	22.00	22.00	22.50	22.00	22.00	21.50	21.50	21.91
6	21.50	22.00	22.50	22.00	22.00	22.00	21.50	21.50	21.88
7	21.00	21.00	21.00	22.00	20.50	20.50	20.50	20.50	20.88
8	23.00	23.00	22.50	22.50	22.50	23.00	22.50	22.50	22.69
9	22.00	22.50	22.00	22.50	22.00	22.00	22.00	22.50	22.19
10	22.00	21.50	22.00	22.00	21.50	22.00	21.50	22.00	21.81
promedio	21.90	21.95	22.00	22.00	21.80	21.90	21.60	21.80	

Turbidez (NTU)

Período seco.

manantial (n°)	Fechas de muestreo						promedio
	03/09/96		10/09/96		20/09/96		
	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	5	5	5	5	5	5	5
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
promedio	5	5	5	5	5	5	

Período lluvioso.

manantial (n°)	Fechas de muestreo								promedio
	25/09/96		01/10/96		11/10/96		15/10/96		
	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	00
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	7.5	7.5	7.5	7.5	15	15	15	15	11.25
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
promedio	7.5	7.5	7.5	7.5	15	15	15	15	

pH (unidades)

Período seco.

manantial (#)	Fechas de muestreo						promedio
	05/09/96		10/09/96		20/09/96		
	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	
1	4.08	4.10	4.04	4.13	4.04	3.99	4.06
2	4.16	4.10	3.94	4.07	4.00	3.96	4.03
3	4.73	4.65	4.59	4.73	4.53	4.51	4.61
4	4.22	4.13	4.24	4.33	4.05	3.95	4.12
5	4.20	4.23	4.21	4.23	4.17	4.06	4.18
6	4.08	4.14	4.16	4.21	4.21	4.20	4.16
7	4.14	4.17	4.08	4.10	4.01	4.01	4.11
8	5.41	5.39	5.29	5.34	5.25	5.27	5.32
9	3.97	4.11	4.04	4.00	4.08	4.09	4.05
10	4.12	4.18	4.22	4.16	4.10	4.08	4.14

Período lluvioso

manantial (#)	Fechas de muestreo								promedio
	25/10/96		01/10/96		11/10/96		15/10/96		
	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	
1	3.95	3.88	3.96	3.93	3.95	3.91	3.94	3.87	3.92
2	3.90	3.90	3.99	4.02	3.88	3.91	3.92	3.91	3.93
3	4.60	4.89	5.09	5.39	4.77	4.70	4.57	4.89	4.80
4	4.09	4.14	4.20	4.22	4.00	4.13	4.11	4.13	4.12
5	4.07	4.15	4.27	4.16	4.14	4.13	4.06	4.16	4.15
6	4.21	4.26	4.20	4.24	4.03	4.10	4.12	4.17	4.15
7	4.15	4.02	4.17	4.13	4.07	4.09	4.14	4.14	4.11
8	5.73	5.77	5.93	5.68	5.82	5.75	5.72	5.86	5.78
9	4.02	4.00	4.20	4.24	3.98	3.96	4.01	3.99	4.01
10	4.10	4.20	4.27	4.20	4.22	4.16	4.09	4.19	4.18

Número de colonias de coliformes totales (unidades)

Período seco.

manantial (#)	Fechas de muestreo						sumatoria
	05/09/96		10/09/96		20/09/96		
	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	
1	1	0	0	2	1	0	4
2		0	0	4	0	0	4
3		0	2	3	1	0	6
4	1	0	0	3	0	0	4
5	0	0	0	1	0	0	1
6	0	0	1	1	0	0	2
7	0	0	0	1	0	0	1
8	4	2	1	0	0	0	8
9	2	4	0		0	0	6
10	1	1	0	0	0	0	2
sumatoria	10	7	4	15	2	0	38

Período lluvioso.

manantial (#)	Fechas de muestreo								sumatoria
	25/09/96		01/10/96		11/10/96		15/10/96		
	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	mañana	tarde	
1	0	0	0	2	0	0	1	2	5
2	1	2	1	0	0	2	0	0	6
3	4	1	2	3	0	1	0	5	10
4	0	4	0	1	0	1	1	4	11
5	3	5	8	4	4	6	0	1	31
6	2	6	6	6	3	0	0	0	23
7	4	0	1	2	0	0	0	0	7
8	9		2	1	3	1	0	0	16
9	6	6	1	0	1	0	0	0	14
10	2	2	5	3	0	1	0	0	13
sumatoria	31	26	26	22	11	12	2	12	142

Anexo 9. Separación múltiple de medias por la prueba SNK para los parámetros estudiados.

Procedimiento general lineal.

Caudal (L/min)

Separación múltiple de medias de caudal por periodos (seco/lluvioso).

Agrupación SNK	Media	N	SH
A	110.777	78	h
B	108.570	62	s

Separación múltiple de medias de caudal por hora del día (mañana/tarde).

Agrupación SNK	Media	N	MT
A	109.87	70	r
A	109.792	70	m

Separación múltiple de medias de caudal por manantial (MAN).

Agrupación SNK	Media	N	MAN
A	321.519	14	1
B	250.854	14	4
C	226.110	14	3
D	175.311	14	10
E	65.039	14	7
F	24.069	14	8
G	18.145	14	2
G	17.826	14	9
G	17.091	14	5
H	2.033	14	6

Temperatura (°C).

Separación múltiple de medias de temperatura por la período (seco/lluvioso).

Agrupación SNK	Media	N	SH
A	21.8974	78	h
B	21.7097	62	s

Separación múltiple de medias de temperatura por la hora del día (mañana/tarde).

Agrupación SNK	Media	N	MT
A	21.9214	70	t
B	21.7071	70	m

Separación múltiple de medias de temperatura por manantial (MAN).

Agrupación SNK	Media	N	MAN
A	22.786	14	3
A			
A	22.536	14	8
B	22.071	14	9
B			
B	22.036	14	2
B			
B	22.00	14	1
B			
B	21.929	14	5
B			
B	21.714	14	10
B			
B	21.679	14	6
B			
B	21.857	14	7
B			
B	20.536	14	4

Turbidez (NTU).

Separación múltiple de medias de turbidez por el período (seco/lluvioso).

Agrupación SNK	Media	N	SH
A	1.154	78	h
B	0.484	62	s

Separación múltiple de medias de turbidez por la hora del día (mañana/tarde).

Agrupación SNK	Media	N	MT
A	0.857	70	t
A	0.857	70	m

Separación múltiple de medias de turbidez por manantial (MAN).

Agrupación SNK	Media	N	MAN
A	11.25	14	8
B	0	14	1
B	0	14	3
B	0	14	2
B	0	14	5
B	0	14	6
B	0	14	7
B	0	14	4
B	0	14	9
B	0	14	10

pH.

Separación múltiple de medias de pH por período (seco/lluvioso).

Agrupación SNK	Media	N	SH
A	4.3387	78	h
B	4.2729	62	s

Separación múltiple de medias de pH por hora del día (mañana/tarde).

Agrupación SNK	Media	N	MT
A	4.3187	70	r
A			
A	4.3004	70	m

Separación múltiple de medias de pH por manantial (MAN).

Agrupación SNK	Media	N	MAN
A	3.5864	14	8
B	4.76	14	3
C	4.1779	14	5
C			
C	4.1664	14	6
C			
C	4.1636	14	10
C			
DC	4.1314	14	4
DC			
DC	4.1014	14	7
DC			
DE	4.0493	14	9
E			
E	3.9836	14	1
E			
E	3.9757	14	2

Colonias de coliformes totales

Separación múltiple de medias de coliformes totales por período (seco/lluvioso).

Agrupación SNK	Media	N	SH
A	1.805	77	h
B	0.661	59	s

Separación múltiple de medias de coliformes totales por la hora del día (mañana/tarde).

Agrupación SNK	Media	N	MT
A	1.353	68	m
A	1.265	68	t

Separación múltiple de medias de coliformes totales por manantial (MAN).

Agrupación SNK	Media	N	MAN
A	2.357	14	5
A	1.846	15	8
A	1.714	14	6
A	1.692	13	3
A	1.538	13	9
A	1.071	14	10
A	1.071	14	4
A	0.769	13	2
A	0.571	14	7
A	0.5	14	1

Anexo 10. Ajuste del modelo para cada parámetro para los parámetros .

	Pr > f	R ²	Coefficiente de variación	Media
coliformes	0.2030	0.334043	141.8722	1.30882353
temperatura	0.0001	0.73511	2.19649	21.8142857
turbidez	0.0001	0.904022	123.7437	0.857142857
pH	0.0001	0.969711	2.344692	4.30957143
caudal	0.0001	0.999797	1.707717	109.799643

Anexo 11. Efecto de las variables independientes sobre los parámetros analizados.

	Pr > f				
	coliformes	temperatura	turbidez	pH	caudal
sh	0.0016	0.0625	0.0003	0.0038	0.0001
mt	0.7387	0.0061	1.0000	0.2799	0.8384
man	0.3336	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
sh*mt	0.7975	0.0778	1.0000	0.6268	0.9094
sh*man	0.1885	0.8907	0.0001	0.0001	0.0001
mt*man	0.6326	0.9985	1.0000	0.8926	1.0000
sh*mt*man	0.9779	0.9912	1.0000	0.7626	1.0000

Anexo 12. Medias general de todos los parámetros analizados.

N° obs.	Variable	Sumatoria	Media	Varianza	Desviación estándar
140	col	178	1.3088235	3.6816993	1.9187755
	tem	3054	21.8142857	0.6235355	0.7896426
	pH	603.34	4.3095714	0.2425120	0.4924551
	tur	120	0.8571429	8.4326824	2.9039081
	cau	15371.95	109.7996429	12467.87	111.6596173

Manantial (#)	col	tem	pH	tur	cau
1	0.50	22.00	3.98	0.00	321.52
2	0.77	22.03	3.98	0.00	18.14
3	1.69	22.79	4.76	0.00	226.11
4	1.07	20.79	4.13	0.00	230.85
5	2.36	21.93	4.18	0.00	17.09
6	1.71	21.68	4.16	0.00	2.03
7	0.57	20.86	4.10	0.00	65.04
8	1.84	22.53	5.58	8.57	24.07
9	1.54	22.07	4.05	0.00	17.82
10	1.07	21.71	4.16	0.00	175.31

Anexo 13. Datos de la caja recolectora.

Fecha	Época	Hora del día	Colonias de coliformes totales	Temperatura	Turbidez	pH
20/09/96	seca	mañana	0	22.00	0	4.28
20/09/96	seca	tarde	0	22.00	0	4.27
25/09/96	lluviosa	mañana	1	22.00	0	4.28
25/09/96	lluviosa	tarde	2	22.00	0	4.23
01/10/96	lluviosa	mañana	7	22.00	0	4.39
01/10/96	lluviosa	tarde	6	22.00	0	4.37
11/10/96	lluviosa	mañana	0	22.00	0	4.26
11/10/96	lluviosa	tarde	1	22.00	0	4.32
15/10/96	lluviosa	mañana	1	22.00	0	4.25
15/10/96	lluviosa	tarde	0	22.00	0	4.24
		Promedio	1.8	22.00	0	4.41