

Externalidades hídricas del sistema agroforestal café con sombra, en la subcuenca del Río Guacalate, Guatemala

BAYRON YURY MEDINA FERNÁNDEZ

# CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN ESCUELA DE POSGRADO MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

EX	TERNALID	ADES	HÍDRICAS	DEL SIS	TEMA	AGROFOR	RESTAL	CAFÉ	CON
;	SOMBRA,	EN LA	SUBCUEN	NCA DEL	. RÍO G	SUACALAT	E, GUAT	ΓΕΜΑL	Α

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado como requisito para optar al grado de Magister Scientiae

Por

Bayron Yury Medina Fernández

Turrialba, Costa Rica 2004 Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

### MAGISTER SCIENTIAE

### FIRMANTES:

Francisco Jiménez, Dr Sc. Consejero Principal.

Philippe Haast, Ph.D.

Miembro Comité Consejero

Jean Michel Harmand, Ph D. Miembro Comité Consejero

Sergio Velásquez, M.Sc.

Miembro Comité Consejero

Glenn Galloway, Pland

Director Programa de Educación y

Decano de la Escuela de Posgrado

Bayron Yury Medina Fernández

Candidato/

### **DEDICATORIA**

A Jesucristo por su fidelidad y amor eterno

A mis padres por darme la vida

A mis esposa por su apoyo y amor profundo

A mis hijos por ser un motivo para luchar y vencer en la vida

Al Dr. Alan González por su hospitalidad

Al Dr. Gilberto Páez Borín por su noble servicio

A los esposos Yoseth y Roger Meneses por su amistad

### **AGRADECIMIENTOS**

A la Asociación Nacional del Café (ANACAFE) de Guatemala a través del programa de pequeños productores de café apoyado por USAID por haber financiado mis estudios de maestría.

A CASCA (Sistemas Agroforestales de Café en Centro América) por haber financiado parte del presente estudio de tesis.

Al Dr. Francisco Anzueto de ANACAFE por el apoyo incondicional brindado durante estos dos años.

A los compañeros del ANACAFE por el apoyo, durante el trabajo, en especial al Ing. Humberto Jiménez; Héctor Chávez; Víctor Galicia; Ing. Héctor Samayoa; Licda. Lucrecia Padilla; Ing. Oscar García y Ernesto Ávila.

A mi profesor consejero Dr. Francisco Jiménez por su paciencia y tiempo dedicado. A Los Doctores Luc Villain y Philippe Vaast por su apoyo y Amistad.

A los profesores y personal administrativo del CATIE por haberme formado no solo intelectualmente sino también como ser humano.

A los hermanos de la Iglesia Asambleas de Dios de Turrialba por su amistad y compañerismo durante estos dos años.

A mis amigos y compañeros por su apoyo, amistad y tiempo compartidos.

### RESUMEN

Medina B. 2003. Externalidades hídricas del sistema agroforestal Café, en la subcuenca del Río Guacalate, Guatemala.

Palabras Claves: Subcuenca, Café, Sistemas Agroforestales, Externalidades, Calidad del agua, Usos de la tierra, Río Guacalate.

La presente investigación se realizó en la subcuenca del Río Guacalate, ubicada en la Vertiente Pacifico, región volcánica de los departamentos de Sacatepequez, Chimaltenago y Escuintla, Guatemala; durante marzo a septiembre del 2003. Se estudio la calidad y cantidad de agua existente sobre los usos principales de la tierra en el área (cultivos anuales, bosques y cafetales con sombra), a través de parámetros físico-químico y microbiológicos como caudal, pH, conductividad eléctrica, sólidos sedimentables (S.S.) sólidos totales, sólidos totales disueltos (S.T.D.), turbidez, demanda química de oxigeno (D.Q.O.) demanda bioquímica de oxigeno, coliformes totales y Echerichia coli, monitoreándose en cuatro épocas durante los meses Abril, Mayo, Julio y Septiembre, realizando siete réplicas para cada uso Además se realizó un análisis de la contaminación puntual sobre el cauce principal a lo largo de 16 km en cinco puntos de muestreo, analizando los mismos parámetros y épocas de muestreo, para determinar la influencia de la contaminación generada por las agroindustrias de café y vertidos residuales municipales Se realizó un análisis de las externalidades hídricas generadas por la influencia antropogénica sobre las redes de drenaje, (deforestación y consumo de leña, erosión, arrastre de arena de río, caudal ecológico y tenencia de la tierra), así como la descripción del sistema agroforestal café con sombra y propuesta para el servicio ambiental hídrico. La falta de manejo y planificación de la subcuenca evidencia deterioro en sus recursos naturales manifestando externalidades negativas al sistema tales como: erosión y asolvamiento de causes (61.416 m³/arena/año), perdida de la cobertura vegetal por cambio en el uso de tierra y extracciones insostenibles de algunos bosques municipales (20 árboles maduros/dia); perdida de biodiversidad y calidad de agua Existe mejora en la calidad de agua respecto al uso de la tierra respectivamente: cultivo anual, café y bosque; los mejores parámetros para evidenciar diferencias en contaminación son en su orden: S.T.D; S.S.y D.Q.O.; esta ultima evidencia mejor la contaminación por efluentes de beneficiado de café. De 100 muestras ninguna cumplió con las normas Guatemaltecas para consumo humano y riego. El área de cultivo de café evidencia externalidades hídricas positivas por ubicarse latitudinalmente en óptimos pluviométricos, cobertura arbórea permanente en laderas, favoreciendo corredores y caudales ecológicos.

### SUMMARY

Medina B. 2003. Hydric Externalities for shade coffee agroforestry systems in the Río Guacalate sub-watershed in Guatemala.

Kew words: sub-watershed, coffee, externalities, water quality, land use, Rio Guacalate

This study was conducted in the Río Guacalate sub-watershed which is located on the Pacific slope of the volcanic region in the provinces of Sacatepequez, Chimaltenango, and Escuintla, Guatemala from March to September, 2003. Existing water quality and quantity was studied for the principle land uses in the area (annual crops, forest, and shade coffee farms) using physical-chemical and microbiological parameters such as flow, pH, electrical conductivity, sediment solids, total solids, total dissolved solids, turbidity, chemical demand for oxygen, biochemical demand for oxygen, total coliforms, and Echerichia coli. These were monitored during the four months of April, May, July, and September using seven replicates for each use. An analysis was also conducted of the shore contamination along 16 km of the principle river course in 5 sampling points analyzing the same parameters and using the same sampling times in order to determine the influence of the contamination generated by the coffee agro-industries and municipal dumping residue. An analysis was conducted for hydric externalities generated by anthropogenic influences on the drainage network (deforestation and wood consumption, erosion, the carrying off of sand by the river, ecological flow, land tenure) as well as the description of the shade coffee agroforestry system and proposal for hydric environmental service. The lack of management and planning of the sub-watershed indicates the deterioration of its natural resources showing the negative externalities to the system such as: erosion, obstruction of the river course (61 416 m<sup>3</sup>/sand/year), vegetation cover loss due to land use change, non-sustainable extraction of some municipal forests (20 mature trees/day), loss of biodiversity and water quality. There is an improvement in water quality with respect to land use respectively: annual crops, coffee and forests. The major parameters which show differences in contamination are in order: S.T.D. S.S. and D.Q.O. The last one better shows the contamination caused by coffee wet processing discharges. Of the 100 samples none of them satisfied the Guatemalan laws for human consumption and irrigation. The coffee crop area shows positive external hydric inputs because they are latitudinally located in optimal pluviometrics and permanent hillside tree cover which favor ecological corridors and flows.

# LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Indicadores de la calidad del agua	14
Cuadro 2	Esquema de tratamientos, repetición y frecuencia para el muestreo de	
	aguas en usos de la tierra	26
Cuadro 3.	Indicadores, métodos y equipos utilizados en análisis de	
	laboratorio	28
Cuadro 4.	Métodos y herramientas utilizados para la caracterización del agro	
	sistema café	31
Cuadro 5.	Especies de fauna observadas durante recorridos	36
Cuadro 6.	Distribución de la población de la cuenca del año 2002	39
Cuadro 7.	Utilización de combustible para cocinar en la subcuenca	
	Guacalate	40
Cuadro 8.	Matriz de correlación de variables físico – químicas	48
Cuadro 9.	Caracterización de beneficios húmedos de café	54

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localización del área de estudio	17
Figura 2.	Zonas de vida de la subcuenca Guacalate	22
Figura 3.	Serie de suelos subcuenca Guacalate	24
Figura 4.	Ubicación de puntos de muestreo por uso de la tierra y cauce	
	principal del Río Guacalate	27
Figura 5.	Uso actual de la tierra en la subcuenca Guacalate, Guatemala	42
Figura 6.	Comportamiento de caudal según tratamiento y época	43
Figura 7.	Comportamiento del pH según tratamiento y época	44
Figura 8.	Comportamiento de nitratos según tratamiento y época	45
Figura 9	Comportamiento de conductividad eléctrica según tratamiento y	
	época	46
Figura 10	Comportamiento de coliformes según tratamiento y época	47
Figura 11	Círculo de correlación ACP (Análisis de Componentes Principales) de	
	variables físico-químicas y su proyección sobre factores 1 y 2	49
Figura 12.	Usos de la tierra, Análisis Factorial Discriminante (AFD) para	
	diferentes indicadores de calidad del agua según usos de la tierra en	
	la subcuenca Guacalate	50
Figura 13.	Curva de demanda química de oxígeno (DQO) antes y después del	
	vertido de aguas del beneficiado	51
Figura 14	Curva del caudal a lo largo del río Guacalate	52
Figura 15	Curva de concentración de sólidos sedimentables (SS) en cuatro	
	épocas del año	53

# LISTA DE ANEXOS

Anexo No.1	Boleta de toma de datos de caudal en campo	70
Anexo No.2	Boleta para análisis de aguas físico químicos en laboratorio	71
Anexo No.3	Cálculo de caudales, fase de gabinete	72
Anexo No.4	Análisis microbiológico para muestras de agua	73
Anexo No.5	Normas de calidad del agua según su uso en Guatemala	74
Anexo No.6	Datos primer muestreo de usos de la tierra: abril	75
Anexo No.7	Datos segundo muestreo de usos de la tierra: junio	76
Anexo No.8	Datos tercer muestreo de usos de la tierra: julio	77
Anexo No.9	Datos cuarto muestreo de usos de la tierra: setiembre	78

# CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	٧
SUMMARY	vi
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE ANEXOS	ix
CONTENIDO	х
1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. OBJETIVOS 1.2.1. Objetivo general 1.2.2. Objetivos específicos. 1.3. HIPÓTESIS	4 4 4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 SISTEMAS AGROFORESTALES 2.2 DISTRIBUCIÓN ECOLÓGICA DEL CAFÉ 2.3. TIPOLOGÍAS 2.4. ÁRBOLES DE SOMBRA 2.5. EXTERNALIDADES, VALORACIÓN Y PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES 2.6. SERVICIOS AMBIENTALES EN EL AGROSISTEMA CAFÉ CON SOMBRA 2.6.1. Protección de suelos 2.6.2. Conservación y provisión de agua 2.7. CALIDAD DEL AGUA 2.7.1. Determinación de la calidad del agua 2.7.2. Indicadores asociados a la calidad del agua 3. MATERIALES Y MÉTODOS	5 6 7 8 9 10 11 12 13 15
3.1. INFORMACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO 3.1.1. Localización 3.1.2. Características biofísicas 3.1.2.1. Fisiografía 3.1.2.2. Geología 3.1.2.3. Hidrogeología 3.1.2.4. Clima 3.1.2.5. Zonas de Vida 3.1.2.6. Suelos 3.1.3. Características Socio-económicas 3.2. METODOLOGÍA 3.2.1. Reconocimiento preliminar y elaboración de mapas 3.2.2. Muestreo de las aguas en usos de la tierra 3.2.2.1. Tratamientos, repeticiones, frecuencia 3.2.2.2. Análisis de laboratorio (recolección, parámetros evaluados y metodología)	16 16 18 18 19 20 21 23 25 26 26 28

3.2.2.3 Mediciones hidrométricas (aforos de caudales, recolección de muestras) 3.2.2.4 Modelo de análisis	28
3.2.3. Identificación de externalidades hidricas	29 3 <i>0</i>
3.2.3.1. Caracterización del beneficiado húmedo sobre el cauce principal	3 <i>0</i> 30
3.2.3.2 Red de drenaje y aprovechamiento de arena de río	30 30
3.2.3.3 Deforestación en nacientes, biodiversidad caudal ecológico	31
3.2.4. Caracterización del agro-sistema café	31
4. RESULTADOS Y DISCUCIÓN	32
4.1. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA	32
4.1.1. Características pluviométricas de la subcuenca Guacalate	32
4.1.2 Deforestación en nacientes biodiversidad y caudal ecológico	34
4.1.3. Erosión hídrica	35
4.1.4. Geología económica y trasporte de sedimentos	37
4.1.5. Crecimiento poblacional y utilización de leña para cocinar	39
4.2. ANÁLISIS DE LAS AGUAS EN LOS DIFERENTES USOS DE LA TIERRA	40
4.2.1 La cobertura y uso actual de la tierra	40
4.2.2. Análisis de varianza	43
4.2.2.1 Variable cantidad de agua	43
4.2.2.2. Variable pH	44
4.2.2.3. Variable Nitratos	45
4.2.2.4. Conductividad Eléctrica	46
4.2.2.5 Coliformes totales	47
4.2.3. Matriz de correlación	48
4.2.4. Análisis de Componentes Principales (ACP)	48
4.2.5. Análisis Factorial Discriminante (AFD)	49
4.3. EXTERNALIDADES HIDRICAS	50
4.3.1. Contaminación puntual (beneficios de café sobre el cauce principal)	50
4.3.2. Caracterización de los beneficios de café 4.4. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA AGROFORESTAL	<u>50</u>
4.4.1. Distribución altitudinal	55 55
4.4.2. Tipologia de la sombra	<i>5</i> 5
4.4.3 Practicas de Manejo	55 56
•	
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1. CONCLUSIONES PARA EL OBJETIVO UNO	58
5.2. RECOMENDACIONES	61
6. BIBLIOGRAFÍA	62
7. ANEXOS	69

# 1. INTRODUCCIÓN

El agua dulce es un recurso esencial para la vida, pero cada día es más escaso y valioso, debido, en gran parte a su mal manejo y aprovechamiento, constituyéndose en una grave amenaza al desarrollo sostenible. En algunos países, la limitada disponibilidad de agua está generando competencia entre la agricultura, la industria y las ciudades. A medida que las poblaciones se expanden y las economías crecen, se intensifican los conflictos entre los usuarios (FAO 1993).

De igual manera, en Guatemala, a pesar de la abundancia relativa del recurso, su distribución geográfica y disponibilidad no es uniforme; en el sector agua potable existe déficit y en el agrícola mal uso y conflictos; en el energético hay escaso aprovechamiento. Además, la contaminación y la débil gestión sectorial del recurso provocan escasez y limitaciones de disponibilidad para los diferentes usos (Cobos 2002).

En cuanto a calidad del agua y deterioro del medio ambiente, aún no se cuenta con información confiable; los patrones de contaminación se asocian al crecimiento urbano local en los cuerpos receptores de agua con vertidos municipales y a determinadas actividades agrícolas que utilizan altos contenidos de agroquímicos. Las prácticas agrícolas inadecuadas y la explotación irracional de los bosques representan otro punto de conflicto en el manejo de los recursos hídricos, debido a los problemas de erosión y sedimentación de los ríos, principalmente los del pacífico. La intervención de las áreas de recarga por los avances de las fronteras agrícolas y urbanas afectan seriamente la disponibilidad de agua subterránea en el corto plazo (OPS, 2000)

La subcuenca Guacalate ha sido seleccionada por el Gobierno de Guatemala, como una de las cinco prioritarias del País, para formular planes de manejo, inversiones y proyectos, sobre la base de la problemática del deterioro de los recursos naturales asociados al recurso hídrico y al alto crecimiento económico y poblacional.

Este deterioro muestra una inadecuada conversión de uso de la tierra y débil gestión de riesgo provocada por un avance de la frontera agrícola sobre áreas con cubierta forestal, con agricultura intensiva de ladera, con pendientes mayores de 16%, sin prácticas de conservación de suelo, niveles de erosión alto y tierras en sobreuso, donde la población

local utiliza en forma desordenada los recursos para suplir sus necesidades básicas de alimentación, agua, leña y madera (MAGA, 2001).

Las zonas para protección de la calidad y cantidad de agua para futuras generaciones, corresponden a los barrancos escarpados con altas pendientes, que constituyen áreas de la vía de drenaje de varios ríos que se distribuyen en las microcuencas intervenidas de la subcuenca en su parte alta, pero que cada día se contaminan más (MAGA, 2001).

La ausencia en el manejo del recurso bosque, la deforestación y la erosión se convierten en fuertes agravantes para las condiciones de la subcuenca, generando pérdidas de zonas de recarga y disminución de las fuentes de agua, aumento en los niveles de escorrentía, generación de deslizamientos, asolvamientos, crecidas y taponamientos de quebradas y puentes. Ello se debe agregar la contaminación de las fuentes de agua por drenajes domiciliares, desechos industriales y agrícolas descargados hacia afluentes y ríos, sin ningún tratamiento (MAGA, 2001).

Las cuencas hidrográficas son unidades territoriales donde funciona la combinación de un sistema hídrico que produce agua, simultáneamente con un subsistema económico y social, activado por el hombre, el capital, el trabajo y la tecnología. En ellas se producen bienes y servicios agrícolas, pecuarios, forestales y recreativos que demandan principalmente poblaciones. Las acciones del manejo cuencas son fundamentales para el manejo de los recursos hídricos de estas zonas, ya que son parte de los procesos de gestión para contrarrestar los efectos ambientales negativos y favorecer los positivos; por ello es de suma importancia delimitar áreas que tienen mayor presión hacia los recursos naturales, cuantificarlos y evaluarlos para proponer alternativas que permitan detener el acelerado proceso de contaminación.

En Centroamérica existen un total de 857.000 hectáreas con café y es sin duda, el cultivo que más ha contribuido a formar el paisaje de las cordilleras volcánicas y cuencas de esta región (Bertrand y Rapidel, 1999); y durante más de 100 años, el uso de sombra para el cultivo del café ha constituido uno de los éxitos más grandes en el mundo de las tecnologías agroforestales (Beer, 1995).

En la última década, a través de investigaciones, se le ha atribuido al café con sombra, el potencial de proveer una serie de servicios ambientales como conservación de suelos y protección del agua, fijación de carbono, biodiversidad, belleza del paisaje, etc. (Fournier, 1996; Vargas, 2000). Este reconocimiento mediante mecanismos de pago, viene a reforzar la discusión sobre el uso de incentivos tradicionales para fomentar la producción sostenible mediante prácticas y obras de conservación de suelos y a levantar temas como el del valor económico de estos beneficios o servicios ambientales y el costo de los que administran estos agroecosistemas (Cuellar et al., 1999).

Hasta el momento no existen aún evaluaciones que muestren las interacciones hídricas del agrosistema café con los respecto a los diferentes usos de la tierra, por lo que se propone evaluar este agrosistema café, respecto a la calidad y cantidad del agua, dentro del área de la subcuenca Guacalate.

### 1.2. OBJETIVOS

# 1.2.1. Objetivo general

Determinar las externalidades generadas por el agrosistema café, con énfasis en el recurso hídrico, como proveedor de servicios ambientales en la subcuenca del Río Guacalate.

# 1.2.2. Objetivos específicos

- a) Caracterizar el sistema de producción de café, en términos de intensidad de manejo y componente arbóreo.
- b) Caracterizar elementos biofísicos y socioeconómicos relacionados con la calidad del agua y la deforestación de los recursos naturales en la subcuenca Guacalate.
- c) Comparar la calidad del agua superficial en los usos principales de la tierra en la subcuenca Guacalate, mediante parámetros físico-químicos y bacteriológicos.
- d) Identificar las principales externalidades hídricas (positivas y negativas) que genera el cultivo de café y su agroindustria.

# 1.3. HIPÓTESIS

- No hay diferencias estadísticamente significativas entre la calidad físico química
   y biológicas de agua en la subcuenca del Río Guacalate, según el uso de la tierra.
- No hay diferencia estadísticamente significativas en la calidad físico química y biológica del agua en la subcuenca del Río Guacalate, según la época de muestreo.
- No existe diferencias estadísticamente significativas en calidad físico-química y biológica del agua respecto al vertido de las aguas mieles sobre el cauce principal del rió.

# 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. SISTEMAS AGROFORESTALES

A partir de la necesidad creciente, de establecer sistemas de producción económica y ecológicamente sostenibles, que contribuyan a conservar los recursos naturales y a frenar el avance de la frontera agrícola sobre los bosques vírgenes en zonas tropicales, se viene fomentando los sistemas agroforestales que combinan la producción agrícola con la forestal, dentro de un mismo sistema de producción (Fischersworring y Robkamp, 2000).

Los sistemas agroforestales (SAF) logran combinar muchos beneficios de un sistema agrícola con las de un sistema forestal. Las interacciones positivas entre los componentes (por microclima, reciclaje de nutrientes y mayor biodiversidad) pueden favorecer al SAF sobre otros sistemas de uso de la tierra, siempre y cuando sean más fuertes que las interacciones negativas.

El sistema café con árboles consiste básicamente de dos componentes: los árboles son el componente grande y modificador, y los cafetos son el componente afectado por los árboles.

Las combinaciones de especies y arreglos espaciales y temporales como los árboles en, cafetales pueden contribuir hacia una mayor sostenibilidad ecológica y económica (Muschler, 2000).

### 2.2. DISTRIBUCIÓN ECOLÓGICA DEL CAFÉ

El café se cultiva en una amplia gama de zonas ecológicas y distintas características edafoclimáticas. Los sitios donde el café produce mejor (en cantidad y calidad) son aquellos que reúnen las siguientes condiciones: zonas altas (>1200 msnm), entre 17 °C y 23 °C, 70-95% de humedad relativa, suelos profundos (generalmente volcánicos), precipitación promedio de 2000 mm/año, y sitios protegidos del viento o con vientos moderados (Galloway y Beer, 1997; ANACAFÉ, 1998).

Estas condiciones contrastan con las que se encuentran en muchos sitios sembrados de café: zonas bajas (a veces, hasta 400 msnm), suelos pobres con características físicas no deseables, áreas con baja precipitación (1000 mm/año) y/o afectadas por la canícula. La existencia de café en sitios marginales ofrece una oportunidad para convertir cafetales marginales en plantaciones forestales (Galloway y Beer, 1997).

Aunque deben establecerse criterios sobre las mejores áreas para sembrar café, esto no solo a nivel de región, sino a nivel de finca. En la actualidad, el café se siembra en áreas no aptas para el cultivo con consecuencias negativas, tanto en la economía como la ecología de la región afectada. En algunos países como México, Guatemala, El Salvador y Costa Rica se están haciendo esfuerzos para ubicar y mapear fincas cafetaleras. El uso de los Sistemas de Posicionamiento Global (SPG) facilita la toma de datos, y los sistemas de Información Geográfica (SIG), la grabación y el manejo de la información (Fernández y Muschler, 1999).

# 2.3. TIPOLOGÍAS

Los cafetales varían en su composición botánica, estructura del dosel de sombra y manejo agronómico; las tipologías son utilizadas para la caracterización de los cafetales, mediante el uso de técnicas multivariadas que analizan las relaciones y correspondencias entre distintas variables biofísicas y socioeconómicas (área del cafetal, altitud, intensidad de manejo, riqueza y abundancia de especies de sombra, etc.) (Bonilla, 1999; Zúñiga, 2001).

Hay una gran diversidad de tipos de sombra en los cafetales. En América Central se pueden encontrar cafetales bajo sombra de bosque, cafetales bajo unas pocas especies escogidas, sombra de solamente una especie arbórea o un solo género como *Inga spp* o *Eritrina spp*; también hay cafetales a plena exposición solar donde se han eliminado completamente los árboles asociados (Muschler, 2000).

Moguel y Toledo (1999) clasificaron los cafetales de Chiapas, México con base en su capacidad para sostener biodiversidad (especialmente avifauna). La clasificación propuesta incluye: 1) Cafetal rústico, con el café plantado bajo montaña raleada; 2) Cafetal tradicional en asocio con cultivos; 3) Cafetal comercial en asocio con cultivo; 4) Cafetal con sombra mono específica y 5) Cafetal a pleno sol.

La gran variabilidad en la composición botánica y en la estructura del dosel de sombra en los cafetales se observa no solo entre cafetales de distintas regiones, sino incluso dentro de cada región. Para entender esta gran diversidad hay que revisar los componentes de estos sistemas y los factores que determinan el éxito de cada sistema. Las condiciones ambientales específicas pueden determinar la necesidad o utilidad por mayores o menores niveles de sombra en un cafetal y para ello se pueden utilizar diferentes especies de arbóreas con sus diferentes características, tales como arquitectura de copa, cambios fenológicos, tasa de crecimiento y su desarrollo radicular. Las funciones primarias de los árboles son la moderación del microclima, la mejora de los suelos y la producción de madera o frutos (Muschler, 2000).

# 2.4. ÁRBOLES DE SOMBRA

Existe una amplia variedad de especies arbóreas que se utilizan como árboles de sombra, éstas se seleccionan de acuerdo con el tipo de sombra que se requiera (temporal, semi-permanente o permanente). Las especies del género *Inga spp*, son las más usadas como sombra permanente y existen criterios diferentes con respecto a su manejo (Galloway y Beer, 1997).

Actualmente hay un reconocimiento casi generalizado sobre la importancia de los árboles de sombra en cafetales por razones ecológicas y económicas. Entre las motivaciones principales para plantar árboles dentro o alrededor de un cafetal está la ganancia directa por la producción de los árboles, (madera, leña, frutos) y la ganancia indirecta por cambios ambientales y sus efectos sobre la producción y la sostenibilidad del cafetal (Muschler, 2000).

Es típico que muchas de las especies de árboles usadas para sombra de café tengan multiples funciones, ofreciendo una variedad de servicios y productos. Estos incluyen: materia orgánica, reciclaje de nutrientes, fijación de nitrógeno, movilización de fósforo, producción de frutas, madera y leña, reducción de riesgos por plagas y enfermedades, mantenimiento de la biodiversidad y la regulación del microclima para el café Además estos árboles pueden utilizarse para delimitación de linderos y caminos, cortinas rompevientos y barreras vivas (Galloway y Beer, 1997; Lyngbaek, 2000).

Debido a las grandes variaciones en las condiciones ambientales, los requerimientos de sombra van desde ninguna hasta sombreado fuerte, aún dentro de una plantación pequeña, y es por lo tanto difícil, recomendar niveles específicos de sombra.

# 2.5. EXTERNALIDADES, VALORACIÓN Y PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES

Un bien ambiental es un producto de la naturaleza directamente aprovechado por el hombre como el agua; los servicios ambientales se definen a partir de las funciones ecosistémicas, usos, o el potencial para ser utilizados para su bienestar, como: regulaciones del clima, gases, desastres, oferta hídrica, formación del suelo, control de la erosión, refugio de especies, recursos genéticos, recreación, etc.

El Pago por Servicios Ambientales (PSA), a partir de una demanda de bienes y servicios ambientales; y la capacidad de la oferta agroecosistémica, propone generar nuevas formas organizativas y mercados para los servicios ambientales dentro del sistema social. Estos pueden ser de interés global, regional o local; facilitando la identificación y relación entre los que reciben los servicios (demandantes) y aquellos que prestan los servicios (oferentes) (PASOLAC, 2000).

El enfoque de cuenca busca introducir nuevas reglas sociales en cuanto al uso de estos recursos a partir de un análisis eco- hidrológico del funcionamiento de la cuenca. Las acciones de uso y manejo de los recursos naturales que se den en las partes altas o medias de las cuencas y subcuencas (áreas de mayor captación y regulación hídrica) van a repercutir, tanto allí (internalidades) como en la parte baja (externalidades), que pueden ser positivas o negativas (Robledo, 2001).

Según Azqueta (1994), las externalidades positivas se traducen en servicios ambientales y las externalidades negativas es el daño que se causa por el mal uso que se hace de los recursos y que repercuten en el bienestar social y del ecosistema. Estamos en la presencia de una externalidad en el momento en que una persona o empresa repercute sobre el bienestar de otra persona y sobre su función de producción, sin que pueda cobrar un precio.

Uno de los grandes desafíos que vemos hoy día es que muchos de los recursos naturales y bienes ambientales carecen de precio, por que no se ha formado espontáneamente un

mercado alrededor de ellos en el que sean objeto de transacción. Sus características de bienes públicos, reflejados en la ausencia de mercados, la no-exclusividad (no se puede excluir de su disfrute a aquellos que no pagan por ellos), y no rivalidad (están disponibles para todos), lo convierten en una amenaza para la oferta efectiva de los servicios ambientales (PASOLAC 2000).

Con la valoración económica se intenta asignarle un valor monetario a los bienes y servicios ambientales que usualmente no tiene un valor en el mercado, por el fenómeno de la escasez y la demanda en términos del deterioro ambiental local y global. El concepto de valor económico total permite incluir, tanto los bienes y servicios tangibles, como las funciones del medio ambiente y los valores asociados al uso del recurso mismo.

El pago por servicios ambientales (PSA) está basado en el principio de "quien se beneficia paga" (Beneficiary Pays Principle en inglés). Su fundamento constituye la contraparte del famoso principio de "quien contamina paga" (propuesto por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico — OCDE), base analítica de la economía ambiental para la regulación de la contaminación (PASOLAC 2000).

El PSA se basa en la idea de que las personas que se benefician deberían compensar por la provisión de estos servicios ambientales a los productores que aportan dichos beneficios.

El pago de servicios ambientales en agroecosistemas, por ejemplo, reconoce el esfuerzo que el productor realiza, tanto en el conjunto de prácticas cuyo objetivo es la producción de bienes agrícolas comercializables, como la de servicios ambientales. El PSA difiere sustancialmente de los tradicionales incentivos para promover la agricultura sostenible. El incentivo tiene un espacio temporal corto y su finalidad consiste en estimular el cambio y adopción de prácticas agrícolas. En cambio, el pago por servicios ambientales tiene un carácter temporal de largo plazo, un pago directo, dado que se busca un flujo sostenible de servicios ambientales (Herrador y Dimas, 2000).

# 2.6. SERVICIOS AMBIENTALES EN EL AGROSISTEMA CAFÉ CON SOMBRA

Desde una perspectiva ambiental, la superficie cafetalera ha estado jugando un rol decisivo en la provisión de servicios ambientales de los países. Las crisis de los precios del café ha

derivado fuertes presiones en cambios en el uso actual de los suelos cafetaleros, ocasionando un proceso de reconversión de áreas de cafetales hacia otros usos (urbanos, industriales, ganadería extensiva, cultivos anuales, etc.), teniendo pérdidas en la cobertura vegetal, degradación de los suelos e influyendo en las áreas de recarga hídrica (Cuellar et al., 1999).

Existe interés de identificar los efectos indirectos de los árboles que influyen en la economía de un sistema agroforestal; generalmente estos se manifiestan a través de cambios que generan servicios ambientales sobre la producción y la sostenibilidad del café, generando servicios ambientales como la conservación de suelos y protección del agua, fijación de carbono, biodiversidad, belleza del paisaje, etc. (Fournier, 1996; Avila, 2000).

Los sistemas agroforestales de café con sombra de árboles contribuyen a los esfuerzos por reducir el efecto negativo del exceso de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, a la vez que conservan la biodiversidad (Perfecto *et al.*, 1996; Radipel y Bertrand, 1999; Avila G, 2000).

Las iniciativas de comercialización de servicios ambientales vinculados a la conservación de biodiversidad y captura de carbono en cafetales tienen su base en los desarrollos que de la agenda ambiental mundial. Ambas iniciativas están estrechamente relacionadas a las posibilidades emanadas de los compromisos regionales y nacionales en los convenios de biodiversidad y cambio climático (Cuellar et al., 1999)

### 2.6.1. Protección de suelos

Muchos efectos de los árboles a largo plazo se expresan a través de las propiedades del suelo. El mantenimiento de niveles altos de materia orgánica es uno de los factores principales, tanto por su rol de mantener la estructura del suelo, como por su importancia como fuente y sustrato de nutrientes. Con la eliminación o reducción de la sombra, no solamente en cantidad, sino también en diversidad, el suelo queda expuesto a las fuerzas ambientales como el agua, el viento y el sol. La pérdida de suelo, compactación y la tasa de infiltración, así como la cantidad y calidad de materia orgánica que está incorporada al suelo son factores que pueden ser afectados por un proceso de modernización. En café tradicional en Colombia, una hectárea demostró una tasa de erosión de 250 kilogramos por año, en tanto que en el sur de Nicaragua, donde hubo un intento grande de modernizar el

café en los años 80, la erosión llegó hasta 176.000 kilogramos por hectárea por año, en ciertas laderas bajo un manejo tecnificado (Rice, 1995; Muschler, 2000).

La susceptibilidad de un suelo a las fuerzas erosivas por el impacto de las gotas de lluvia y por el flujo superficial es el proceso de pérdida de suelo más importante, por la dispersión de agregados, especialmente en suelos derivados de cenizas volcánicas. Reportes indican valores de pérdida por dispersión de agregados en suelo desnudo entre 0,64 kg/m², equivalentes al 53,66% de pérdida, y 1,33 kg/m² equivalente al 74,49% de pérdida, en relación con los demás procesos erosivos para el mismo suelo.

# 2.6.2. Conservación y provisión de agua

La potencialidad de recarga hídrica de los sistemas agroforestales es amplia, por la posición geofísica altitudinal en que se encuentran, la sombra y su cobertura vegetal. Los cambios en el uso del suelo más importantes con respecto a su impacto en la calidad y cantidad de agua son, la intensificación de la agricultura, la deforestación para el cultivos limpios como ganaderia u otros y, áreas urbanas e industriales; los cuales producen una disminución considerable en el nivel del agua subterránea y de la recarga subterránea.

La cobertura forestal juega un papel de suma importancia dentro de cuencas hidrográficas, porque estabiliza los suelos, previene la erosión y arrastre de sedimentos causados por el escurrimiento de agua superficial en laderas (ya que los bosques tiene la capacidad de captar y retener agua, proveniente de las lluvias por medio de sus sistemas de raíces), favoreciendo de esta manera, el drenado continuo y constante de agua, importante especialmente en épocas secas.

La recomendación más práctica que permite contrarrestar la erosión causada por la dispersión de los agregados de estos suelos, es el uso de una cobertura vegetal densa permanente acompañado a los cultivos, de tal forma que impida el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el terreno. Esta práctica, además de proteger el suelo y el agua, es un incentivo para el agricultor, ya que le conduce a disminuir los costos en las desyerbas entre un 85 a 90% (Rivera *et al.*, 1998).

La lluvia efectiva se refiere a la proporción de agua lluvia que ingresa a la superficie del suelo, parte de la cual se transforma en escorrentía y en percolación. La percolación es la proporción de agua lluvia que ingresa al perfil del suelo, resultando una parte retenida por el suelo y otra parte sale del sistema por infiltración (drenaje profundo).

Según estudios de Jaramillo y Chávez (1999), los valores máximos de la percolación presentan diferencias según la condición del cafetal; bajo sombra de guarno (*Inga spp*) obtuvieron una percolación de 27,1 mm; en el cafetal a libre exposición 34,2 mm; y en el bosque fue de 28,9 mm. Además en el suelo del cafetal bajo sombrío, con un mayor horizonte orgánico, no se presentó deficiencia de agua durante los períodos críticos de julio-agosto-septiembre de 1997 y diciembre-abril de 1998, mientras que, a las dos profundidades (20 y 40 cm), ocurrieron deficiencias severas para el cafetal a libre exposición solar, este suelo presenta un horizonte orgánico muy deteriorado.

En la conservación de agua, la provisión directa proviene de manantiales y nacientes en cafetales con sombra es el caso más obvio de este tipo de servicio. Deben tenerse en cuenta la capacidad del manantial (para no secarlo), y tomarse medidas de conservación para que las fuentes se mantengan viables. A escalas mayores como ríos, se requiere de estudios complejos que puedan demostrar la incidencia de la infiltración a nivel de agroecosistema (s) a una escala de microcuenca o cuenca.

### 2.7. CALIDAD DEL AGUA

Mendoza (1996) define la calidad del agua como las características que puedan afectar su adaptabilidad a un uso específico, en otras palabras, la relación entre la calidad del agua y las necesidades del usuario. También la calidad del agua se puede definir por su contenido de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución.

La FAO (1993) describe que la evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple para evaluar la naturaleza física, química y biológica del agua en relación a la calidad natural, efectos humanos, usos propuestos, especialmente usos humanos y acuáticos relacionados con la salud.

### 2.7.1. Determinación de la calidad del agua

Métodos físico-químicos: se basan en el estudio de los factores físico-químicos del agua y se llevan a cabo mediante una toma de muestras de los sistemas acuáticos, con la determinación de sus características físicas y con análisis de sus componentes químicos. Estos métodos dan una información valiosa, pero se refiere únicamente al instante en que se obtuvo la muestra, por lo tanto, pueden dar resultados muy alarmantes o al contrario pasar desapercibidos ciertos factores para un uso determinado del agua. No indican el estado anterior al de la toma de muestras ni la capacidad de recuperación natural después de un aporte contaminante, tanto en el tiempo como en el espacio (Seoanez et al., 1999).

# 2.7.2. Indicadores asociados a la calidad del agua

Villegas (1995) señala que los indicadores de la calidad del agua son índices destinados a apreciar, de manera resumida el estado de un sistema; son herramientas para la toma de decisiones porque brindan información respecto a las consecuencias de ellas. Los indicadores deben reflejar las conexiones explícitas entre el comportamiento económico y la salud del ecosistema.

El mismo autor expresa que los indicadores deben ser definidos de acuerdo al sistema específico o a la situación específica a ser analizada, para comparar sistemas diferentes, los indicadores correspondientes deben ser determinados dentro de un proceso lógico y repetible. Se tiene que asegurar de que la escogencia de los indicadores no toma lugar arbitrariamente o sólo subjetivamente y que todos los aspectos de un sistema que son significativos para su sostenibilidad son considerados.

Los indicadores seleccionados para este estudio están en dependencia de los usos del agua en la microcuenca: uso agrícola, consumo humano, entre otros, descritos por CATIE (1986) y Mendoza (1996). Estos parámetros de la calidad del agua, evalúan el estado del ecosistema y se describen en el cuadro 1:

Cuadro 1. Indicadores de la calidad del agua.

Indicador	Unidad de medida	Relación con la calidad del agua
Sólidos	ml/l	Son partículas gruesas que se depositan por gravedad en el fondo de los
sedimentables		cuerpos receptores, principalmente Sólidos orgánicos
Sólidos totales disueltos	mg/l	Concentración de minerales disueltos en el agua (limo, arcilla, arena)
		Las arcillas, materia orgánica e inorgánica finamente dividida son las
		responsables de la turbiedad en las aguas. El grado de turbidez no es igual a la
	***************************************	concentración de sólidos suspendidos, es más bien una expresión de uno de los
Turbidez	Unf	efectos de los sólidos suspendidos sobre las características del agua. La
		turbidez excesiva reduce la penetración de luz en los cuerpos de agua
		afectando el proceso de fotosíntesis y por consiguiente disminuyendo así la
		productividad primaria
·		Mide la acidez o alcalinidad del agua. La medida del pH constituye un parámetro
Concentración		de importancia para la descripción de los sistemas biológicos y químicos de las
iones	pH	aguas naturales. Los cambios en el pH afectan el grado de disociación de los
hidrógeno		ácidos y bases débiles los que a su vez afectan el grado de toxicidad de muchos
		de los constituyentes de la disolución.
		Las aguas naturales, contaminadas o no, contienen variedad de sustancias en
		disolución y en suspensión que producen particulas eléctricamente cargadas
	l	(iones) La conductividad eléctrica en las aguas naturales se puede
Conductividad	ds/m	correlacionar con la cantidad de sólidos disueltos como compuestos iónicos de
	1	calcio y magnesio. Para las aguas de irrigación la conductividad eléctrica
		expresa salinidad y puede afectar la vida acuática según su concentración.
Nitratos	mg/l	Altas concentraciones de este elemento pueden ser nocivas para la salud.
		Se da cuando ciertas sustancias presentes en las aguas residuales captan el
	mg/l	oxígeno debido a la presencia de sustancias químicas reductoras. El DQO, es
DQO (Q)		una estimación de las materias oxidables, presentes en el agua, cualquiera que
		sea su origen orgánico o mineral.
······	mg de O₂/l	Es una medida de oxígeno requerido para la estabilización biológica de la
DBO		materia orgánica en un intervalo de tiempo.
	X10 <sup>6</sup> /100 mì	Bacterias Gram negativas, se encuentran en un grupo heterogéneo, pueden
Coliformes		encontrarse en las eses como en el ambiente. Es un indicador de la eficacia del
		tratamiento y distribución del agua.

Las mediciones físicas y químicas y las actividades biológicas constituyen una parte integral de la evaluación de la calidad del agua ya que la salud humana es afectada por condiciones biológicas relacionadas con la calidad sanitaria y bioacumulación de sustancias tóxicas; las mediciones biológicas son necesarias para describir la sanidad acuática y los procesos biológicos que afectan la química del agua (FAO, 1993).

# 3. MATERIALES Y MÉTODOS

# 3.1. INFORMACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 3.1.1. Localización

La subcuenca del Río Guacalate, (Figura 1), es parte de la cuenca del Río Achiguate, en la Vertiente del Pacífico. El cauce principal inicia en la parte del Altiplano Central, desde la montaña el Soco en la microcuenca del Río Itzapa a 2.688 msnm, y corre en dirección Norte a Sur, recibiendo los aportes de 15 pequeños afluentes microcuencas, caracterizadas por tener drenaje dendrítico con pendientes pronunciadas que van disminuyendo inmediatamente al caer a la zona costera.

Entre los principales accidentes geográficos se encuentran zonas montañosas con regiones planas, formando valles como las ciudades de Antigua y Chimaltenango, montañas como Carmona y El Soco, y faldas de los volcanes de Agua, Fuego y Acatenango, alcanzando una elevación máxima de 3.976 msnm y mínima hasta la cota 500 m donde se de delimitó la cuenca en su parte baja.

La subcuenca se encuentra comprendida entre los meridianos 90° 39' y 90° 54' Longitud Oeste y los paralelos 14° 21' y 14° 39' Latitud Norte. Tiene como límites geográficos: al Norte la cuenca del Río Motagua, al Este la cuenca del Río Maria Linda y al Sur la parte media y baja de la cuenca Achiguate, y al Oeste la cuenca del Río Coyolate. Posee tres accesos principales desde la Cuidad de Guatemala: por la parte alta de la cuenca por la ciudad de Chimaltenago a 54 km, por la ciudad de Antigua Guatemala a 39 km, y por la parte baja por la ciudad de Escuintla, a 60 km de la ciudad de Guatemala.

Tiene como área 583 km², equivalente al 0,7 de la superficie total del País, e integra una población de 312.944 habitantes, distribuidos en 17 municipios, de los cuales doce pertenecen al Departamento de Sacatepéquez, cuatro al Departamento de Chimaltenango, y uno al Departamento de Escuintla.

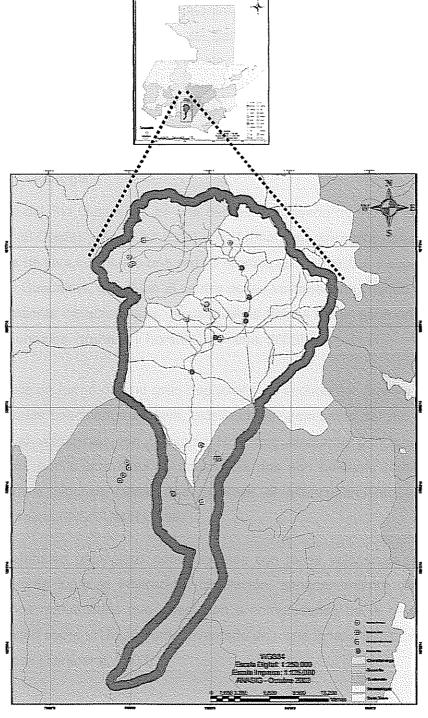


Figura 1. Ubicación geográfica de la subcuenca Río Guacalate, Guatemala.

### 3.1.2. Características biofísicas

### 3.1.2.1. Fisiografía

El área está comprendida en la región fisiográfica de tierras altas, volcánicas. Se caracteriza por presentar un paisaje muy contrastante, con dos conos volcánicos, altiplanicies, valles aluviales y montañas escarpadas, clasificándose en cinco grandes paisajes (montañas volcánicas del centro del país, Valle Teutónico de Chimaltenango, Abanico Aluvial de Antigua Guatemala, Volcan de Fuego y Acatenango, Volcán de Agua) y 32 unidades de paisaje, entre las que destacan para este estudio: Barranco escarpado (vía de drenaje) y Valle aluvial (MAGA, 2001).

### 3.1.2.2. Geología

El Valle del Río Guacalate, es una depresión rodeada de montañas y por los volcanes de Fuego (al Oeste) y Agua (al Este), que forman una garganta natural por donde confluyen coladas de lava, formando una red de drenaje sub-dendrítica y sub-paralela a ambos lados del Río Guacalate, que fluye al centro de los volcanes, originando relieves accidentados y que presenta características geotectónicas típicas de la geomorfología volcánica como, fallas normales, grabens y horsts (Taracena, 2003).

Este valle se formó de una gran deposición de sedimentos fluvio-volcánicos que cubrieron los bloques basculados de lava, existiendo alineamientos del río, como consecuencia de las fallas volcánicas con dirección N-S, que afectaron principalmente a las lavas del Terciario, por lo que algunos cauces de ríos son bastante rectilíneos y alineados con respecto a algunas fallas, que favorece el almacenamiento y circulación de aguas subterráneas (INSIVUMEH, 1981).

Los materiales geológicos constituyentes son rocas volcánicas terciarias y cuaternarias donde tiene lugar la infiltración, circulación, almacenamiento de agua y formación de pequeños manantiales que abastecen a comunidades de la parte alta de la cuenca, y descansan sobre un basamento levantado de rocas ígneas terciarias y rocas carbonatadas cretácicas (Taracena, 2003).

Por último, el grupo de aluviones cuaternarios cuyos materiales yacen principalmente a lo largo de los valles y de la riberas del Río Guacalate, compuestos de sedimentos secundarios de materiales volcánicos y tamaños diferentes desde guijarros, gravas y arena, hasta limo y arcilla, en una matriz arenosa poco consistente ocupando pequeñas áreas a orillas del cauce del Río Guacalate: Los espesores promedio encontrados son de 3 a 20 m, en la parte central del cauce del río (Herrera, 1998; Padilla, 2003).

Se observó la factibilidad del aprovechamiento de los recursos no renovables de tipo geológico detectándose posibilidades de proyectos en: arcillas, arena de río, roca Andresitica, arena volcánica, arena pómez, pero se requiere de estudios para profundizar en este aspecto.

# 3.1.2.3. Hidrogeología

El sistema acuífero es muy extenso, posiblemente limitado por la subcuenca hidrográfica del Río Guacalate, donde presenta diferentes tipos de niveles de agua subterránea, clasificándose como libre hasta surgente en la parte alta, y libre con cierto grado de confinamiento para la parte baja.

La dirección de flujo de agua subterránea, es similar a la dirección de flujo superficial y varían en relación directa con la topografía del lugar, desde zonas de mayor a menor altura, pasando por los valles de Antigua y Alotenango, hasta las faldas de la parte sur de los volcanes, correspondiendo al sistema de fallas del área.

Los niveles estáticos de los acuíferos son variables e inician en la parte de mayor altitud como Valle de Chimaltenango a 1.780 msnm, a 660 msnm sobre la finca Sabana Grande Escuintla, y los rangos debajo de la superficie varían de acuerdo al material geológico, encontrándose agua para aluviones en el Valle de Pastores y Antigua, desde menos de un metro bajo la superficie, hasta 31 metros y en lavas fracturadas y tobas hasta 96 metros de profundidad. En la parte baja de la cuenca los niveles estáticos en abanico Lahárico varían de 8 a 15 m de profundidad para acuíferos superiores y 38 m para acuíferos inferiores (Taracena, 2003; Padilla, 2003).

En los valles de Escuintla, el espesor del acuífero superior oscila entre 10 y 30 metros, descargando en diferentes puntos en forma de manantiales que dan origen a ríos, que a partir de los 800 msnm se convierten en ríos permanentes aún en época seca. Aguas abajo de estos manantiales, y conforme la erosión profundiza los cauces dentro de los Lahares, los ríos incrementan su caudal debido a la existencia de otros manantiales ubicados sobre las orillas cuando se interceptan los diferentes niveles de acuíferos (Padilla 2003).

La explotación del agua subterránea se da por medio de más de 110 pozos inventariados, que oscilan entre 2 y 113 l/s, con un volumen total aproximado de 35 millones de metros cúbicos por año. Entre los usos principales para el agua subterránea están agua potable y en menor grado riego e industria, siendo las municipalidades las que más horas al día bombean (entre 16-24 horas al día) (Mota, 2001; Padilla, 2003).

De acuerdo a los balances hídricos de suelos de la parte alta, se estima una recarga directa anual entre 110 y 113 millones de m³, equivalente a un caudal subterráneo de 1.272 m³/s, extrayendo la explotación actual, y salida natural de flujo subterráneo a través del río se obtiene una recarga neta de 47.528 millones de m³/año (Taracena, 2003).

Según los estudios realizados sobre los volúmenes de agua utilizados, indican que la cantidad utilizada es menor a disponibilidad y la recarga, aun con la alta densidad poblacional, por lo que se considera que existe un gran potencial de uso para el agua subterránea.

### 3.1.2.4. Clima

Según Thornthwaite, el área posee tres tipos de climas: templado con invierno benigno, húmedo e invierno seco – B' 2 b'Bi-, templado, con invierno benigno, sub-húmedo con invierno seco B'2 b'Ci- y semicálido, con invierno benigno, húmedo e invierno seco – B'b'Bi-.

Dentro del área de estudio existen siete estaciones climáticas en funcionamiento: Alameda ICTA, El Recuerdo, Chicasanga, Chipacay, Antigua, Florencia y Sabana Grande.

La temperatura es dependiente de la elevación del sitio con un gradiente de disminución de 6 °C/100 m de elevación. Las temperaturas medias mensuales varían de 10 °C para la parte baja y 26 °C para zona media baja. Sin embargo, en las cumbres de los volcanes de la zona (Agua, Fuego y Acatenango), las temperaturas pueden descender hasta por debajo del punto de congelación (INSUVUMEH, 2000; MAGA, 2001; Taracena, 2003; Padilla, 2003).

### 3.1.2.5. Zonas de Vida

Según la clasificación de Holdridge, en el área de estudio se presenta, tres zonas de vida:

# Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB)

Abarca un área de 343 km², equivalente al 58% de la superficie, se ubica en la cabecera Norte de la cuenca, y faldas de los volcanes Agua, Fuego y Acatenango. La topografía es ondulada y accidentada, pero presenta algunas mesetas que constituyen las mejores áreas para agricultura, donde predominan los cultivos limpios (maíz, frijol, hortalizas, frutales y flores de exportación), expandiéndose aceleradamente a áreas con fuertes pendientes, disminuyendo su área boscosa. La altitud va de 1,400 a 2,400 msnm.

El área en su mayor parte es de vocación forestal, la vegetación natural indicadora son rodales de *Quercus spp.* asociados con *Pinus spp* y en menor escala *Prunus spp*, *Arbutus spp*, *Agnus spp*, *Oreopanax spp*, *Bursera spp Ostria spp*, y *Carpinus spp*. En los bosques comunales la extracción es masiva, para venta y consumo de leña. La parte el área de mayor remanente de vegetación es la parte Noreste en la montaña de Carmona (Flores, 1984).

# Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB)

Se caracteriza por clima frío y topografía de laderas de los volcanes. El área es de vocación estrictamente forestal. La elevación de 1,800 a 3000 msnm, cubre un área de 55.3 km², que constituye un 10% del área total de la subcuenca, ubicada en la parte Noreste y Noroeste de la subcuenca Guacalate, en las faldas de los volcanes.

Las Especies arbóreas dominantes e indicadoras son: Agnus arguta, Chiranthodendron pentadactylon, Urtica sp, Cupressus Iusitanica, Pinus ayacahuite, Pinus hartwegii, Alnus jorullensis.

# Bosque Muy húmedo Subtropical Cálido (bmh-S (c))

Abarca un área aproximada de 184.5 km², equivalente al 32% del área. Se localiza en la parte sur de la subcuenca, subiendo hacia el norte, hasta la garganta natural de los volcanes. Es además donde se ubica la mayor área de cafetales de la subcuenca; la zona va desde plana hasta accidentada y se caracteriza por un incremento fuerte de la precipitación y aumento de la temperatura.

Es la zona de mayor diversidad y composición florística; entre las especies arbóreas dominantes se mencionan: Cecropia peltata, Ficus sp, Semanea saman, Guazuma ulmifolia, Inga laurina, Ochroma lagopus, Terminalia oblonga, Virola guatemalensis, Andira inermes. Dentro de las especies latífoliadas de importancia económica aparecen: cedro (Cedrela odorata), caoba (Swietenia macrophylla), palo blanco (Tabebuia Donell-Smith), conacaste (Enterolobium ciclocarpum), y ceiba (Ceiba pentandra), que en su mayoría han sido eliminadas para su aprovechamiento (Flores, 1984).

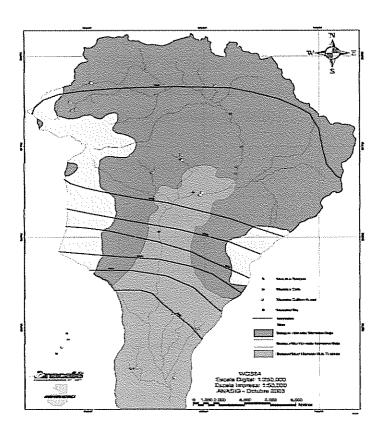


Figura 2. Zonas de vida de la subcuenca Guacalate.

### 3.1.2.6. Suelos

Según clasificación genética de reconocimiento de Simmons, Tarano y Pinto (1.959), la subcuenca presenta 12 series de suelos, siendo los principales Alotenango (41.4%), Cauque (13.3%), Suelos de los Valles (8.7%), Tecpán (7.2%), Yepocapa (7.0%), Guacalate (4.3%), Patzicia (5.9%), Guatemala (3.11%), Cimas Volcánicas (5.03%), Siquínala (2.6%), y Palín (0.22%), caracterizándose por ser suelos jóvenes, textura de franco a arcillosa, de color café oscuro o amarillento, ligeramente ácidos, moderadamente fértiles, y de profundidades variables (Figura No.4).

Según la OEA (1972), los valores de erodabilidad (factor "K") para algunas series de suelos son los siguientes: Alotenango (0,09 a 0,25), equivalentes a (0,012 a 0,03 t.ha.h/ha.MJ.mm); Tecpan franco arcillo-arenoso (0,17); Guatemala franco arcilloso (0,15); Palin franco arenoso rocoso (0,09).

A nivel taxonómico, los suelos son principalmente del orden Inceptisol (90%). Son suelos bien drenados, textura franco arenosa, bajo contenido de materia orgánica, con pérdidas de 80% del horizonte "A", con bajo grado evolutivo, baja capacidad de retención de la humedad, y se ubican en cualquier posición fisiográfica. Los órdenes Entisoles, Alfisoles, Andosoles y Molisoles se presentan en menor escala; el restante porcentaje lo ocupa el área urbana. Los suelos con niveles de erosión superiores a los de tolerancia permisible son Typic Eutrandepts (Summer, 1997; Herrera, 1998).

# 3.1.3. Características Socio-económicas

Dentro de la subcuenca se estima una población de 312.944 habitantes, con una densidad poblacional de 537 habitantes por km², donde la mayor concentración se encuentra en el área urbana (65%) ubicada en las cabeceras municipales de Antigua Guatemala, Sumpango, Alotenango, Chimaltenango y Ciudad Vieja; la población rural (35%) se distribuye en el resto del área (INE, 2002; MAGA, 2001).

La población indígena corresponde al 56% con predominancia de la etnia Kakchiquel, un 61% de la población habla unicamente castellano y el 39% son bilingües Kakchiquel-castellano. El tamaño promedio de las familias en el área urbana y rural es de cuatro y cinco, respectivamente, pero es en el área rural donde existe mayor crecimiento; la distribución de la población económicamente activa (PEA) comprende a la población entre los 15 y 65 años de edad (MAGA, 2001).

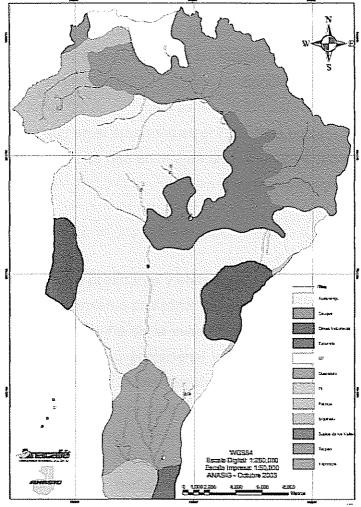


Figura 3. Serie de suelos existentes en la subcuenca del Río Guacatate.

Las principales actividades productivas de la subcuenca son agricultura (maíz, fríjol, hortalizas, café, ornamentales); agropecuaria (aves, porcinos y vacunos); artesanías (joyería, cerámica, madera tallada, dulces típicos, zapatería, textiles, hierro forjado, pintura, etc.) y turismo, actividad creciente en el área que favorece la migración diaria trabajadores de los municipios a cercanos hacia la cuidad de Antigua Guatemala.

En cuento al suministro de agua en el área rural un 54% posee el servicio, mientras que en el área urbana posee un 65%. La falta de letrinización y drenajes, son una importante causa de enfermedades, así como la escasez de agua potable y el uso de aguas contaminadas y escorrentía por lluvia en invierno, el humo en interior de los hogares, el polvo por la erosión eólica y la pérdida de los bosques.

Las principales enfermedades registrada son infecciones respiratorias 29%, neumonía 8%, parasitismo intestinal y diarreas 13%, estos datos muestran la estrecha relación con la pobreza, el deterioro del recurso agua y afloramiento de basureros (MAGA, 2001).

La tenencia de la tierra se da en tres formas: privada, comunal (astilleros municipales, como fuente de madera para leña y construcción) y estatal (áreas protegidas como Volcán de Agua y Acatenango). Prevalecen las condiciones de latifundio y minifundio en expansión y grandes fincas con mejores tierras. Un aspecto importante de comparar es el uso de la leña, ya que en el área rural es el 72% de la población que la utiliza como única fuente de energía mientras que en el área urbana un 28% hace una combinación de leña y gas propano.

## 3.2. METODOLOGÍA

#### 3.2.1. Reconocimiento preliminar y elaboración de mapas

A través de un reconocimiento preliminar se determinó extender el área de estudio inicial, hacia la parte baja y aledaña de la subcuenca Guacalate, debido principalmente a tres factores: a) La alta densidad poblacional y contaminación de las nacientes; b) Escaso escurrimiento superficial, por la alta demanda por agua potable, y baja precipitación; c) No se encontraron puntos de aforo para el agrosistema café y se encontraron unicamente cuatro puntos de muestro para cultivos limpios o anuales.

Durante los recorridos se realizaron progresivamente mapeos visuales de los usos principales de la tierra, auxiliándose con mapas cartográficos, topográficos y de imagen satelital a escala 1:250.000. Se procedió a elaborar el mapa corregido y actualizado de uso actual de la tierra, considerando y agrupando los usos principales en cultivos limpios, bosque, cafetales y poblados, sobre el cual se posesionaron los puntos de muestreo. Demás se elaboraron mapas como: series de suelos según Simons, zonas de vida, isoyetas, red de drenaje, fincas, y beneficios de café y café de origen Genuino Antigua.

#### 3.2.2. Muestreo de las aguas en usos de la tierra

## 3.2.2.1. Tratamientos, repeticiones, frecuencia

Sobre la red de drenaje de los tributarios se seleccionaron áreas homogéneas de los tres principales usos actuales de la tierra: a) Bosque, b) Cultivos anuales c) Café bajo sombra En cada uno de ellos se realizó un recorrido, para encontrar las nacientes o manantiales durante la época de estiaje (época seca), una vez ubicada, se caminó corriente abajo para reconocer las características del cauce y áreas representativas no disturbadas, ubicando el sitio más apropiado para realizar la toma de la muestra de agua y el aforo correspondiente, obteniéndose así las estaciones fijas de aforo y muestreo para las cuatro épocas, identificado el punto de la toma, con un PSG (Posicionador Satelital Global), anotando las posición latitudinal y longitudinal, coordenadas y características de sitio.

Cuadro 2. Esquema de tratamientos, repetición y frecuencia para el muestreo de aguas en los usos de la tierra.

No.	Uso de la tierra o tratamiento	No. Repeticiones	Épocas o Frecuencia	Total
1	Bosque	7	Abr-Jun-Jul-Sep	28
2	Café	7	Abr-Jun-Jul-Sep	28
3	Cultivo anual	6	Abr-Jun-Jul-Sep	24
Total		20	4	80

Cada muestra de agua es la unidad experimental donde se representa un uso de la tierra; y cada uso de la tierra es un tratamiento que se replicó seis o siete veces dentro de los drenes de las microcuencas de la zona de estudio, haciendo un total de 20 muestras por cada época de muestreo (7 para bosques, 7 para cafetales y 6 para cultivos anuales).

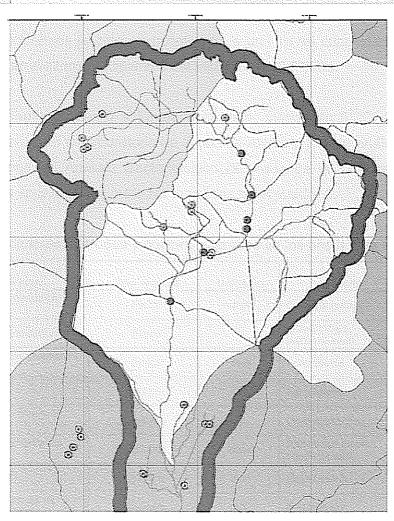


Figura 4. Ubicación de puntos de muestreo por uso de la tierra y vertido de beneficios de café sobre el cauce principal del Río Guacalate.

Los muestreos se realizaron en cuatro épocas o unidades de tiempo, iniciando en abrilmayo para caracterizar el agua en la época de estiaje, el segundo durante el inicio de las primeras lluvias mayo-junio, el tercero una vez establecido el invierno, julio-agosto, y el último durante septiembre que es la época de mayor precipitación y caudal en la subcuenca Guacalate, lográndose realizar 80 muestras para su análisis en laboratorio y 80 aforos para determinar su caudal (40 volumétricos y 40 con molinete).

# 3.2.2.2. Análisis de laboratorio (recolección, parámetros evaluados y metodología)

En cada sitio de muestreo se tomaron dos tipos de muestras simples, de la parte media y central de la lámina de agua en contra de la corriente; Para el análisis físico-químico se recolectó en recipientes limpios de polietileno de un litro de capacidad, y para el análisis microbiológico se utilizaron recipientes esterilizados de 0.5 litros.

Las muestras se trasladaron a temperatura baja, menos de 5 °C. Los análisis físicoquímicos se realizaron en laboratorio de aguas de ANACAFE y los análisis microbiológicos en el Laboratorio de Análisis Bacteriológico de Agua de la Universidad del Valle de Guatemala, de acuerdo a los métodos indicados en el cuadro 3.

Cuadro 3. Indicadores, métodos y equipos utilizados en los análisis de laboratorio.

No.	Indicador	Tipo Análisis	Unidades	Método	Equipo Utilizado
1	Sólidos Sedimentables (S.S.)	Fisico	mi/l	Cono de Imhoft	Conos de Imhoff 1000 mi
2	Sólidos Totales (S.T.)	Físico	%	Gravimétrico, peso/volumen	Balanza analítica
3	Sólidos Totales Disueltos (S.T.D.)	Físico	mg/l	Fotométrico	Conductimetro WTW H
4	Turbidez	Físico	Unf	Fotométrico	Fotómetro Merck SQ 118
5	Potencial de Hidrógeno (pH).	Químico		Potenciométrico	Potenciómetro Orión 720 A
6	Conductividad Eléctrica (C.E.)	Químico	ds/m	Electrodos en un conductímetro	Conductimetro WFF 330
7	Nitratos (NO³)	Químico	ms/l	Espirometria	Espectrofotómetro UV visible
8	Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.)	Químico	mg/l	Fotométrico	Fotómetro Merck SQ 118 y Termoreactor
9	Demanda Bioquímica de Oxigeno (D.B.O. <sub>5</sub> )	Bio-químico	mg/l	Oxidación Materia orgánica	Instrumentos B O.D. Fast
10	Coliformes Totales (Col Tot)	Microbiológico	NMP/100 ml	Colilert Sustrato Definido	Incubadora, Quanti-Tray, Sellador
11	Escherichia Coli (E.coli)	Microbiológico	NMP/100 ml	Colilert Sustrato Definido	Incubadora, Quanti-Tray, Sellador

# 3.2.2.3. Mediciones hidrométricas (aforos de caudales, recolección de muestras)

Para determinar la cantidad de agua superficial que escurría en cada sitio seleccionado se efectuaron mediciones de caudal mediante los métodos de aforo volumétrico y sección-velocidad con molinete.

Para las corrientes pequeñas de caudales (inferiores a 2 l/s), se utilizó el método volumétrico, cuya metodología consistió en la selección del sitio del cauce donde se represo el agua, luego se puso un tubo de plástico PVC a la salida de la mini represa, la cual se impermeabilizó con suelo arcilloso, finalmente se hizo llegar, el caudal del tubo a un depósito impermeable de volumen conocido, cronometrando el tiempo total en que se llena el depósito, obteniéndose Q = volumen/tiempo = l/s.

Para el método Sección-Velocidad (vadeo con molinete), se determinó la calidad de sitio para el aforo identificándose las secciones con las mejores condiciones de rectitud y regularidad en su cauce que facilitaran su aforo. Se Utilizo un molinete o correntometro de hélice y en una hoja especial de campo donde se anotaron los datos para realizar los cálculos de áreas y caudales por aforo.

#### 3.2.2.4. Modelo de análisis

Para el monitoreo de las aguas en los diferentes usos de la tierra (contaminación no puntual), se realizaron los siguientes análisis: matriz de correlación canónica (análisis multivariado) para todas la variables involucradas, analizando los parámetros de calidad mas asociados; análisis de componentes principales (ACP) para observar las relaciones entre variables; análisis factorial diferenciado (AFD) para obtener agrupamientos de los tratamientos, respecto a la tendencia de los parámetros, utilizando el programa Estatistic. Además se realizó un análisis de varianza, con un arreglo experimental con un diseño irrestricto azar en el tiempo, utilizando el siguiente diseño:

Diseño irrestricto al azar en el tiempo.

$$\Upsilon_{ijk} = \mu + S_i + e_{k(i)} + M_i + (SM)_{ij} + e_{k(ii)}$$

Donde:

 $\mu$  = Media poblacional

S<sub>i</sub> = Efecto del i-ésimo sistema de producción

 $e_{k(i)}$  = Error debido al sistema

M<sub>i</sub> = Efecto del j-ésima medición

(SM)<sub>II</sub> = Efecto de la interacción sistema y medición

ek(ji) = Error debido a la medida

Este análisis fue se realizado por medio del programa SAS versión 6.2 para Windows.

#### 3.2.3. Identificación de externalidades hídricas

## 3.2.3.1. Caracterización del beneficiado húmedo sobre el cauce principal

Se realizó un recorrido por la subcuenca para identificar las fincas productoras de café, caracterizándose las que poseían beneficiado húmedo, según tipologia de ANACAFE (comerciales, tecnificados, semitecnificados y tradicionales), describiendo la forma del uso y manejo los desechos del beneficiado.

Se realizó un recorrido por el cauce principal y sus drenes, para determinar el número de beneficios que estuvieran sobre los cauces del río; de ellos se seleccionaron cinco beneficios que utilizan beneficiado húmedo de café para realizar mediciones de la calidad del agua con el respectivo caudal del río, estableciéndose cinco estaciones puntuales de medición sobre el cauce principal, en un trayecto de 16 kilómetros sobre el río, iniciando desde aguas arriba hacia aguas abajo del mismo.

Las mediciones fueron realizadas durante cuatro épocas de muestreo. La primera se realizó a inicios de marzo cuando aún se realiza el proceso de beneficiado y los caudales son mínimos (estiaje). Para ello se tomaron dos muestras simples, una antes y una después del vertido de los subproductos de café.

Los siguientes muestreos se realizaron en las siguientes épocas: al inicio de la estación lluviosa, establecido el invierno y en la época con mayor caudal. Los procedimientos meteorológicos fueron similares a los utilizados para los muestreos de calidad de apoyo según los usos de la tierra antes descritos. A los resultados se aplicó análisis estadístico descriptivo y prueba de "T" para muestras pareadas (antes y después de los beneficios) para los parámetros de calidad y caudal, análisis del comportamiento gráfico y además, la comparación con valores guías de normas de calidad para agua potable, riego y aguas residuales.

## 3.2.3.2. Red de drenaje y aprovechamiento de arena de río

Se observó que algunas fincas contiguas al cauce principal, utilizan desde hace mucho tiempo, el agua del río para regar por inundación sus cultivos, principalmente el cultivo de café, por lo que se procedió a contabilizar las fincas que lo utilizan y los efectos de su utilización. Además se observó la presencia de personas que extraían arena del río a largo del cauce y sus afluentes, por lo que se realizaron dos monitoreos uno en la época de

seca y otro en la lluviosa, para contabilizar el número de personas extractoras, volúmenes extraídos y precio de venta.

## 3.2.3.3. Deforestación en nacientes, biodiversidad caudal ecológico

Durante el recorrido inicial a lo largo y ancho de toda la cuenca se pudo observar la gran demanda de los bosques y bosquetes apara la obtención de leña, principalmente en la cabecera de la cuenca, por lo que se contabilizó, la cantidad de leña extraída por día, en el bosque comunal de San Andrés Itzapa, estimándose de la intensidad de extracción. Además observó la importancia de las nacientes para la supervivencia de especies de flora y fauna por lo que se realizaron observaciones, sobre especies nativas, su relación con su uso de la tierra y la forma de su tenencia.

## 3.2.4. Caracterización del agro-sistema café

Se realizaron entrevistas a caficultores que se encontraron próximos a estos sitios de muestreo de aguas, para realizar la caracterización de producción, sombra y la identificación de especies (Cuadro 4.)

Cuadro 4. Métodos y herramientas utilizados para la caracterización del agrosistema café.

Fases metodológicas	Métodos y herramientas de investigación y análisis aplicados caracterización agro-sistema			
Caracterización de la	Área de cafetales, variedades, densidad de plantas por			
producción de café	hectárea, rendimientos, manejos, utilización de plaguicida,			
	fertilizantes, dosis, manejo de sombra.			
Caracterización de la	Densidad de árboles, cobertura de sombra, diversidad de			
sombra	especies,			
Identificación de especies	A través de manuales de identificación en el campo,			
para sombra	riqueza, colecta botánica e identificación en laboratorio			

## 4. RESULTADOS Y DISCUCIÓN

## 4.1. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA

## 4.1.1. Características pluviométricas de la subcuenca Guacalate

La precipitación pluvial es el componente principal del ciclo hidrológico. Su distribución en el tiempo y espacio en la subcuenca del Río Guacalate es variable e influenciada en gran medida por la altitud, dejando una área de sombra de lluvia debajo de la cadena volcánica (Agua, Fuego y Acatenango), disminuyendo la precipitación en dirección ascendente hacia el Norte.

La cuenca hidrográfica del Río Guacalate, no coincide con la cuenca hidrogeológica, siendo esta última mayor y caracterizándose por ser cerrada. Las entradas de agua al acuífero son a través de la precipitación que infiltra y la precolación de agua de los ríos y salidas a través del flujo base del río y la extracción de pozos. Según la curva de duración de caudales de la estación San Luis Las Carretas, el porcentaje de escorrentía superficial es de 15,74%, y 84,26% del flujo base (Mota, 2001).

El régimen de caudales sigue de cerca al régimen de lluvias, desde 0,76 m³/s en la parte alta a 1.32 m³/s en la parte media y 2.1 m³/s para la parte baja; la época de estiaje en promedio se extiende desde noviembre hasta abril. En mayo los caudales comienzan a incrementarse con las primeras lluvias y alcanzan el primer pico de caudales máximos en junio, julio y septiembre; después los caudales disminuyen debido al descenso de las lluvias, pero luego se incrementan alcanzando el pico mayor en septiembre, que coincide con las el segundo pico de las lluvias. Esto se debe a que las primeras lluvias son absorbida por el suelo seco y la cobertura, perdiéndose por evapotranspiración e infiltración, mientras que el segundo pico de lluvias ocurre cuando el suelo tiene un mayor contenido de humedad, lo que facilita el escurrimiento de la lluvia.

La distribución de las lluvias durante el año, caracterizada por una época seca que va desde noviembre hasta abril, y la época lluviosa que inicia normalmente en mayo y finaliza en octubre, presentándose dos picos de lluvia máxima, uno en mayo (debido al desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical) y el otro en septiembre (debido a la ocurrencia de sistemas de baja presión, tormentas y huracanes tropicales).

Este último da la máxima precipitación durante el año y se debe al efecto orográfico sobre las masas de aire húmedo que transportan los vientos alisios provenientes del sureste, forzándolas a ascender sobre los macizos montañosos volcánicos. Estos, macizos protegen partes de la cuenca del tránsito directo de los vientos, creando una zona de "sombra de lluvia" caracterizada por precipitación descendente (Chow, et al., 1999; López, 1988). Es por ello que en la subcuenca Guacalate existe un gradiente de aumento de precipitación hacia el área sur y parte baja de la cuenca, con precipitaciones desde 903 mm de promedio anual en la parte de Chicasanga (2.328 msnm), a 3.112 mm en Sabana Grande (570 msnm).

Como cita Cuadrat (1997), el aumento de la precipitación con la altitud es una constante de todas las montañas y se presenta un gradiente de Iluvia/altura en forma irregular y menor que el gradiente térmico, pero la precipitación se incrementa hasta un "óptimo pluviométrico", donde la pluviosidad es máxima, y luego disminuye a medida que se asciende hacia las cumbres; esta altitud varía según la exposición a los vientos húmedos y la época del año. Sin embargo las mayores variaciones se dan en función de la latitud, mostrando que a nivel de latitudes intertropicales el óptimo pluviométrico se situa en un nivel relativamente poco elevado, entre 1.000 y 1.200 msnm para Guatemala y Colombia, respectivamente; Barry y Chorley, citados por Cuadrat (1997) mencionan que para latitudes de 14º a 15º, en las tierras altas de Guatemala, las mayores precipitaciones (arriba de 3.000 mm) ocurren en altitudes de 700 a 1.400 msnm (Cuadrat y Pita, 1997).

Para el presente estudio hubo dificultad en encontrar nacientes no disturbadas para los tres usos de la tierra estudiados en la parte alta y media de la cuenca principalmente, en el cultivo de café que se encuentra en los valles aluviales. La mayor abundancia de estas nacientes se encontró en las cotas de 700 a 1,100 msnm. coincidiendo en que en estas áreas poseen mayores regímenes de pluviosidad anual y mayor número de nacientes.

La mayor área de producción de café en Centro América ocurre en la Vertiente Pacifica y específicamente para Guatemala en tierras altas en la latitudes 14-15 grados, coincidiendo con los óptimos pluviométricos reportados con zonas de mayor precipitación y nacientes observadas durante el presente estudio.

Por otra parte, se sabe que debido a la crisis de la caficultura, el área del cultivo de café está cambiando a otros usos, principalmente cultivos limpios y urbanizaciones, poniendo en riesgo las fuentes y los manantiales que estos agrosistemas poseen. La perdida de la cobertura vegetal, en laderas con altos regimenes pluviométricos y suelos con capacidad erosiva, podrían aumentar sus níveles de escorrentía y arrastre de sedimentos, repercutiendo en los costos de extracción y tratamiento de agua de los diferentes usuarios aguas abajo. Por lo tanto se debe proponer y buscar iniciativas que favorezcan la conservación y manejo de dichas fuentes y zonas de recarga.

Afortunadamente esto esta ocurriendo con una propuesta conjunta del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA, 2001), el Ministerio de Energía y Minas, el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), formulada con el apoyo técnico del CATIE, donde han aprobado el Proyecto de Incentivos Ambientales para la implantación de sistemas agroforestales como el cultivo de café bajo sombra, para evitar la erosión en áreas críticas de dos cuencas de la Vertiente Pacifica, generadoras de energía eléctrica, mejorando así la calidad y cantidad de agua y para disminuir los costos de operación y mantenimiento de las hidroeléctricas.

(http://webbeta.catie.ac.cr/bancoconocimiento/G/GuatemalaProyectoIncentivos/)

## 4.1.2. Deforestación en nacientes biodiversidad y caudal ecológico

Las mayores áreas cubiertas de bosque están principalmente en la parte noreste,la Montana Carmona, finca la Chacra, y el Cinturón Verde La Antigua, que es la zona de protección de la ciudad de Antigua. Además se encuentra cobertura boscosa en las faldas del volcán de Agua y Fuego. No obstante, en la parte norte de la Montaña el Socco, que es donde inicia la subcuenca y nace el Río la Virgen, el grado de deterioro es alarmante. Por ser un bosque comunal de la municipalidad de San Andrés Iztapa, la población tiene acceso a la extracción de leña sin regulación alguna, y la mayor parte se hace para el comercio.

Por la topografía de esta zona, los sitios y caminos de extracción más favorables son las corrientes de los riachuelos y nacientes, irradiándose hacia las partes altas. Además, éstos se vuelven caminos de animales de pastoreo dentro del sotobosque, lo que contribuye a aumentar los índices de contaminación bacteriológica y reducción del caudal ecológico,

donde las especies por su afán de búsqueda de agua en épocas críticas de estiaje son presa fácil de la depredación humana.

Efecto contrario se observa dentro la propiedad privada, donde las extracciones de leña son reguladas y no se realizan dentro de nacientes o corrientes de agua, permaneciendo las nacientes y caudales más estables, sin tránsito de personas y con ello, las especies silvestres son menos depredadas.

En los agrosistemas de café con una extensión representativa, con barrancos y quebradas pronunciadas por donde fluyen las nacientes y en los cuales el acceso es dificultoso, se observó una gran diversidad de especies forestales de alto valor económico (Cedro, caoba, palo blanco y volador), de aves (anidación de pericos y loros, palomas silvestres, grupos de pavas, chachas y codornices y diversidad de rapaces); de mamíferos como ardillas, venados, coches de monte, mapaches, armados y tepezcuintles, de reptiles como culebras y iguanas, la mayoría de ellas dependientes de las escasas nacientes (ver cuadro No. 5)

Por lo que se evidencia la necesidad de mantener el caudal ecológico, tanto en su calidad como en calidad para satisfacer la demanda de las numerosas especies, considerando mantener los flujos de los caudales y así evitar cambios en las poblaciones de especies de flora y fauna.

## 4.1.3. Erosión hídrica

Los suelos volcánicos poseen alta susceptibilidad a la erosión y transporte de sedimentos. En estas unidades de paisaje predominan pendientes mayores al 16%, los niveles de erosión van de medio a severo, con porcentaje agrupado del 85.1%, prevaleciendo el tipo de erosión media con 36.4% (laminar en surcos) y alta con 28.1% (surcos-cárcavas).

Evaluaciones para cultivos limpios en la parte Noreste de la microcuenca (Río Pensativo) muestran que las lluvias mayores de 5 mm provocan escurrimiento y el arrastre de sedimentos ocurre cuando la precipitación es mayor de 20 mm, con una intensidad media mayor de 15 mm/hora. De estos sedimentos es arena la que más se pierde en todos los tratamientos, debido a su alta disponibilidad y desplazamiento en cortos periodos de lluvia.

Cuadro 5. Especies de fauna observadas durante recorridos, sobre nacientes de la subcuenca Río Guacalate.

Nombre Científico	Nombre Común	Sistema
Mamíferos		
Dasypus novemcinpus	Armadillo	Bosque-Café
Scirius sp.	Ardilla	Bosque-café
Artibeus sp.	Murciélago	Bosque-Café
Mazama americana	Venado	Café
Odocoileus virginianus	Venado Cola Blanca	Café
Canis latrans	Coyote	Bosque
	Coche monte	Café
Agouti paca	Tepezcuintle	Bosque-Café
Aves		-
Cisslopha sp.	Shara	Bosque-Café
Centurus aurifros	Cheje común	Bosque-Café
Cytrnus ocellatus	Codorniz de los Altos	Café
Aratinga sp.	Perica	Café
Celeus luteo	Pájaro Carpintero	Bosque-Café
Columba fasiata	Paloma Silvestre	Café
Penelopina nigra	Cayaya	Bosque
Elamus leucurus	Gavilán Cola Blanca	Café
Chloroceryle americana	Martín Pescador Chico	Bosque-Café
Myadectes Obscurus	Guardabarranco pardo	Bosque
Turdus grayi	Cenzontle Común	Anuales
Spinus sp.	Jilguero	Bosque
Cyrtonix ocllatus	Codorniz ocelada	Café
Reptiles		***************************************
Boa constrictor	Mazacuata	Bosque-Café
Micurus sp.	Coralillo	Anual-Caña
Clelia clelia	Zumbadora	Café

López, (1990), reporta que durante solamente el 10% de los eventos de lluvia provocaron arrastre del suelo, registrándose una pérdida total de 3.1 t/ha, con un volumen de escorrentía de 18 m³/ha en el cultivo de fríjol con manejo tradicional, sin embargo implementando prácticas de conservación como acequias con barreras vivas, se reducen las perdidas a 65% (1.1 t/ha), y los volúmenes de escorrentía también se reducen a 8.9 m³/ha

Arana (1992) utilizando el modelo USLE y SIG menciona que sobreestimó las pérdidas de suelo en 43.7 t/ha, en cinco diferentes rangos de erosión (0 a > 11 t/ha). En este último rango ocupó un área relativamente pequeña, pero aporta gran cantidad de

sedimentos, siendo Typic Eutrandeps con profundidades de 0.90 y 0.51 metros, el suelo más erosionado.

Las áreas con suelos superficiales, de mayor pendiente, sin cobertura y totalmente expuestas, son las que aportan la mayor cantidad de sedimento. Las prácticas de conservación de suelos en parcelas de escorrentía muestran un efecto benéfico sobre el control de la erosión y si se implementarán, se reduciría el sedimento en un 9%, equivalente a 11,331 t/ha/año.

Los valores de K según suelo y uso de la tierra presentan promedios menores para bosques (0,0215 t.ha.h/ha.MJ.mm.) y mayores para cultivos (0,0289 t.ha.h/ha.MJ.mm).

## 4.1.4. Geología económica y trasporte de sedimentos

Arana (1992), menciona que los problemas de inundaciones y sedimentación en la parte baja de la ciudad de Antigua Guatemala sobre el Río Pensativo, causa daños y genera costos de mantenimiento, al tener que extraer anualmente 9.000 m³ de sedimentos en una distancia de dragado de 1.600 metros, con costo aproximado de \$ 21.000 anuales (en 1992), por lo que plantea un pago de subsidios para la implementación de prácticas de conservación mediante barreras vivas cubriendo el equivalente del 75% de los costos por extracción durante un año.

Las proyecciones de transporte de sedimentos sobre el Río Guacalate se estimó en 1977 toneladas anuales, a nivel de la estación de aforo en la población de Pastores y de 7.414 en la estación de Alotenango, con rangos de 392 a 1916 toneladas en abril y septiembre, respectivamente (MAGA, 2001).

Se observó que una de las actividades de importancia económica es la extracción de la arena de río extraída del cauce principal y sus afluentes, por lo que se realizaron dos monitoreos: uno en la época seca (abril) y el otro en la época de mayor caudal (septiembre). Se contabilizaron 35 personas extrayendo arena durante el verano, con un promedio de 1,5 m³ por hombre/día, equivalente a 52,5 m³ de arena diarios; mientras que durante el mes de septiembre el número de extractores de arena ascendió a 93 personas, con un promedio de extracción de 3,5 m³, hombre/día, correspondiendo a 325,5 m³ de arena de río al día. El precio varia durante las dos épocas; durante el

período seco verano puede llegar hasta US \$ 15,00 el metro cúbico y en septiembre el precio promedio es de US \$ 3,13.

Analizando la curva de caudales y asociada con los sólidos sedimentables (SS), se observa un crecimiento de sólidos de junio a septiembre, por lo que las proyecciones de 3.5 m³/día se realizaron durante cuatro meses, obteniéndose un total de 39.711 m³ para la época de mayores caudales y 12.705 m³ para los siete meses de menor caudal y sedimentos, con un total de 52.416 m³/año de arena como sedimento para el cauce principal del Guacalate. Si a estos volúmenes se le agregan los reportados por Arana (1992), de 9.000 m³, se obtiene un total de 61.416 m³ de arena en toda la subcuenca, multiplicados por un precio promedio de Q 40.00, obtenemos un valor de Q 2.456.640 anuales en toda la cuenca, equivalente a \$ 307.080 anuales.

La zona de mayor extracción corresponde las zonas con mayor ancho sobre el río que corresponde a mayores caudales que ocurren en el cauce principal. Otro aspecto lo constituye la propiedad de la tierra, ya que la mayor extracción ocurre en zonas de urbanización contiguas al río. El mayor número de extractores se contabilizó en el trayecto de la población de Pastores y Jocotenango.

Estas cantidades de arena extraída están satisfaciendo al sector de la construcción ya que existe aumento de urbanización, debido al desplazamiento de pobladores que llegan en busca de oportunidades de crecimiento económico en la ciudad de la Antigua Guatemala, habilitando, removiendo, y desplazando tierras marginales para la producción agrícola.

Los agroecosistemas de café no escapan a este desplazamiento, ya que son las áreas con mayor potencial de urbanización, principalmente por factores de colindancia con los poblados, pendiente, extensión y tenencia de la tierra principalmente grandes propietarios. Por otra parte pequeños caficultores que poseen tierras a orillas del cause del río, se han iniciado a la actividad de extracción de arena, debido a la crisis reciente provocada por la caída internacional de los precios del café.

## 4.1.5. Crecimiento poblacional y utilización de leña para cocinar

La información demográfica del área de la subcuenca se calculó con base en el Censo de Población realizado por el INE (2002), en la cual se estima una población de 312.944 habitantes, donde el 51% son mujeres y 49% son hombres (cuadro 6.).

Entre los municipios más poblados se encuentran las cabeceras departamentales de Chimaltenango (23.7%), y Antigua Guatemala (13.1%), seguidos por los municipios de Sumpango (9%) y Ciudad Vieja (8.21%).

Cuadro 6. Distribución de la población de la cuenca del año 2002.

	Población de la Cuenca								
		Hombres	Mujeres						
No	Municipio	49%	% 51	Total	%				
1	Antigua Guatemala	19.938	21.159	41.097	13,13				
2	Jocotenango	8.891	9.671	18.562	5,93				
3	Pastores	5.870	5.812	11.682	3,73				
4	Sumpango	13.946	14.053	27.999	8,95				
5	Santa Lucia Milpas Altas	5.028	5.098	10.126	3,24				
6	Magdalena Milpas Altas	4.182	4.149	8.331	2,66				
7	Santa María de Jesús	7.330	7.130	14.460	4,62				
8	Ciudad Vieja	12,647	13.049	25.696	8,21				
9	San Migel Dueñas	4.365	4.601	8.966	2,87				
10	Alotenango	8.007	7.841	15.848	5,06				
11	San Antonio Aguas Calientes	4.182	4.450	8.632	2,76				
12	Santa Catarina Barahona	1.445	1.512	2.957	0,94				
13	Chimaltenango	36.652	37.425	74.077	23,67				
14	San Andrés Itzapa	10.274	10.877	21.151	6,76				
15	Parramos	4.752	4.785	9.537	3,05				
16	El Tejar	6.760	7.063	13.823	4,42				
	Total de población	154.269	158.675	312.944	100,00				

Fuente: INE, Censo de población de 2002

De acuerdo al censo poblacional realizado en 1994 para los mismos municipios de la subcuenca se tenía una población de 170.380 habitantes, obteniéndose un incremento de 15,840 habitantes por año, equivalente al 5.1% de tasa de crecimiento anual; estos valores reflejan, que la población es una de las poblaciones de mayor crecimiento en Guatemala, siendo la densidad poblacional de 537 habitantes por km². Por otra parte, el manejo de los recursos naturales y los servicios públicos como agua, extracción de basura y drenajes, decrecen cada día, manifestándose en pérdida de la cobertura boscosa, fertilidad del suelo, aumento de la erosión, incremento del urbana, contaminación hídrica, etc.

Cuadro 7. Utilización de materiales de combustible para cocinaren la subcuenca Guacalate

Combustible de cocina									
		Total	Gas				Elec-		
No.	Municipio	Hogares	Propano	%	Leña	%	tricidad	%	
	Antigua								
1	Guatemala	8.732	6.102	70	2.153	25	359	4	
2	Jocotenango	3.929	3.284	84	490	13	85	2	
3	Pastores	2.402	941	39	1.379	58	25	1	
4	Sumpango	5.238	1.976	38	3.079	59	99	2	
	Santa Lucia								
5	Milpas Altas	2.121	1.507	72	503	24	75	4	
	Magdalena							<del></del>	
6	Milpas Altas	1.569	676	43	839	54	17	4	
	Santa María de								
7	Jesus	2.514	881	35	1.562	62	31	1	
8	Ciudad Vieja	5.041	2.458	49	2.402	48	116	2	
	San Miguel								
9	Dueñas	1.849	733	40	1.010	55	51	3	
10	Alotenango	3.124	520	17	2.448	79	67	2	
	Sn. Antonio								
11	Aguas Calientes	1.774	797	45	878	50	53	3	
	Santa Catarina								
12	Barahona	632	264	42	346	55	16	3	
13	Chimaltenango	14.367	8.326	58	5.564	39	226	2	
	San Andrés								
14	Itzapa	4.105	1.388	34	2.547	62	104	3	
15	Parramos	1.863	742	40	1.060	57	25	1	
16	El Tejar	2.755	1.889	69	732	27	65	2	
	Total de			.,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,					
	hogares	62.015	32.484	53	26.992	44	1.414	297	

Fuente: INE, censo de población de 2002

Existe una alta relación de dependencia del recurso leña como combustible para cocinar los alimentos en los municipios cercanos a astilleros municipales o bosques comunales como San Andrés Itzapa, donde el 62% de sus pobladores utilizan la leña para cocinar, realizando extracciones insostenibles, estimándose un promedio diario de extracción de 20 árboles maduros (con diámetros DAP de 30 cm) con 40 animales de carga y 30 extractores que se dedican al negocio de la leña y unicamente un 34% de la población utiliza el gas propano como combustible. (Cuadro 7.).

El municipio con mayor porcentaje (79%) de utilización de leña como fuente de energía para cocinar es Alotenango, una de las razones es que se encuentra rodeado de áreas con café de sombra, donde su manejo a través de las podas, hace disponible el recurso.

# 4.2. ANÁLISIS DE LAS AGUAS EN LOS DIFERENTES USOS DE LA TIERRA

# 4.2.1. La cobertura y uso actual de la tierra

La agricultura y los centros urbanos del área de la cuenca se encuentra en proceso de expansión como consecuencia del incremento poblacional, inicialmente el área estuvo cubierta por bosques de coníferas y latifoliadas, y las poblaciones cercanas fueron demandando madera comercial del bosque, principalmente coníferas de pino y ciprés para parte alta, cedro y caoba en la parte baja; Posteriormente algunas áreas fueron habilitadas para realizar agricultura de granos básicos y cultivos anuales como maíz, fríjol, hortalizas. La ganadería y cana de azúcar en las zonas bajas han incrementado sus áreas, y los sistemas agroforestales de café inician a decrecer.

El área de bosques ocupa un 21%, cultivos anuales como caña, pastos, maíz, fríjol, hortalizas 52%, cafetales 13%, asentamientos humanos 12%, otros usos como invernaderos, áreas de recreación 2%. Figura 5. En la cobertura boscosa se encuentran los astilleros municipales y las áreas protegidas (Volcan de Agua y Acatenango), las cuales poseen las mayores extensiones de bosque.

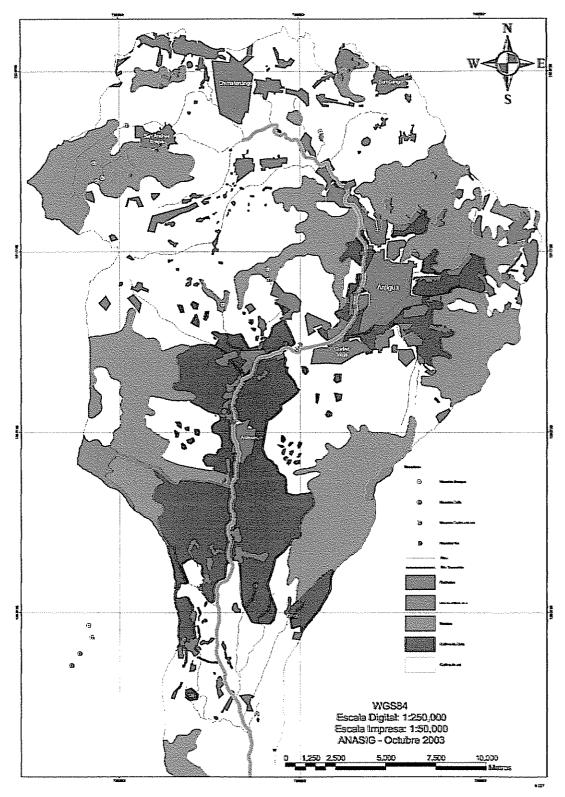


Figura 5. Uso actual de la tierra en la subcuenca Guacalate, Guatemala

#### 4.2.2. Análisis de varianza

A continuación se presentan los análisis de varianza de los indicadores de calidad de agua en los tres usos de la tierra y las cuatro épocas de muestreo que presentaron diferencias estadísticas significativas al 0.05 de probabilidad realizando prueba multiple de Duncan's.

De manera general se observan diferencias estadísticas significativas en cuanto a la época de muestreo para los indicadores Caudal, DQO, DBO, Turbidez y Coliformes totales; y los indicadores que presentan diferencia estadística significativa para los usos de la tierra son Caudal, Coliformes Totales, Nitratos, PH, STD o C.E.

#### 4.2.2.1. Variable cantidad de agua

Los caudales se comportan siguiendo el régimen de lluvias dentro de la subcuenca de estudio, se puede observar en la Figura 6 que la época de estiaje corresponde a abril (10.5 m/s) incrementándose con las primeras lluvias de mayo-junio (14.8 l/s) alcanzando durante septiembre (29.1 l/s), el pico de caudal de crecida máxima para los tres usos de la tierra estudiados; donde se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas respecto meses anteriores de muestreo.

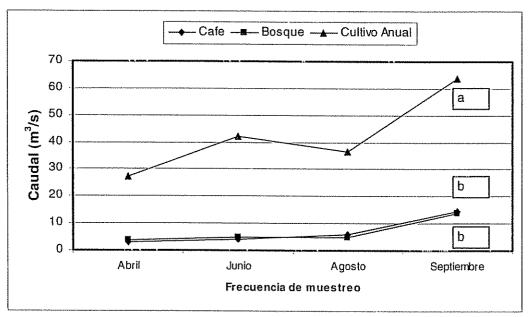


Figura 6. Comportamiento de caudal según tratamiento y época

Además, hubo diferencias estadísticamente significativas entre caudales para los usos de la tierra; los cultivos anuales mostraron mayores caudales que los bosques y el cultivo de café. (Cuadro 6.) Esto es debido a que las nacientes muestreadas afloran en los bosques y café, luego se desplazan hacia los cultivos anuales recibiendo afluentes, con ello, aumentan su caudal durante el recorrido

#### 4.2.2.2. Variable pH

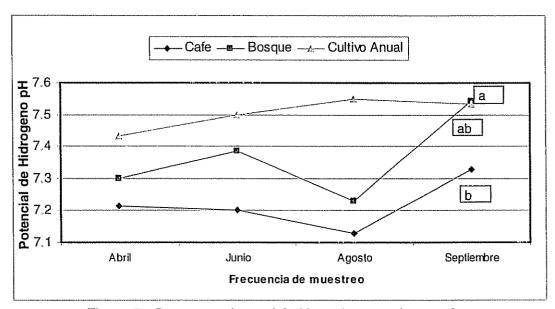


Figura 7. Comportamiento del pH según tratamiento y época

Los resultados de la Figura 9. muestran valores de uso de la tierra ligeramente alcalinos (7.15-7.55) y difieren entre los bosques y cultivos anuales contra el café, los valores de pH para cafetales son menores con significancía estadística, además se observa una leve tendencia incremental del pH, conforme aumentan los caudales, debido al incremento de sales en solución, los valores de pH se encuentran dentro los parámetros establecidos para consumo humano, 6.5-9.2, y no se encontraron diferencias significativas estadísticas para las épocas de muestreo.

#### 4.2.2.3. Variable Nitratos

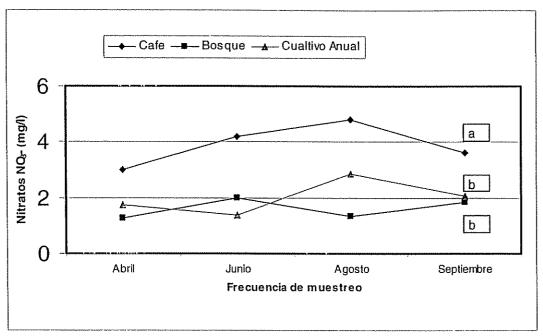


Figura 8. Comportamiento de nitratos según tratamiento y época

En muestreos de agua subterráneas realizadas en la subcuenca durante los años 1990 y 1991, se encontraron valores extremos desde 0 a 160 mg/l de nitratos, con promedios entre rangos de 0.06 a 7.48 mg/l; durante febrero de 2002, se monitorearon los nitratos a nivel del sistema acuífero a través de pozos concentraciones a nivel de campo entre 1.7 a 51.1 mg/l medidos en pozos, coincidiendo con los rangos bajos para la presente investigación. Ya la significancia encontrada para el cultivo de café, respecto a los otros usos hace suponer cierto efecto residual de las fertilizaciones de años anteriores, ya que las áreas muestreas en cafetales poseen como mínimo 15 años con el mismo uso, a pesar que en estas áreas no se fertilizó para la presente cosecha.

Otra posible causa sea probablemente debido a que el ion nitrato procede de procesos de nitrificación naturales (bacterias nitrificantes), por ejemplo en raíces de leguminosas, y descomposición de la materia orgánica; además la mayoría de muestras extraídas de bosques provienen de la parte Norte y alta de los acuíferos, teniéndose una tendencia del descenso de los valores cuando se incrementa el caudal y las lluvias por lo que se observa un incremento de los nitratos a medida que los caudales y estación lluviosa

aumentan; No se encuentran diferencias estadísticas significativas respecto a la época de muestreo.

Sin embargo los valores para nitratos en el presente estudio se encuentran por debajo de los valores permisibles para la comisión de normas Guatemaltecas (COGUANOR) 29001, los cuales oscilan entre 10 y 45 mg/l de nitratos (NO3), siendo aptos los niveles para consumo humano.

#### 4.2.2.4. Conductividad Eléctrica

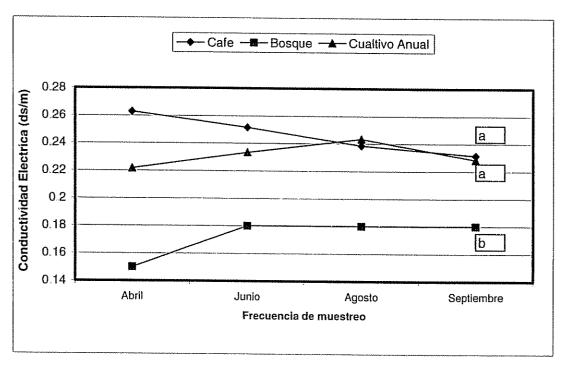


Figura 9. Comportamiento de conductividad eléctrica según tratamiento y época

Las diferencias encontradas entre bosques y cultivos agrícolas indican que la utilización de insumos agrícolas, tales como fertilizantes, da como resultado aumento en la concentración de sales, que es lo que mide el análisis de C.E. y además a que la mayoría de muestras tomadas de bosque, se tomaron de la parte norte y alta de los acuíferos, teniéndose una tendencia del descenso de los valores cuando se incrementa el caudal y las lluvias, debido al efecto de dilución de las sales en volúmenes mayores de agua.

Los muestreos realizados a nivel de los acuíferos en la cuenca presentan rangos entre 0,139 y 0,967 ds/m, y los promedios oscilan entre 0,150 y 0,350 ds/m encontrándose valores mas altos en la parte Sur de la cuenca donde se encuentra aguas superficiales del Aluvión, y los valores de conductividad más bajos 0,139 y 0,145 ds/m se presentaron del sistema acuífero de Thepha y lavas terciarias. La norma guatemalteca establece rangos entre 0,05 y 1,5 ds/m a 25 °C. (Taracena, 2003), por lo que los muestreos a todos los usos de la tierra se encuentran dentro los rangos permitidos para el consumo de agua potable.

#### 4.2.2.5. Coliformes totales

En un muestreo preliminar de 20 muestras que se realizó en la cuenca durante febrero de 2002, se encontró que un 85% de manantiales eran no potables, y 30% de pozos eran no potables, los parámetros establecidos por la norma guatemalteca COGUANOR, indican rangos < de 2 unidades formadoras de coniformes (NPM/100 cc).

La Figura 12. Muestra significancia del bosque sobre los cultivos anuales y el café, probablemente porque en el bosque los impactos sobre el uso de la tierra y la actividad antropica son menores, auque los valores son altos y no cumple con la normativa vigente para consumo humano.

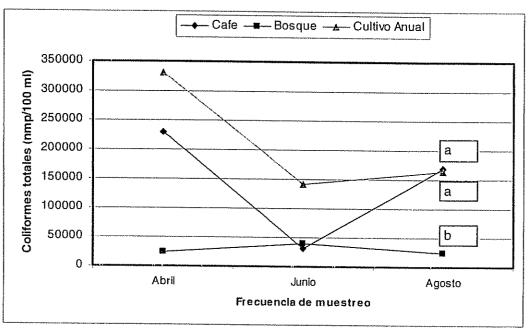


Figura 10. Comportamiento de Coliformes según tratamiento y época

#### 4.2.3. Matriz de correlación

Los resultados de la matriz de correlación muestran que los parámetros DQO (Demanda Química de Oxígeno), SS (Sólidos Sediméntales) y Turbidez (TU) poseen valores similares y son moderadamente correlacionados (con r = 0.75 o  $R^2 = 0.56$ ), por lo que si se tuviese que elegir una sola medida, de calidad del agua se utilizarían los Sólidos Sediméntales por el método de tubos de Imhoft por ser práctico y económico.

Además las parámetros de calidad STD (Sólidos totales Disueltos) y Conductividad Eléctrica (CE), están correlacionadas al 99%, r = 0.99, la observación de solo una de estas dos variables es suficiente, esto es debido a que para su medición se utiliza la misma muestra y mismo equipo. (Ver cuadro 3.)

Cuadro 8. Matriz de correlación de variables físico – químicas.

	pН	¹ S.S.	² D.Q.O.	<sup>3</sup> D.B.O. <sub>5</sub>	⁴S.T.D.	<sup>5</sup> S.T.	<sup>6</sup> C.E.	Turbidez	Nitratos	Caudal
рН	1.00							***************************************		***************************************
¹ S.S.	0.13	1.00								
<sup>2</sup> D.Q.O.	0.03	<u>0.75</u>	1.00							
<sup>3</sup> D.B.O. <sub>5</sub>	- 0.10	0 05	0.13	1.00						
<sup>4</sup> S.T.D.	0.20	-0.19	0.01	0 05	1 00					
<sup>5</sup> S.T.	0.22	0.45	0.56	0.35	0.24	1.00				
<sup>6</sup> C.E.	- 0.18	-0 20	0.02	0.01	<u>0.99</u>	0.24	1.00			
Turbidez	0.00	<u>0.75</u>	<u>0.75</u>	0 16	-0 13	0.40	-0.12	1.00		
Nitratos	- 0 09	0.11	-0.02	-0 07	0 00	0.10	0.01	0 04	1 00	
Caudal	0.13	0.22	0.38	0.01	-0.04	0.18	-0.03	0.41	-0.11	1.00

pH : Potencial de Hídrógeno , S.S.:Sólidos sedimentables, D Q.O.: Demanda química de oxígeno D.B.O.: Demanda

bioquímica de oxígeno, S.T.D.: Sólidos totales disueltos, S.T.: Sólidos totales, C.E.: Conductividad eléctrica

#### 4.2.4. Análisis de Componentes Principales (ACP)

Este análisis no da importancia a la pertenencia de algún grupo de uso de la tierra; presenta las variables que mejor describen las muestras tomadas, independientemente de su relación con algún grupo, mientras más se proyectan al exterior su correlación aumenta y tienen más peso.

Se observa que las variables que mejor describen los diferentes sitios de observación en orden de importancia son las variables físico – químicas, específicamente para el factor 1: DQO (0.8970), SS (0.877) y turbidez (0.864) y para el factor 2, STD (0.966) y CE (0.959).

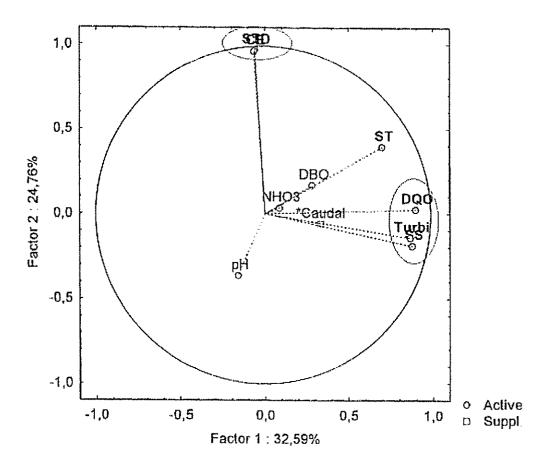


Figura 11. Círculo de correlación ACP (Análisis de Componentes Principales) de variables físico-químicas y su proyección sobre factores 1 y 2, subcuenca Guacalate

## 4.2.5. Análisis Factorial Discriminante (AFD)

El análisis discriminante permite separar por grupos, simultáneamente, mediciones de toda la población en una misma unidad experimental en grupos de variables similares, clasificando el porcentaje de individuos en su grupo de origen, constituyéndose así tres grupos diferenciados de usos de la tierra (café, bosque, cultivo anual). Se observa un mejor agrupamiento discriminante de los datos sobre el eje factorial "X", donde bosques presentan tendencias positivas para los dos ejes, distante de los cultivos anuales, que tiende a valores negativos para los dos ejes.

De acuerdo a las correlaciones mostradas las variables más importantes son en su orden STD, ST y los NO³, Bacterias Coliformes, pH Y DQO. Las tendencias de las variables muestras los cultivos anuales están más relacionados a Coliformes, STD Y ST, y los agrosistemas con café a los Nitratos.

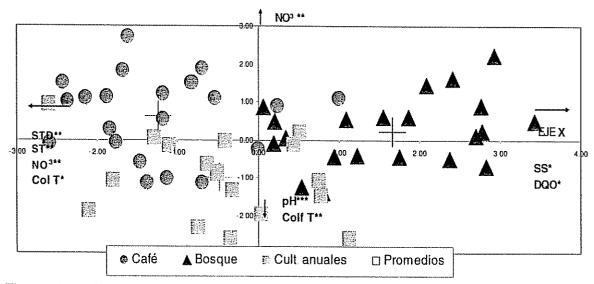


Figura 12. Usos de la tierra, Análisis Factorial Discriminante (AFD) para diferentes indicadores de calidad del agua según usos de la tierra en la subcuenca Guacalate

## 4.3. EXTERNALIDADES HIDRICAS (OBJETIVO TRES)

# 4.3.1. Contaminación puntual (beneficios de café sobre el cauce principal) VERTIDO DE LOS BENEFICIOS:

Se realizo una prueba de "T" para muestras pareadas, Antes y Después del vertido de las aguas mieles residuales de cinco beneficios de café muestreados para 10 variables( pH : Potencial de Hidrógeno , S.S.:Sólidos sedimentables, D.Q.O.: Demanda química de oxígeno D.B.O.: Demanda bioquímica de oxígeno, S.T.D.: Sólidos totales disueltos, S.T.: Sólidos totales, C.E.: Conductividad eléctrica, E. Coli, Coliformes Totales y Caudal). La única variable que mostró significancia fue la D.Q.O, p (0.031), lo cual muestra la importancia de este parámetro por su capacidad de degradar (oxidar) químicamente a través del dicromato de potasio; toda la carga orgánica contaminante de las muestras de agua, contrario a la DBO, donde los microorganismos no tienen la capacidad de degradar toda la materia orgánica de la muestra.

Los valores promedio oscilaron entre 207 y 235 mg/l (ver figura 13), estos valores son bajos comparados con los limites permisibles por la norma del vertido de aguas mieles para la agroindustria cafetalera (3,000 de D.Q.O) debido principalmente a la dilución sobre el caudal del Río y la epoca de muestreo de beneficiado (marzo), donde los volúmenes de descarga son mas bajos.

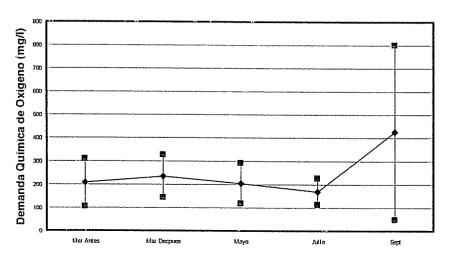


Figura 13. Curva de Demanda química de oxígeno (DQO) antes y después del vertido de aguas mieles.

La época de muestreo es importante para el monitoreo de los parámetros de calidad de agua, debido principalmente a dos factores; El caudal, que varia con el periodo de precipitaciones durante el año y la concentración de la carga contaminante que depende de la descarga de efluentes (urbanos, agrícolas principalmente de los procesos erosivos por escurrimiento).

Los caudales se incrementaron conforme se incrementa el periodo lluvioso, incrementándose proporcionalmente las cargas contaminantes de las variables medidas, como sucede con los sólidos sedimentadles S.S. (ver figura No. 15); principalmente por el alto grado de erosión en la cuenca, coincidiendo con los factores de socio-ecomicos de extracción de arenas sobre los cauces.



La tendencia es que a mayor recorrido del río sobre su cauce principal hacia la parte baja y sur, los caudales se incrementan debido a los aportes de los efluentes de aguas, principalmente drenajes de aguas negras, pluviales y manantiales de los diferentes poblados.

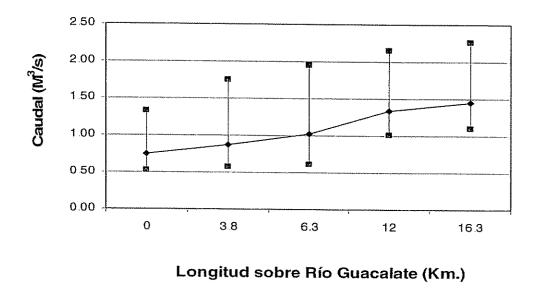


Figura 14. Curva del caudal a lo largo del río Guacalate.

Los Coliformes y E. coli se incrementan conforme el recorrido el río aumenta de caudal, y recibe los efluentes de los drenajes municipales, existiendo una relación de la cantidad de la población, disponibilidad de drenajes.

Los diferentes parámetros de sólidos aumentan considerablemente principalmente los sólidos totales disueltos, que como se mencionó esta correlacionado con la conductividad eléctrica, observándose una recta muy equilibrada, de igual manera sucede con la DQO, y los NO3, donde hay un leve incremento durante el recorrido del río fuente abajo.

Se observa que conforme se incrementa la lluvia durante la época lluviosa se incrementan los caudales sobre el cauce principal del río, incrementándose proporcionalmente los nitratos (N0³), Sólidos Sedimentables (S.S.), Sólidos Totales (S.T.), La Turbidez (T.U.),

El pH y La Demanda Química de Oxígeno (DQO), no así la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno).

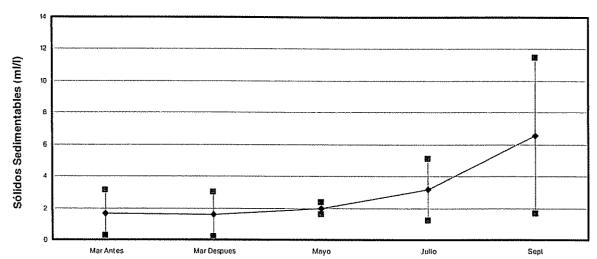


Figura 15. Curva de concentración de sólidos sedimentables (SS) en cuatro épocas del año.

## 4.3.2. Caracterización de los beneficios de café

Se encontraron un total de 28 beneficios húmedos de café dentro de la cuenca que procesan en conjunto de 194.450 quintales de café al año, cifra que no concuerda con lo reportado por la caracterización del café de origen genuino Antigua (APCA, ANACAFE, 2003), que se duplica la cantidad, probablemente por el incremento en los volúmenes de compra y procesamiento de cuatro beneficios comerciales que se dedican a la compra venta, los cuales procesan un aproximado de 55% del café de de la subcuenca.

El nivel de tecnificación ha aumentado considerablemente estos últimos tres años, según el último recuento del nivel de tecnificación de la zona (Medina 2000). En efecto se han incorporado procesos de recirculación para optimización del recurso agua y disposición final de los subproductos del beneficiado húmedo de café.

La descarga de las aguas mieles en la zona aún constituye una de las malas prácticas del beneficiado, aunque según los análisis de vertido sobre el río antes y después se puede observar un relativo bajo impacto de la evacuación de las agua mieles, debido principalmente a alta carga contaminante de los descargas de drenajes de los poblados de la subcuenca.

La utilización de el agua del río principal para riego por inundación de las plantaciones de café durante el verano es una práctica tradicional desde hace muchos años, sin embargo el nivel de contaminación del río empieza a tener sus efectos, principalmente con el incremento de los porcentajes de broca en los cafetales bajo riego, cercanos a los canales de derivación, donde la pulpa de café que algunos beneficios comerciales dejan caer sobre el cauce del río sedimenta en estos canales al disminuir los caudales, incrementado los costos de control, a través del trampeo o aspersiones químicas dirigidas.

Cuadro 9. Caracterización de beneficios humedos de café.

BENIFICOS CAFÉ ANTIGUA

			OAFE ANTIGUA		1	T
		qq	TIPO DE		AGUA	Uso del
No.	BENEFICIO	PROCESADOS	BENEFICIO	PULPA	MIEL	río
1	Pastores	40.000	Semitecnificado	Regalan	Al río	No
2	Salinas	300	Tecnificado	Utilizan	Al río	No
3	La azotea	1.500	Semitecnificado	Utilizan	Al río	Riego
4	Portal	2.000	Semitecnificado	Utilizan	Al río	No
5	Retana	3.000	Tradicional	Utilizan	Al río	Riego
				Tiran		
6	San Lázaro	45.000	Semitecnificado	río/regalan	Al río	No
7	Potrero	2.000	Semitecnificado	Utilizan	Al río	Riego
8	Urías	2.500	Semitecnificado	Utilizan	Al río	Riego
9	El Platanar	1.500	Semitecnificado	Utilizan	Al río	No
10	El tempisque	5.000	Tecnificado	Utilizan	Al río	No
11_	Capetillo	11.000	Tecnificado	Utilizan	Al río	Riego
12	Bella Vista	20.000	Tecnificado	Utilizan	Al río	No
13	Urías-Pivaral	1.800	Semitecnificado	Utilizan	Al río	No
	Stallnez					
14	Medina	1.500	Semitecnificado	Utilizan	Al río	Riego
15	Camec/Esperan	18.000	Tecnificado	Regalan	Al río	No
16	Sta. Clara	1.500	Semitecnificado	Utilizan	Al río	No
17	Carmona	3.000	Semitecnificado	Utilizan	Oì1 IA	No
18	El Pintado	250	Tecnificado	Utilizan	Al río	No
19	Sta. Bárbara	10.000	Tecnificado	Utilizan	Al río	No
20	San Sebastián	11.000	Tecnificado	Utilizan	Al río	No
21	La primavera	300	Tecnificado	Utilizan	Al río	No
22	Filadelfia	4.000	Tecnificado	Utilizan	Al río	No
23	El Valle	1.500	Tecnificado	Utilizan	Al río	No
	Sta. bárbara-					
24	pastores	1.000	Tradicional	Utilizan	Al río	Riego
25	Monte María	3.000	Tecnificado	Utilizan	Al río	Riego
26	Silesia	008	Tradicional	Utilizan	Al río	No
28	El volcán	3.000	Semitecnificado	Utilizan	Al río	No
Total		194.450				

## 4.4. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA AGROFORESTAL

## 4.4.1. Distribución altitudinal

El área del cultivo de café en la subcuenca se encuentra en una gran zona ecológica con distintas características edofoclimáticas, de relieve, altitud y latitud, enmarcada en la Vertiente Sur y Planicie Costera del Pacífico, situada en las latitudes 14° a 15° Norte y longitudes 89° a 92° Oeste, que es la zona por excelencia del cultivo de café a través de todo el Litoral Pacífico.

En dicha zona existen 18 cuencas hidrográficas caracterizadas por longitudes cortas y fuertes pendientes, suelos volcánicos y con alto potencial erosivo, donde la región cafetalera se establece en su parte media, coincidiendo con el óptimo pluviométrico para este cultivo.

El cultivo de café en los años 80 se extendía principalmente entre los 1200 msnm y los 500 msnm sobre la boca costa de Escuintla. Hoy día existe un desplazamiento de los cafetales hacia zonas de mayor altitud, arriba de 1300 msnm que es donde resulta más rentable su cultivo debido a las características de calidad de grano (estrictamente duro), por lo que obtiene un mejor precio.

#### 4.4.2. Tipologia de la sombra

Para la tipología de sombra se distinguen dos zonas agro-ecológicas principales, en función del clima y la altitud. En el área de estudio se combinan dos zonas principales con los géneros *Ingas y Gravileas*, con grados de diversidad, según sean pequeños o grandes productores.

Arriba de 1300 msnm sobre Alotenango hacia el Valle de Antigua, predomina la especie exótica *Gravilea* robusta, pero presenta diferencias en cuanto al manejo e intensidad de acuerdo al tipo de productor; o cuando el café se cultiva a mayor escala o latifundios, predomina *Gravilea* y su manejo es más frecuente; cuando está en minifundios, en cafetales de pequeños productores, la diversidad de los cafetales aumenta, principalmente frutales como aguacates, jocotes, musáceas, cítricos y maderables como guachipilín.

La predominancia de Gravilea robusta obedece a varios factores:

• conserva mejor la humedad y no pierden sus hojas como las *Ingas*, lo cual evita el riesgo por las heladas que son frecuentes"

- Al profundizar su raíz, la competencia por agua es menor que en el caso de Inga, siendo el agua deficitaria para estas altitudes
- Sus hojas pequeñas dejan filtrar la escasa precipitación favoreciendo la infiltración, soporta en mejor manera las podas de manejo, y
- Su leña es más cotizada por tener mayor capacidad calórica.

Bajo la cota 1300 hasta 600 m, que es el límite bajo para los cafetales de la zona, se encuentra *Inga spp* como genero dominante, especialmente *Inga oesterdiana* caracterizada por ser una especie con foliolos más grandes y coreáceos que toleran de mejor manera el ataque de un lepidóptero de la familia Noctuidae, que defolia totalmente los árboles, durante el establecimiento de las Iluvias julio-agosto. Otras especies que igualmente son menos susceptibles son las *ingas* con frutos comestibles como *Inga paterna e Inga guajiniquil*, no así *Inga vera* y *Inga sapindoides*, que poseen hojas pequeñas, no cerosas.

Las *Ingas* a veces se alterna con árboles dispersos como cedros, palo blanco, volador y teca; las alturas de las copas de las *Ingas* oscilan entre 12 y 18 m pudiendo haber estratos de sombra más altos y más bajos (5 a 10 m).

Los muestreos de agua para el sistema agroforestal café con sombra se realizaron en zonas bajas, inferiores a 1.100 m, zona caracterizada por una tipología de sistema de producción a nivel patronal y empresarial, donde las propiedades oscilan entre 50 a 1,000 hectáreas aproximadamente, disponiendo de empleados asalariados permanentemente. Generalmente tienen reservas privadas de bosque natural sin explotar que colindan con las áreas de café. Este sistema de producción posee otros aprovechamientos como ganadería, cultivos forestales, cardamomo, caña de azúcar y plantas ornamentales.

# 4.4.3. Practicas de Manejo

La principal actividad es la fertilización y se realiza a través de un programa de fertilización, pero debido a los precios este año (2003), algunas fincas solo fertilizaron una vez y otras ninguna. La dosis de fertilizante es de 410 kg por hectárea.

El control de malezas se realiza en forma manual con machete, al inicio de la época lluviosa en mayo. Algunas fincas realizan aplicaciones con herbicidas después de las

lluvias con glifosato y 2-4-D amina. El control de sombra se realiza al final de la cosecha entre marzo y abril; la mayor parte se realiza en forma manual con machete.

Las variedades predominantes son Caturra, Catuaí, Catimor y Borbón. Las fincas grandes están buscando alternativas de diversificación cambiando el uso de la tierra hacia bosques de reforestación a través de pago de incentivos forestales, o hacia otras actividades como el cultivo de caña y ganadería, donde estas últimas tienen mayor ventaja comparativa sobre el café, debido a que los precios del café para esta zona baja son insostenibles.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

El sistema cafetalero agroforestal con mayor biodiversidad se concentra en las zonas de menor altitud y se encuentra amenazada por la caída de precios y la marginalidad de pobreza de los productores y susceptibilidad a la erosión hídrica. En esta zona existe predominancia de algunas especies de *Inga*, alternados ocasionalmente con otras especies de valor y *Gravilea robusta* predomina en cafetales de mayor altitud.

La principal diferencia de eco zonas de café se da por la altitud que marca la variación en cuanto al clima y los precios del café. Existe un gradiente inverso entre la altitud y tamaño de explotación, las fincas que fueron muestreadas pertenecen a la parte baja cercanas a la costa sur

Las áreas de café muestreadas para análisis de aguas se encuentran dentro del rango del óptimo pluviométrico, caracterizados por alta precipitación, pendiente y alta susceptibilidad a la erosión que afectan los parámetros de calidad y cantidad de agua si no se manejan. Esta es una base para proponer en áreas cafetaleras mecanismos de compensación o pago por servicios ambientales del recurso hídrico.

La degradación del recurso suelo por procesos erosivos, presenta una externalidad negativa hacia la agricultura, presentando altos índices de transporte de sedimentos a lo largo del Río Guacalate, que ocurren principalmente durante el periodo lluvioso (junio-septiembre), estimándose una producción de 61.416 m³/año de arena de río colectada por pobladores que se dedican a dicha actividad; pero que contribuyen positivamente a la economía de la región en US \$ en 307.080 al año.

Los sistemas con café en tierras privadas favorecen los corredores biológicos de la zona, siendo importantes por el caudal ecológico que mantienen en la época de estiaje, en pendientes escarpadas y de poca accesibilidad antropogénica, favoreciendo el transito y evitando la depredación de las especies de flora y fauna de la zona.

La tala inmoderada de bosques municipales para la obtención de leña pone en riesgo la calidad y cantidad de agua, proveniente de las partes altas de la subcuenca; que tiene consecuencias como: asolvamientos, reducción del caudal ecológico, contaminación de las fuentes y depredación de la fauna silvestre.

Existe relación entre la disponibilidad del recurso leña y su utilización como fuente de energía para cocinar. El 62% de los pobladores de San Andrés Itzapa utiliza leña proveniente de astilleros municipales, y el 80% de la población de Alotenango, obtiene su leña de los agrosistemas de café con sombra. Los demás poblados al carecer de este recurso tienden a utilizar gas propano, el 70% de la población de Antigua Guatemala utiliza como energético el gas propano; por lo que se requieren iniciativas para promover formas sostenibles de obtención de energía para cocinar.

Los análisis de aguas en los diferentes usos de la tierra muestran diferencias estadísticamente significativas para los parámetros caudal, pH, CE, NO<sup>3</sup> y bacterias coliformes. Encontrándose parámetros de contaminación mayores para los cultivos anuales seguidamente el café y luego los bosques.

Para las épocas de muestreo en los usos de la tierra se observa que al incrementarse el caudal durante septiembre los valores de DQO y Turbidez aumentan significativamente y por el contrario al disminuir el caudal los niveles de coliformes y de DBO aumentan. Esto es debido a que al aumentarse el caudal las concentraciones de sólidos y materia orgánica aumentan y la actividad microbiológica se dispersa por la elevación del caudal.

Los parámetros encontrados muestran que los valores de turbidez, DBO, DQO y bacterias Coliformes no cumplen las normas guatemaltecas (COGUANOR) para agua de consumo humano y riego.

Las variables de calidad de agua que mejores valores de correlación presentan según los diferentes usos de la tierra son en su orden STD, CE al 99% y SS, DQO y turbidez al 75%; siendo confirmado por el análisis factorial discriminante que muestra un buen agrupamiento para cada uso de la tierra, confirmando que las variables de mayor importancia son STD, ST y NO³ para el eje principal, donde los nitratos se vuelven mas importantes conforme se acercan al sistema café es debido a que en las fincas

muestreadas se han venido utilizando fertilizantes desde hace mas de 10 años, a diferencia de las Coliformes y sólidos que tienden hacia los cultivos anuales; esto probablemente por existir mayor erosión y mayor presencia humana.

La DQO es el único parámetro que muestra diferencias estadísticamente significativas cuando se analiza el vertido de las aguas residuales del beneficiado húmedo de café, pero con valores bajos en promedio, (207/235 mg/l). Comparado con los límites permisibles (3 000 mg/l de DQO, se concluye que este parámetro podría ser el más perceptible para medir la contaminación ocasionada por el vertido de los beneficios de café.

En la subcuenca se contabilizaron 28 beneficios y los valores de DQO muestran lo observado en el campo, donde la gran mayoría de beneficios vierten sus aguas mieles al cauce principal del río, siendo muy escasos los que realizan sistemas de tratamiento.

La pulpa como desecho sólido es aprovechada por la mayoría de las fincas que poseen beneficios, pero existen aun algunas que no la utilizan, sino las vierten al cauce principal influyendo negativamente en el aparecimiento y reinfestación de la plaga denominada broca del café, que es expandida en hacia las fincas a través de la utilización del agua del río como riego por inundación en plantaciones de café.

#### 5.2. RECOMENDACIONES

Establecer dentro de la subcuenca Guacalate, programas de manejo de recursos naturales, para la protección de zonas de captación y recarga hídrica, incorporando áreas de manejo de bosques naturales y reforestación.

Promover la implementación de medidas preventivas y correctivas contra la erosión de los suelos y transporte de sedimentos, a través de la aplicación de prácticas agrícolas promisorias estableciendo sistemas forestales y agroforestales sostenibles de acuerdo a las condiciones socioeconómicas.

Evaluar la contribución del agro sistema café, respecto a otros usos de la tierra, su capacidad de proveer servicio ambiental hídrico (recarga hídrica, la prevención contra la erosión en áreas con alta susceptibilidad por su cobertura, mantenimiento del caudal ecológico en corredores biológicos), proponiendo mecanismo de compensación o pago.

Las aguas para consumo humano y riego dentro de la Subcuenca Guacalate deben monitorearse de acuerdo a parámetros establecidos por la norma Guatemalteca de aguas (COGUANOR), elaborando mapas especiales de interés para la captación y calidad. Además las aguas para consumo humano deben tratarse para evitar brotes de enfermedades.

Para estudios posteriores de calidad de agua, en diferentes usos de la tierra se recomienda utilizar indicadores de calidad como: S.T.D. (Sólidos Totales Disueltos), S.S. (Sólidos Sedimentables), debido a su alta correlación, practicidad y bajo costo.

Para analizar la contaminación de los vertidos de aguas de los beneficios de café, se propone el monitoreo de los parámetros DQO, SS, STD, debido a su alta correlación, practicidad y reducido costo.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, J.; López de León, E.; Medina, B. 1999. Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agroecosistema café en Guatemala. Boletín PROMECAFE. (IICA) No. 81: 7-14.
- ANACAFE (ASOCIACION NACIONAL DEL CAFÉ). 1998. Manual de Caficultura. 3<sup>ra</sup> ed. Guatemala: Asociación Nacional del Café. 318 p.
- Arana, L. 1992. Análisis espacial para evaluar la erosión hídrica en la subcuenca del río Pensativo, Guaternala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 118 p.
- Armbrecht, I; Perfecto, I. 2001. Diversidad de artrópodos en los sistemas cafetaleros. In: Resúmenes V Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación. San Salvador, El Salvador del 15 al 19 de octubre del 2001. 7 p.
- Ávila, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba. CR, CATIE. 101 p.
- Azqueta, D. 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. Madrid, ES, McGraw-Hill Interamericana de España. 295 p.
- Beer, J.; Muschler, R.; Kass D., Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantatión. Agroforestry Systems 38: 139-164.
- -----; Muschler, R.; Somarriba, E.; Kass, D. 1997 Maderables como sombra para café. Boletín PROMECAFE. (IICA) No. 76-77: 5-7.
- -----; (1995) Efectos de los árboles de sombras sobre la sostenibilidad de un cafetal. Boletín PROMECAFE (IICA) 68: 13-17.

- Bertrand, B.; Rapidel B. 1999. Desafíos de la Caficultura Centroamericana. IICA-PROMECAFE: CIRAD. San José, Costa Rica 490 p.
- Bonilla, Z. 1999. Tipologías cafetaleras en el Pacífico de Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 96 p.
- Bornemisza, E.; Collinet, J.; Segura, A. 1999. Los suelos cafetaleros en América Central y su fertilización. P. 97-138 En: Bertrand B, Rapidel B (eds.). Desafíos de la Caficultura en Centroamérica. CIRAD-IICA-PROMECAFE.
- Botero, J; Baker. 2001. Coffea and biodiversity: producer-contry pespective. Coffe Future. 94-103.
- Boyce, J; Fernandez, A; Fürst, E.; Segura, O. 1994. Café y Desarrollo Sostenible: Del Cultivo Agroquímico a la Producción Orgánica en Costa Rica. Heredia, Costa Rica EFUNA. 248 p.
- CATIE (Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, CR). 1986. Principio de calidad de agua para el manejo de cuencas .Curso intensivo de clase. Turrialba, Costa Rica. 84 p.
- Chow, V; Maidment, D; Mays, L. 1994. Hidrologia aplicada. Santa Fe, Col, McGraw-Hill 295 p.
- Cobos, C; 2002. El Agua: situación actual y necesidades de gestión. ARNA-FIPA-USAID, Guatemala. 61 p. (serie de documentos técnicos No.5)
- Cuadrat, J; Pita, M. 1997. CLIMATOLOGIA. Madrid, ES, Ediciones Cátedra, S.A. de España. 493 p.
- Cuellar, N.; Rosa, H.; González, M. 1999. Los servicios ambientales del agro: El caso del café de sombra en El Salvador. PRISMA. No. 34: 1-16
- Escalante, M. 2000. Diseño y manejo de cafetales del occidente del Salvador. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- FAO. 1993. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Informes sobre temas hídricos 1. Santiago, Chile. 385 p.

- Fassbender, H. 1993. Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales. CATIE, Turrialba, Costa Rica: Serie de Materiales de Enseñanza No. 29, 491 p.
- Fernández, C.; Muschler, R. 1999. Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América Central. p 69-96 ln: Bertrand B, Rapidel B (eds.) Desafíos de la Caficultura en Centroamérica. CIRAD-IICA-PROMECAFE.
- FischerSworring, B.; Robkamp, R. 2000. Guía para la caficultura ecológica. La sombra en el cafetal y los sistemas agroforestales. 49-53 p.
- Flores, T. 1984. Estudio preliminar de la vegetación de la cuenca del rio Guacalate. Tesis Ing. Agr. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomia. 34 p.
- Fournier, L. 1996. Fijación de carbono y diversidad biológica en el agroecosistema cafetero. Boletín PROMECAFE. (IICA). No 71: 7-13.
- -----. 1988. Fundamentos ecomorfofisiológicos de importancia en la nutrición mineral del cafeto. P1-23. In: PROMECAFE. Curso Regional sobre Nutrición Mineral del Café. San José, Costa Rica: IICA. p. 1-23.
- Galloway, G.; Beer, J. 1997. Oportunidades para fomentar la Silvicultura en Cafetales en América Central. INFORME Técnico No. 285. Turrialba, Costa Rica: Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 166 p.
- Hernández, R. 1995. Importancia del café en el mercado Salvadoreño de la leña. Boletín PROMECAFE (IICA) No.69/70: 8-11.
- Herrador, D.; Dimas, L. 2000. Payment for environmental servicios in El Salvador. Mountain Research an development 20 (4): 306-309.
- HERRERA, I. 1998. Reconocimiento Hidrogeológico de la cuenca del río Itzapa, Departamento de Chimaltenango, Guatemala. Tesis Mag. Sc. en Recursos Hidricos e Hidrogeología. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 104 p.

- INSIVUMEH. 1981. Informe hidrogeologico del pozo Guacalate (Jocotenango I ). Seccion de aguas subterraneas. Guatemala. s.p. (informe interno)
- Jaramillo, A.; Chaves, B. 1999. Aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de café (Coffea arábica L.) al sol y bajo sombra. Cenicafe 50 (2): 97-105.
- Komar, O.; Domínguez, J. 2002. Efectos del estrato de sombra sobre poblaciones de anfibios, reptiles y aves en plantaciones de café de El Salvador: implicaciones para programas de certificación. In: congreso de la sociedad mesoamericana para la biología y la conservación (5,2001, San Salvador): Resúmenes, El Salvador.
- Leakey, R. 1977. Reconsiderando la definición de Agroforestería. Agroforestería en las Américas 4 (16) 22-24.
- Lopez, J; Herrera, M; Tobias, H; 1990. Evaluacion de practicas de conservacion de suelos en la cuenca del rio Pensativo, Sactepequez. Tikalia (Gua) 8(1-2): 75-95
- Lyngbaek, A. 2000. Café Orgánico: un estudio comparativo de la producción de café orgánico y convencional en fincas pequeñas en Costa Rica. Tesis Mag Sc. Universidad de Gales, Reino Unido (resumen). 58 p.
- MAGA-CIPREDA-BID, 2001. Plan de manejo de la subcuenca del río Pensativo-Alto Guacalate. Guatemala. 229 p.
- Mendoza, M. 1996. Impacto de la tierra, en la calidad del agua de la microcuencas río Sábalos, cuenca del Río San Juan. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 81 p.
- Moguel, P. 2001. Café cultura y conservación de la biodiversidad en México: hacia una propuesta de café sustentable. In: congreso de la sociedad mesoamericana para la biología y la conservación (5,2001, San Salvador): Resúmenes, El Salvador. 100 p.
- -----; Toledo, V. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. Conservation Biology 13: 11-21

- Motta, E. 2001. Modelo matematico del acuifero de la cuenca alta del rio Guacalate, Chimaltenago y Sacatepequez, Guatemala. UCR. Escuela Centroamericana de Geologia. Tesis Mag. Sc. San Jose C.R., 106 P.
- Muschler R. 2000. Árboles en Cafetales Serie de Módulos de Enseñanza CATIE, Turrialba, Costa Rica: Proyecto agroforestal CATIE/GTZ. 139 p.
- -----, 1997b. Sombra o sol para un cafetal sostenible?: un nuevo enfoque de una vieja discusión. P. 471-476. In: Echeverri J, Zamora L (eds.) Memorias del 18vo Simposio Latinoamericano de Caficultura. Setiembre 1997. San José, Costa Rica.
- OPS/PROSA-LUTE. 2000, Evaluación de los servicios de agua potable y saneamiento en las Americas. Guatemala, Informe Analítico. 15p.
- Ovando, S. 2000. Caracterización de las políticas relacionadas con la producción amigable de café. Resumen ejecutivo PROARCA/CAPAS/USAID/PROMECAFE/IICA. 20 p.
- Padilla, T. 2003. Evaluacion del potencial hidrico en la microcuenca del rio Cantil, para el aprovechamiento de las aguas subterraneas en la finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, Guatemala. Tesis Mag. Sc. U.C.R. Costa Rica. 110 p.
- PASOLAC, 2000. Pago por Servicios Ambientales: conceptos y principios. Managua Nic., 35 p. (Serie Tecnica No. 259).
- Perfecto, I., Rice, R., Greenberg, R., Van der Voort, ME. 1996. Shade caffee:a disappearing refuge for biodiversity. BioScience 46(8): 598-608.
- Ramírez, O.; Gómez, M. 1999. Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono. Revista Forestal Centroamericana. 2 (27): 17-22.
- Rice, R. 1995. Café Sustentable en Centro América: recursos y redefiniciones. Boletín PROMECAFE. (IICA) No. 73/74: 9-12.

- Rivera, J.; Ratan, L.; Amesquita, E.; Mesa, O.; Chaves, B.; 1998. Movimiento del agua y procesos fundamentales en la erosión de 5 suelos de la zona cafetalera de Colombia. Cenicafe 49 (4): 308-324.
- Robledo, H. 2001. Estimacion económica de las principales externalidades de uso y manejo de los recursos naturales, en la subcuenca Matanzas, del río Polochic, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 164 p.
- Seoanez, M; Angulo, I. 1999. Ingeniería del Medioambiente. Aplicada al medio natural continental. Segunda edición, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 702 p.
- Schibli, C. 2000. Percepciones de las familias productoras sobre el uso y manejo de sistemas agroforestales con café, en el Norte de Nicaragua. Agroforestería en las Américas. Vol.7 No.28
- Somarriba, E.; Beer, J.; Muschler, R. 2000. Agroforestería en las Américas. Vol.7 No.25, 27-32 p.
- -----. 1997. ¿Se puede aprovechar árboles maderables de sombra sin dañar al café? Agroforestería en las Américas 4: 28-29.
- Summer, M.; West, L.; Leal, J. 1992. Suelos de la agroindustria cafetalera de Guatemala, región sur. Universidad de Georgia, departamento de agronomía. 100 P.
- Taracena, J. 2003. Caracterización hidrogeoquímica del sistema acuífero presente desde la parte alta del río Guacalate hasta la población de Alotenango, Sacatepequez, Guatemala. Tesis Mag. Sc. San José CR. UCR. 140 p.
- Vaast, P.; Snoeck, D. 1999. Hacia un manejo sostenible de la materia orgánica de la fertilidad biológica de los suelos cafetaleros p. 139-170. In: Bertrand B, Rapidel B (eds.) Desafíos de la Caficultura en Centroamérica. CIRAD-IICA-PROMECAFE.

- Villegas, J. 1995. Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, bajo el enfoque de indicadores de sostenibilidad. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 146 p.
- Zanotti, R. 1997. El potencial del mercado de la madera y la leña provenientes del sombrío de los cafetales. Boletín PROMECAFE (IICA) No.75: 7-12.
- Zuñiga, C. 2001. Tipologías cafetaleras y desarrollo de enfermedades en los cafetales de la Reserva Natural Miraflor-Monopotente, Estelí Nicaragua. Tesis Mag Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 73 p.

7. ANEXOS

# Boleta de toma de datos de caudal en campo

ESTACIÓN NÚMERO RÍO MOLINETE			FECHA HORA INICIO HORA FIN TIEMPO DE ROTACIÓN			Escala inicio Escala fin Aforo No. Ecuacion	
Distancia del punto inical metros	Profuncidad total metros	Profundidad del molinte metros	No. de revoluciones	Ti	EMF	POS SEGUNDOS	G)
1	2	3	4	5	6	7	8
		X					
						-	
				1			
	**************************************						
				-			
					-		
				-			
					ļ		
				1			
				<del> </del>		·	
				+			
	***************************************		A-TIA RESIDENCE AND ADDRESS AN	<del> </del>			

Boleta para análisis de aguas físico-químicos en laboratorio.

### **ANÁLISIS AGUAS MIELES**

Fecha: Responsable:	No. Lab.	***************************************	OTROS ANÁLISIS
pH:			
DQO			
Dilución :		Lectura :	
DBO			
2 3			
<u> </u>			
Peso Cápsula Vacía : Peso Cápsula Muestra : %ST = C+M - CV X 4 :			<u>"</u> %
Sólidos Sedimentales			
Vol. Inicial : Vol. Final :			
Acidez			
pH Inicial : pH Final :	ml NaOH =		
( ml NaOH X N NaOH X 50000 ) / n	nl muestra = mg/L C	DaCO3	
( x	X 50000 ) /	=	mg/L CaCO3

## Cálculo de caudales, fase de gabinete

CÁLCULO DE AFOROS

**ESTACIÓN** 

RÍO

FECHA

LECT.ESCALA

HORA INICIO HORA FIN

MOLINETE FÓRMULA

INICIO LECT.ESCALA FIN

**AFORADORES** 

Dist. Punto Inicial	Prof. vert.	Prof. medio	Prof. molinte	No. Rev.

#### ANALISIS MICROBIOLOGICO PARA MUESTRAS DE AGUA

Proyecto Flocul	ación P&G-Mertu/	G - CDC Análisis	s de muestras de agua		
		Datos d	iel Campo		
Fecha:		Semana:	ID #:		
Hora:			Volumen colecta	da:	ml.
Lugar:					
Tipo de muestra:	(Ríos,	puntos de muestreo (ca	sas), comunidades (pozos, i	nacimientos)	
Frasco con Tiosull	fato: SI	NO Cid	oro libre:mg/L	Cloro total:	mg/L
Turbidez: RESULTADO	UNT DS DE LABOF	RATORIO			
Fecha de análisis:			Hora	•	
Analizada por:					
DILUCIONES	3				
Sin dilu	ción 🔲	10-1	10-2 10-3		
OBSE	RVACIONES				
LECTU	RA RESULTADOS	3			
Fecha:		Hora	Por		
	Diluciones	# pozos grandes positivos	# pozos pequeños positivos	NMP	X Factor Dilución
Coliformes Totales	Sin dilución 10 <sup>-1</sup>				
Escherichi a Coli	10 <sup>-2</sup> 10 <sup>-3</sup> Sin dilución				
	10 <sup>-2</sup>				
*referirs		MP del Quanti-tray 2000			<u>                                     </u>
Coliformes Totale Escherichia coli	es	Resul Resultado final	Itado final : UFC/10 : UFC/100 ml	00 ml	
Ingreso base de d	datos Por:		Fecha:	***************************************	

### Normas de calidad del agua según su uso en Guatemala

(agua potable, riego y aguas residuales) y promedios encontrados en la presente investigación (usos de la tierra y sobre el río).

No.	Indicador	Norma COGUANOR para agua potable	Norma de riego	Norma de vertidos	Valores promedios según uso de la tierra	Valores sobre el río
1	Sólidos Sedimentables (S.S.)		**	10	0,39	2,1-4,1
2	Sólidos Totales (S.T.)			5	0,046-0,032	0.07-0.14
3	Sólidos Totales Disueltos (S.T.D.)	1.000	5.000		175-245	346-638
4	Turbidez	5-25		**	2,5-51	208-858
5	Potencial de Hidrogeno (pH).	7-8,5	6-8	5-9	7,2-7,5	7,0-7,3
6	Conductividad Eléctrica (C.E.)	50-1.500	3 00	**	0,17-0,246	35-56
7	Nitratos (NO³)	10-45	m.e.		1 6-3.9	0,05-1,0
8	Demanda Química de Oxigeno (D.Q.O.)	10		3 00	39-102	86-404
9	Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.₅)	5	5	1 500	6,5-33	45-70
10	Coliformes Totales (Col Tot)	< 2	< 2		67.000-188.000	9.0000,000- 49.000,000
11	Escherichia Coli (E coli)	< 2	< 2		2 706	483.000- 46.000,000

					cafetales						Constant and Charles and Constant and Constant	enbsoq							anuales						
		l/seg	Caudal		0.17	7.50	0.13	2.00	0.50	8.70	1.49	0.06	0.08	17.00	0.15	1.05	3.64	3.76	48.00	2.78	22.00	22.00	67.00	2.10	
		NMP/100ml	E.coli		141,000	47	41	980	1,290	27	1,500	2		96	71		150	180	3,100	2,400	55	3,100	2	1,300	1027007.1
		NMP/100ml	Colif. Tot.		92,000	17,300	242,000	241,000	98,000	680,000	240,000	2,480	2,000	4,900.	17,300	2,400	32,000	110,000	180,000	150,000	1,500,000	86,600	150	72,000	
		шдд	Mitratoc	Milatos	2.99	2.25	7.31	0.33	0.22	4.99	2.93	0.62	∈ 0.66≲ ∈	0.49	1.99	2.28	0.15	2.61	0.33	0.12	2.94	0.42	3.73	2.81	
DATOS PRIMFR MIJESTREO DE USOS DE LA TIERRA ABRIL		Unf	Turbiday	i ui Diuck	3.00	1.00	6.00	4.00	2.00	3.00	3.00	4:00	1.00	1:00	7.00	2.00	2.00	2.00	3.00	2.00	1.00	3.00	00.00	1.00	
DELAT	*	m/sp	φ	C.E.	0.16	0.15	0.20	0.50	0.43	0.18	0.22	0.15	0.16	0:16	0.04	0.20	0.14	0:20	0.16	0.19	0.19	0.16	0.32	0.31	
DATOS E USOS		%	LO.	S.T.	0.04	0.08	0.04	90.0	0.04	0.04	0.04	80:0	0:04	0.04	0:04	0:04	00'0	0.04	0.00	00.0	0.04	0.04	0.08	0.08	
D REO DE		ŧro	4	S.T.D.	157.00	147.00	200.00	502.00	428.00	176.00	219.00	151.00	155.00	161.00	140.00	197.00	138.00	200.00	162.00	188.00	189.00	161.00	324.00	306.00	
MILEST		miligramos/litro	၉	D.B.O.5	40.00	30.00	14.00	60.00	30.00	20.00	10.00	50.00	50.00	50.00	60:00	3/585.44 B	10:00	40.00	10.00	10.00	30.00	10.00	50.00	40.00	
PRIME		Ē	2	D.Q.O.	95.00	128.00	64.00	221.00	113.00	1.00	18.00	48:00	8.00	6:00	27.00	26:00	20:00	48:00	41.00	21.00	50.00	20.00	25.00	36.00	
		ml/litro	100	i,	0.20	0.10	0.20	0.20	0.10	0.00	0.00	0:10	0.10	0.20	1,40	0:30	0:10	0.20	0.30	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	
			7	5.	6.60	7.10	7.50	7.20	7.80	6.70	7.60	7.20	7.00	7.20	6:70	7.70	7.60	02.7	7.80	7.80	7.90	6.70	7.10	7.30	
				Identificación	VOI GAN 2	VOL ESC	MONTE Ma.	SAB G(CUNSUR)	SAB G BERR	SILANEXO SJ	SIL CATUAI	8 ENT CHORR	9 CHORR	DEB CHORR	BALSNLZ	RAMUCHAT	SLEMNTA	14 STA CAT ARF	VOL PALINES	SIL TOLV	STA CAT AB	CHIPACAY	NAC URIAS S	NAC 2 URIAS	
			į	ġ	T	N	ო	4	വ	9	7	ω	6	9	Ě	12	13	7	72	16	12	<u>ф</u>	<del>0</del>	20	

		l/seg	Caudal		0.154 cafetales		0.217	3.33	2.86	8.7	1.5	0:5 bosque	1.4	23.6	0.483		3.39	3.1.25	65 anuales	က	52.7	71	53.5	5.7	15.61
	NMP/100	m I/	E.coli		3,900	132	C	<b>*</b>	<b>,</b>	24	320	2	390	770	260 0		2		224	1,000	21,000	1,800	21	7,300	1,859:00 15
	NMP/10	0mi	Collf. Tot.	:	43,000	10,000	1,700	37	205	86,000	77,000	6,800	6 46,000	112,000	61,000	12,000	7,300	33,000	73,000	240,000	240,000	155,000	2,400	140,000	67,322.1
IUNIO		mdd	***************************************	Nitratos	5.73	5.30	14.45	0.57	0.61	1.76	0.93	1.02	5.75	1.19	. 1.65	0.92	1.90	1.41	0.99	1.09	1.49	0.10	3.41	1.24	2.58
ERRA J		Unf	Turbi	dez	8.00	2.00	10.00	0.00	1.00	0.00	1.00	21.00	20.00	78.00	0:00	2:00	1.00	3:00	2.00	2.00	7.00	43.00	12.00	27.00	12:00
<b>JE LA T</b> I	*	ds/m	9	C.E.	0.16	0.16	0.20	0.50	0.31	0.19	0.24	0.16	≥ 0.21⊳	0.18	0.14	0.21	91.0	0.21	0.17	0.20	0.20	0.17	0.35	0.31	0.22
nsos r		%	3	S.T.	0.08	0.04	0.04	0.08	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.04	00:0	0:00	00'0	0.04	0.04	0.04	0.00	0.08	0.04	0.04	60.0
<b>MUESTREO DE USOS DE LA TIERRA JUNIO</b>		0.	4	S.T.D.	164.00	161.00	204.00	501.00	313.00	185.00	235.00	157.00	206.00	178.00	144:00	210.00 0.00	146:00	212.00	172.00	201.00	198.00	169.00	350.00	314.00	.22:1.00
		miligramos/litro	က	D.B.O.5	20.00	20.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	. 10.00	10.00	10.00	10.00	000	20.00	10.00	10.00	20.00	10.00	20.00	10.00	00.0	11.50
DATOS SEGUNDO		milic	0 1 6	- D.Q.C.	69.00	11.00	11.00	84.00	28.00	26.00	10.00	48.00		00'99	ः अ <b>18.00</b> ः	00:09	4.00	25.00	45.00	19.00	20.00	127.00	20.00	46.00	40,10
DATO		ml/litro	100	i i i	0.20	0.10	1.40	0.00	0.05	0.05	0.10	0:20	0.40	0.80	0.00	0.10	0.20	0.40	0.05	0.10	0.20	09.0	0.00	0.50	0.29
			;	ቼ.	7.30	7.50	7.20	6.80	6.90	7.10	7.60	00.7	7.20	7:30	7.60	.097	7.30	022	7.40	7.40	7.80	7.20	7.60	7.60	7,36
				Identificacion	VOLCAN GANAD 2	VOLCAN ESCALERA	MONTE MARIA	SABANA G(CUNSUR)	SABANA G BERR	SILECIA ANEXO SJ	SILECIA CATUAI	CHORERA	унаннона	DEBAJO CHORRERA	11 BAL SNILORENZO	200	SLECIA	STA CATABINA ARRIBA	VOLCAN PALINES	SILECA (TOLVITA)	STA CATARINA ABAJO	CHIPACAY	NAC URIAS SALTO	NAC 2 URIAS	
			:	<u>.</u>	7	2	ო	4	ß	9	^	8	6	-10	學學	42	÷.	, <del>,</del> 4	ਨ	16	17	18	19	ପ୍ଷ	

			DATOS	DATOS TERCER	MUESTR	R MUESTREO DE USOS DE	ISOS D	Z	TIERRA JULIO	ILIO				
		***************************************	m///itro		milioramos/litro	rr	%	*	Ü	E CO C	NMP/100ml	NMP/10 0ml	l/sed	
1		7	100	2	3	4	l n	9	Turbi	Nitratos	Colif. Tot.	E.coll	Caudai	
<u>.</u>		5	0.0	D.Q.O.	D.B.O.5	S.T.D.	S.T.	C.E.	dez					
τ-	VOLCAN GANAD 2	7.00	2.50	81.00	10.00	144.00	0.04	0.14	37.00	5.79	170,000	1,100	0.5	cafetal
N	VOLCAN ESCALERA	7.40	0.20	12.00	10.00	147.00	0.04	0.15	8.00	7.31	460,000	1,200	5.1	
(1)	MONTE MARIA	7.40	0.30	12.00	10.00	176.00	0.04	0.18	8.00	11.73	120,000	53	0.5	
4	SABANA G(CUNSUR)	6.70	0.00	17.00	10.00	470.00	0.04	0.47	2.00.	3.88	240,000	<b>T</b>	7.5	
r,	SABANA G BERR	6.70	0.01	4.00	10.00	344.00	0.04	0.35	1.00	3.38	230	<b>T</b>	2.5	
ဖ	SILECIA ANEXO SJ	7.10	0.10	36.00	10.00	184.00	0.08	0.18	4.00	0.68	120,000	77	13.8	
^	SILECIA CATUAI	7.60	0.10	32.00	10.00	202.00	0.08	0.20	4.00	0.96	68,000	54	8.5	944
æ	a series table	<u>о</u> г.7.	4.00	186.00	20:00	151,00	0.08	0.15	176.0 0	.0.01	720	2	0.313	enbsoq
O	CHORRERA	7.30	0.20	31.00	. 20:00	216.00	0.04	. 0.22	24.00	4.30;	24,000	31	čy T	,
	DEBAJO CHORRERA	7.30	0:30	3.00	20.00	1777.00	0.04	0.18	17.00	0.04	33,000	510	23:2	
F	BALSNLORENZO	7:10	.00:0	84:00	20:00	145.00	.000	े O:15	0.00	0.34	3,400		1.765	
t T	RIO RAMUCHAT	6.80	0.20	7.00	20:00	212:00	0.04	ं 0.21	3:00:	0.88	7,300	44	##:	
<u>ლ</u>	0.36	7.20	∴0.10°	34:00	10:00	142.00	0.00	0.14	3.00	6Z.0	17,000	74	- 4.9°	6 9 3
4	STA CATARINA ARRIBA	7.80	0.20	22.00	.60.09	212:00	0.04	0.21	10.00	2:97	81,000	13	3.26	
75	VOLCAN PALINES	7.50	0.10	19.00	10.00	155.00	0.04	0.16	8.00	2.75	160,000	570	64.3	anuale s
16	SILECA (TOLVITA)	7.70	0.10	41.00	20.00	250.00	0.04	0.25	8.00	0.60	170,000	810	11.3	
17	STA CATARINA ABAJO	7.90	0:30	10.00	20.00	200.00	0.04	0.20	10.00	2.66	240,000	11,000	56.4	
18	CHIPACAY	7.20	0.50	5.00	10.00	176.00	0.04	0.18	82.00	0.08	160,000	1,100	39.3	
130	NAC URIAS SALTO	7.30	0.00	47.00	20.00	346.00	0.08	0.35	2.00	7.83	12,000	5.2	42.2	
20	NACIMIENTO 2 URIAS	7.70	0.40	94.00	50.00	319.00	0.08	0.32	61.00	3.14	242,000	7,300	7.4	
100														

	DATOS CU		ARTO MUESTREO DE USOS DE LA TIERRA SETIEMBRE	STREO	DE USOS	DELATI	ERRA	SETIEM	3RE			
								*				
			ml/litro	iii	miligramos/litro	itro	%	ds/m	Unf	mdd	l/seg	
No.	Identificación	Hd	S.S.	.o.o.a	D.B.O. <sub>5</sub>	S.T.D.	S.T.	ы С	Turbidez	<sub>E</sub> O <sub>N</sub>	Caudal	
	VOLCAN GANAD 2	7.60	0.10	57.00	5.00	148.00	0.00	0.15	10.00	5.79	0.33	cafetal
Ø	VOLCAN ESCALERA	7.80	0.05	64.00	10.00	149.00	0.04	0.15	9.00	5.42	5.40	
က	MONTE MARIA	7.50	0.40	70.00	10.00	177.00	0.04	0.18	7.00	7.00	1.00	
4	SABANA G(CUNSUR)	6.80	0.20	94.00	2.00	469.00	0.04	0.47	12.00	3.53	10.00	
വ	SABANA G BERR	6.80	0.10	00'69	5.00	341.00	0.04	0.34	0.00	3.58	3.60	e na.
9	SILECIA ANEXO SJ	7.30	0.10	45.00	10.00	179.00	0.04	0.18	3.00	0.01	24.30	
7	SILECIA CATUAI	7.50	0.10	39.00	10.00	150.00	0.00	0.15	7.00	0.01	57.80	The property of the state of th
8	ENTRADA CHORERA	7.50	1.20	53.00		135,00	* 0:04 <sup>2</sup>	0:13	16.00	∂ 0.23	1.82	posdne
6	CHORRERA	7:30	1.50	149:00	45.00	239.00	0:08	0.24	157.00	7.94	5.80	
101	10 DEBAJO CHORRERA	7.60	1.20	218:00	. 20:00	1,75.00	0.04	0.17	369:00	2.97	77.50	
Ŧ	BALSNLOBENZO	7.20	00:0	38:00	. 50:00	145.00	0.04	0.14	0:00:	ે 1.68	1.50	
12	RIORAMUCHAT	7.40	0:30	29.00		212:00	0.04	#0;24 as	6:00	>-0.01	1.00	
er.	SEECIAMONTANITA	7.70	0.10	22:00	20:00	139:00	0:04	0.14	3.00	0.01	7.00	
47	STA CATARINA ARRIBA	8:10	0.20	48,00	10:00	211.00	0.04	0.24:	6.00	0.01	12.86	
15	VOLCAN PALINES	7.70	0.10	43.00	5.00	142.00	0.00	0.14	6.00	4.82	82.10	anuales
16	SILECA (TOLVITA)	8.10	0:30	86.00	10.00	231.00	0.00	0.23	30.00	0.01	24.40	
17	STA CATARINA ABAJO	8.20	0.05	77.00	10.00	199.00	0.04	0.20	6.00	0.01	45.00	
18	CHIPACAY	7.20	5.00	786.00	20.00	136.00	0.16	0.14	342.00	2.47	114.00	
19	NAC URIAS SALTO	7.00	0.00	22.00	45.00	347.00	0.04	0.35	0.00	1.05	108.30	
20	NACIMIENTO 2 URIAS	2.00	0.80	35.00	5.00	309.00	0.04	0.31	29.00	3.92	14.10	
						100	9.50					