

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

PROPUESTA DE VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO AMBIENTAL DE
CAPTACIÓN HÍDRICA DEL BOSQUE, MICROCUENCA DEL RÍO EL RIACHUELO,
MONTAÑA LAS GRANADILLAS, ZACAPA

TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

LUIS ALEJANDRO ARGUETA CERMEÑO

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

Guatemala, Agosto de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M.V. Luis Alfonso Leal Monterroso

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Dr.	Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr.	Alfredo Itzép Manuel
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr.	Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	Ing. Agr.	Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	M.E.P.U.	Elmer Antonio Álvarez Castillo
VOCAL QUINTO	P.M.P.	Miriam Eugenia Espinoza Padilla
SECRETARIO	Ing. Agr.	Pedro Peláez Reyes

Guatemala, agosto de 2005

**Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente**

Distinguidos miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el documento de graduación titulado:

**PROPUESTA DE VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO AMBIENTAL DE
CAPTACIÓN HÍDRICA DEL BOSQUE, MICROCUENCA DEL RÍO EL RIACHUELO,
MONTAÑA LAS GRANADILLAS, ZACAPA**

Presentado como requisito previo a optar el Título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Respetuosamente,

LUIS ALEJANDRO ARGUETA CERMEÑO

TESIS QUE DEDICO

A:

MI PADRE: **Oscar de Jesús Argueta Quiñonez**, por su amor, apoyo y confianza incondicionales hacia mi persona.

MI MADRE: **Raymunda Nineth Cermeño del Cid de Argueta**, por su amor, comprensión y apoyo en todo momento.

MI ABUELA: **Petrona del Cid y del Cid**, por su incomparable amor, que dios te bendiga y te guarde siempre.

A MIS ASESORES: **Ing. Agr. RNR. Werner Antonio Ovando e Ing. Agr. RNR. José Pablo Prado Córdova**, por su aporte y confianza en la realización de esta investigación.

MIS AMIGOS: Marvin, Elioth y Ramiro Pineda, Juan José Sosa, Geser Gonzáles, Gerson Quevedo, Marlon Gonzáles, Mónica García, Douglas González, Edwin Rojas, Juan Manuel Ortiz, Cesar Barrios, Víctor Miranda (Q.E.P.D.), Daniel Manzo, Álvaro Jiménez, José Godoy, Gilberto Murga, Juan Siquinajay, Axel Tayler, Fernando Pozuelos, Víctor Veliz, Clinton Pineda, Danilo Juárez, Holger Pop, Andrés Iboy, Oscar Flores, Marileth Riveiro, Gabriela Palma, Luis Quezada, Mynor y Ana Luisa Berganza, Amner Gonzáles, Edgar Sánchez, Carlos Escobar, Juan José Toledo, Luis, Nidia y Vilmar Carrillo.

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Padre eterno, fuente de sabiduría y luz de esperanza.

MIS PADRES: **Oscar de Jesús Argueta Quiñonez y Raymunda Nineth Cermeño de Argueta**, por haberme enseñado el camino a seguir, por sus sacrificios para permitirme estudiar, los amo.

MIS ABUELOS: **Oscar Argueta (Q.E.P.D.), Holga de Argueta (Q.E.P.D.), Alberto Cermeño (Q.E.P.D.)** y en especial a **Petrona del Cid y del Cid**, te quiero mucho abuelita.

MIS HERMANOS: **Oscar Ernesto, Evelin Nineth y Flor de María Argueta Cermeño**, gracias por su apoyo, los quiero.

MIS PADRINOS: **Ing. Agr. Luis Alfredo Chacón Chacón, Ing. Agr. Alexander Neftalí Barahona Hernández y Lic. Luis Aroldo García Porras**, por su apoyo y confianza hacia mi persona.

La familia **Pineda Gómez**, en especial a don **Ramiro Pineda y Concepción Gómez de Pineda**, por quienes guardo un gran respeto y cariño, que Dios les Bendiga siempre.

Don **Sergio Pineda**, por brindarme su amistad, consejos y apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios, por darme salud y energía, por ser el único camino a seguir.

Mi familia en general.

Mis catedráticos, en especial al **Ing. Agr. Mario Alberto Méndez**, por compartir sus conocimientos y por la confianza depositada en mí.

El INAB, en especial a la Subregión III-2 y muy especialmente a mis amigos y compañeros: Edgar Márquez, Augusto García, Mynor Pérez, Francisco Chacón, Mauricio Aguirre, Leonel Miranda, Edgar Rodríguez, Manuel Tobal, Carlos Aldana, Byron García, Ernesto Bran, William Ruano, Sara Paiz, Damaris Morales, David Ruíz, Pedro Celada, Marvin Figueroa, Víctor Godoy, Mynor Paz, Mervin Martínez.

Mis amigos Morgan Bojórquez, Axel Calderón, Gustavo Acevedo, Byron Paz, José María Duarte, José María Perdomo, Elías Vargas, Vicente Franco, Oscar Ramírez y Manuel Palacios, por brindarme su amistad.

La familia Sánchez Franco por su confianza, en especial a María Elena, te amo.

El Centro de Educación Media Agropecuaria del Sur Oriente, CEMAS, por haberme iniciado en esta digna profesión.

Todas aquellas personas que directa e indirectamente influyeron en mi formación y en la elaboración de esta investigación.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE CUADROS	VI
RESUMEN	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	4
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1 Marco conceptual	6
3.1.1 ¿Qué es el agua?	6
3.1.2 ¿Para qué utilizamos el agua?	6
3.1.3 ¿Cuánta agua utiliza una persona cada día?	7
3.1.4 Importancia del agua	10
3.1.5 Los recursos de agua	11
3.1.6 El ciclo hidrológico	12
3.1.7 Erosión y sedimentación	18
3.1.8 Definición de bosques nubosos	18
3.1.9 El papel de los bosques nubosos en el ciclo hidrológico	19
3.1.10 Cuenca	20
3.1.11 Zona de recarga hídrica	20
3.1.12 Infiltración	20
3.1.13 Percolación	20
3.1.14 Análisis del paisaje	21
3.1.15 Suelo	21
3.1.16 Pendiente	21
3.1.17 Capacidad de uso de la tierra	21
3.1.18 Categorías de capacidad de uso	22
3.1.18.1 Agricultura sin limitaciones (A)	22
3.1.18.2 Agricultura con mejoras (Am)	22
3.1.18.3 Agroforestería con cultivos anuales (Aa)	22
3.1.18.4 Sistemas silvopastoriles (Ss)	23
3.1.18.5 Agroforestería con cultivos permanentes (Ap)	23
3.1.18.6 Tierras forestales para producción (F)	23
3.1.18.7 Tierras forestales de protección (Fp)	23
3.1.19 Clasificación de tierras por capacidad de uso	24
3.1.20 Pedregosidad	24
3.1.21 Profundidad efectiva del suelo	24
3.1.22 Sobreuso de la tierra	24
3.1.23 Uso correcto	24

3.1.24	Forestación / Reforestación	25
3.1.25	Deforestación	25
3.1.26	Bosque	25
3.1.27	Otras tierras arboladas	26
3.1.28	Inventario forestal	26
3.1.29	Economía ambiental	26
3.1.29.1	Los recursos naturales y la economía del medio ambiente	27
3.1.29.2	Recursos apropiables e inapropiables	29
3.1.29.3	Recursos renovables y no renovables	30
3.1.30	Servicios ambientales	32
3.1.31	Métodos de valoración	32
3.1.31.1	Valoración usando precios de mercado	34
3.1.31.2	Valoración usando el enfoque de mercados indirectos	34
3.1.31.3	Método del costo de viaje	35
3.1.31.4	Valoración usando el enfoque de la función de producción	35
3.1.31.5	Valoración basada en costos	36
3.1.31.6	Costo de reposición	37
3.1.31.7	Costo de prevención	37
3.1.31.8	Costo de oportunidad	37
3.1.31.9	Enfoques de preferencia manifiesta	39
3.1.31.10	Externalidad	40
3.1.31.11	Pago de servicio ambiental como externalidad positiva	41
3.1.32	Reflexiones sobre el desarrollo y el ambiente	42
3.1.33	Marco legal del agua en Guatemala	43
3.2	Marco referencial	45
3.2.1	Ubicación del área de trabajo	45
3.2.2	Vías de acceso	45
3.2.3	Descripción general del área de estudio	45
3.2.4	Colindancias	46
3.2.5	Características del área	46
3.2.6	Región fisiográfica	46
3.2.7	Tierras metamórficas	47
3.2.8	Experiencias replicables del pago de servicios ambientales del recurso agua	48
4.	OBJETIVOS	53
4.1	General	53
4.2	Específicos	53
5.	METODOLOGÍA	54
5.1	Información básica	54
5.1.1	Región natural	54
5.1.2	Región político-administrativa a la que pertenece la cuenca	54
5.1.3	Sitio de drenaje de la cuenca	54
5.1.4	Rangos de altura de la cuenca	54

5.1.5	Clima	54
5.1.6	Información socioeconómica	55
5.1.6.1	Demografía	55
5.2	Estudio de capacidad de uso de la tierra (ECUT)	55
5.2.1	Elaboración del mapa de unidades fisiográficas	56
5.2.2	Elaboración del mapa de pendientes	56
5.2.3	Fase de Campo	57
5.2.3.1	Verificación de los límites de las unidades de mapeo	57
5.2.3.2	Determinación de profundidades de suelos y factores modificadores	57
5.2.3.3	Chequeo del mapa de pendientes	57
5.2.4	Segunda fase de gabinete	58
5.2.4.1	Integración del mapa de unidades de tierra	58
5.2.4.2	Elaboración del mapa de capacidad de uso	58
5.3	Determinación de caudal	58
5.4	Inventario forestal	59
5.5	Determinación del valor económico	60
5.5.1	El precio de la madera	60
5.5.2	Costos e ingresos de ganadería	61
5.5.3	Métodos y técnicas de valoración económica	61
5.5.3.1	Costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque	61
5.5.3.2	Costos e ingresos de protección del bosque	63
5.5.3.3	Cálculo del precio de la unidad de agua	64
5.6	Implementación del sistema de pago por servicios ambientales	66
6.	RESULTADOS	69
6.1	Características del recurso suelo	69
6.1.1	Uso actual del suelo	69
6.1.2	Uso potencial del suelo	71
6.2	Características del recurso agua	72
6.2.1	Calidad del agua	72
6.2.2	Cantidad de agua	72
6.2.3	Proceso administrativo del agua	74
6.2.4	Problemática	75
6.3	Características del recurso bosque	77
6.3.1	Extensión, localización y distribución del bosque en la cuenca	77
6.3.2	Situación actual y volumen del bosque	78
6.4	Método de Valoración	79
6.4.1	Costo de oportunidad	79
6.4.1.1	Protección del bosque	80
6.4.1.2	Ingresos	80

6.4.1.3 Costos	82
6.4.2 Cálculo del valor del servicio ambiental de captación hídrica del bosque	83
6.4.3 Cálculo del valor de la tarifa de agua municipal	83
6.4.4 Aspectos importantes de la tarifa de agua	84
7. CONCLUSIONES	86
8. RECOMENDACIONES	88
9. BIBLIOGRAFÍA	90
10. ANEXOS	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	El ciclo del agua	13
Figura 2.	Uso actual de la tierra, microcuenca del Riachuelo	70
Figura 3.	Capacidad de uso, microcuenca del Riachuelo	71
Figura 4.	Caudal del Riachuelo en el punto de aforo	73
Figura 5.	Caudal en la planta de tratamiento de agua municipal	74
Figura 6.	Tipos de bosque en hectárea, microcuenca del Riachuelo	77
Figura 7.	Volumen por estrato de bosque, microcuenca del Riachuelo	78
Figura 8.	Ingresos del sistema, microcuenca del Riachuelo	81
Figura 9.	Costos del sistema, microcuenca del Riachuelo	82
Figura 10 A.	Climadiagrama de la estación meteorológica La Unión, Zacapa, INSIVUMEH	99
Figura 11 A.	Curva de caudales del río El Riachuelo	100
Figura 12 A.	Mapa de ubicación, microcuenca del Riachuelo	101
Figura 13 A.	Mapa de curvas de nivel, microcuenca del Riachuelo	102
Figura 14 A.	Mapa de corrientes, microcuenca del Riachuelo	103
Figura 15 A.	Mapa de capacidad de uso de la tierra, microcuenca del Riachuelo	104
Figura 16 A.	Mapa de uso actual de la tierra, microcuenca del Riachuelo	105

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Análisis de los 6 mitos de los bosques	19
Cuadro 2.	Clasificación de los recursos	31
Cuadro 3.	Métodos de estimación de valores económicos	33
Cuadro 4.	Características generales del área	48
Cuadro 5.	Tipos de bosque en la microcuenca del Riachuelo	60
Cuadro 6.	Valor de la madera en pie (Q/m^3)	60
Cuadro 7.	Uso actual de la tierra, microcuenca del riachuelo	69
Cuadro 8 A.	Estudio de capacidad de uso de la tierra	93
Cuadro 9 A.	Propiedades microbiológicas de las muestras de agua del Riachuelo	96
Cuadro 10 A.	Propiedades físicas de las muestras de agua del Riachuelo	97
Cuadro 11 A.	Límites COGUANOR permisibles	98

**PROPUESTA DE VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO AMBIENTAL DE
CAPTACIÓN HÍDRICA DEL BOSQUE, MICROCUENCA DEL RÍO EL
RIACHUELO, MONTAÑA LAS GRANADILLAS, ZACAPA**

**PROPOSAL OF ECONOMIC VALUATION OF THE ENVIRONMENTAL SERVICE
OF FOREST HYDROLOGICAL CATCHMENT, MICRO BASIN OF THE RIVER EL
RIACHUELO, MOUNTAIN THE GRANADILLAS, ZACAPA**

RESUMEN

El servicio ambiental con mayor demanda en Guatemala es el de regulación hídrica, sobre todo en regiones semi áridas, como el caso de la microcuenca del río El Riachuelo; un área sin manejo, con graves problemas de uso irracional del recurso bosque, poco reconocimiento del servicio ambiental que presta por parte de los beneficiarios y autoridades zacapanecas, y la principal fuente de abastecimiento de agua para la Cabecera Departamental de Zacapa.

Tomando en cuenta la creciente demanda del servicio de agua potable en la cabecera, la tarifa municipal por canon de agua, la falta de proyectos y programas de desarrollo integral para la parte alta de Zacapa, la estrecha relación entre el recurso bosque-suelo-agua y las consecuencias de su ruptura, se hace necesario establecer las reglas para que los beneficios del servicio ambiental de captación hídrica de los bosques sean reconocidos y valorados como una estrategia para su conservación y el uso racional del servicio.

A través de la valoración económica del servicio ambiental de captación hídrica que presta el bosque de la microcuenca, se procedió a calcular el valor del servicio de regulación hídrica por unidad de agua, a partir de su costo de oportunidad (introducción de ganadería), el cual asciende a los US \$ 0.03 por m³ (Q 0.24), y el valor económico de la tarifa municipal por servicio ambiental

de abastecimiento de agua de US \$ 0.12 por m³, que corresponde a un valor de Q 28.8 por media paja de agua.

A través de estos resultados se pueden definir los valores que permitan un financiamiento a largo plazo de programas para la recuperación y conservación de estas áreas y de esta forma garantizar la continuidad del abastecimiento de agua potable a la población zacapaneca mediante la implementación de un sistema de pago por servicios ambientales con la condicionante de que el beneficiario del servicio ambiental de agua pague y el que conserve gane.

1. INTRODUCCIÓN

Los productos que ofrece la naturaleza, como lo son el agua, el aire, la captura de carbono, el paisaje y el espacio, por nombrar algunos, usualmente se han subestimado. Un ejemplo de ello, es el hecho de que la mayoría de los proyectos de desarrollo, como los sistemas de agua potable, no contemplan dentro de sus costos el valor del agua y su regeneración. Únicamente se calculan los costos de las obras de ingeniería necesarias para su funcionamiento, ignorando la conservación de las cuencas o el tratamiento de las aguas servidas. La valoración de los servicios ambientales que prestan los bosques es una alternativa para garantizar su conservación, a través de la asignación de un valor económico a un servicio, por medio de lo cual se busca eliminar la idea de que los bosques son únicamente fuente de abastecimiento de madera y leña para el ser humano.

El agua es reconocida como uno de los recursos naturales renovables que más conflictos de uso genera. Dichos conflictos se acentúan en las tierras con aptitud preferentemente forestal, por ejemplo, en áreas con altas pendientes, en cabeceras de cuenca, sitios próximos a nacimientos, riberas de ríos y otros cuerpos de agua; donde la cobertura forestal es un elemento crítico para la regulación del ciclo hidrológico, lo cual incluye, mantener la productividad del suelo, garantizar una alta calidad del agua, la sostenibilidad del caudal a lo largo del año y la reducción de la ocurrencia de desastres naturales. En síntesis, el recurso suelo y agua son directamente afectados, en diferentes intensidades de acuerdo al manejo forestal. Sin embargo, existe muy poco reconocimiento de la población y autoridades de la necesidad de invertir en la conservación de los ecosistemas que proveen este vital servicio, como es el caso de la montaña Las Granadillas en el municipio de Zacapa, la cual, no sólo es la principal zona productora de agua para dicho municipio, sino también, para varias comunidades aledañas a la misma. De allí, la importancia de

valorar los recursos. La cuantificación de beneficios y costos ilustra la importancia social de los ecosistemas. Este tipo de información permite generar el interés de los tomadores de decisiones del sector público y/o privado. El análisis de costos y beneficios amplía el debate para analizar las alternativas que tiene la sociedad en cuanto a sus recursos. La degradación o pérdida de recursos ambientales constituye un problema económico porque trae aparejada la desaparición de valores importantes, a veces de forma irreversible. Cada alternativa o camino susceptible de seguirse respecto de un recurso ambiental –conservarlo en su estado natural, dejar que se degrade o convertirlo para destinarlo a otro uso- redundan en pérdidas o ganancias de valores. Sólo se puede decidir cómo usar un recurso ambiental determinado y, en definitiva, si los índices actuales de destrucción del mismo son excesivos, si estas ganancias y pérdidas se analizan y evalúan correctamente. Esto plantea la necesidad de analizar detenidamente todos los valores susceptibles de ganarse o perderse destinando el recurso a los distintos usos que admita.

Al darle un valor económico a los servicios ambientales, con la condicionante de que el que “contamine pague y el que conserve gane”, se establecen los castigos e incentivos para conservar el entorno natural.

La valoración económica es un paso más allá que se requiere para interiorizar las externalidades que generan actividades tales como la deforestación, quema, caza, contaminación indiscriminada, etc. De la cuantificación física de procesos naturales, parte la valoración económica cuyos resultados permiten generar herramientas para definir políticas públicas. Existen ejemplos en países latinoamericanos donde la creación de tasas ambientales ha podido reducir efectivamente la contaminación o inducir acciones conservacionistas. Al contar con una valoración económica, se pueden definir valores como: tasas, impuestos, aportes voluntarios, fondos, etc., que permitan un financiamiento a largo plazo de estos planes. Sin embargo, la valoración económica

representa sólo una de las variables que intervienen en la toma de decisiones, juntamente con otras consideraciones importantes.

Este estudio pretende reflexionar sobre la importancia de los recursos naturales, especialmente el recurso hídrico, y hacer una invitación a analizar mecanismos económicos que los valoricen. Su utilidad estará dada en la medida en que la información generada pueda ser institucionalizada y sirva de fundamento para la ejecución de programas de servicios ambientales; ayudar a los planificadores y tomadores de decisiones a conseguir que la valoración económica contribuya en mayor grado a la toma de decisiones.

La conservación de los recursos naturales de los ecosistemas plantea un deber moral, más que una cuestión de eficiencia o asignación equitativa.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El crecimiento de la población, el incremento en la actividad económica y la mejor calidad de vida llevan a conflictos y a una creciente competencia por los recursos limitados de agua dulce. Una combinación de inequidad social, marginalidad económica y una carencia de programas de superación de la pobreza, también obliga a las personas que viven en la extrema pobreza a sobre explotar las tierras y los recursos forestales, lo que habitualmente resulta en impactos negativos sobre los recursos de agua. Los problemas se agravan debido a deficiencias en el manejo del agua. Los enfoques sectoriales al manejo de los recursos de agua han dominado y siguen prevaleciendo. Esto conlleva a un manejo y desarrollo descoordinado y fragmentado del recurso.

Los ecosistemas terrestres en las áreas aguas arriba de una cuenca son importantes para la filtración de las aguas de lluvia, recarga de aguas subterráneas y regímenes de flujos de ríos. Los ecosistemas forestales producen una variada gama de beneficios económicos, incluyendo aquellos productos como la madera, madera combustible y plantas medicinales, y también proveen hábitats para la vida salvaje y terrenos para su reproducción. Los ecosistemas dependen de los flujos de agua, la estacionalidad, las fluctuaciones en los niveles de agua y tienen la calidad de agua como factor determinante. Toda el agua para el uso humano proviene de las precipitaciones, las cuales varían inmensamente a través del tiempo y el espacio. Las variaciones en los flujos de agua y las recargas en las aguas subterráneas originarias, tanto del clima como del mal manejo de las tierras, se pueden sumar a eventos como las inundaciones y sequías, los cuales traen consecuencias catastróficas en términos de pérdidas de vidas humanas y al daño a los sistemas económicos, sociales y medioambientales.

La preocupación de la sociedad es fundamental, para movilizar el apoyo efectivo para el manejo sustentable de los ecosistemas e inducir los cambios en las conductas y acciones requeridas para llevarlos a cabo.

Frecuentemente las sociedades no reconocen los servicios ambientales que prestan los bosques, lo que contribuye a su pérdida y degradación. En Guatemala, la microcuenca del río El Riachuelo se encuentra sometida a una gran presión por parte de los pobladores del área, a través del aprovechamiento irracional del recurso bosque, así como la demanda de tierras para cultivo, esto aunado a la falta de atención por parte de las autoridades y la población zacapaneca, lo que ha ocasionado que el área se esté deteriorando a un ritmo acelerado, poniendo en riesgo el abastecimiento del vital líquido para la Cabecera Departamental de Zacapa.

La creciente población zacapaneca está demandando mayor y mejor abastecimiento de agua potable, por lo que el problema de satisfacer esta demanda se incrementa constantemente y las soluciones al mismo no son alentadoras ni con visión a futuro (perforación de pozos). Por lo que se necesita buscar soluciones tanto para el abastecimiento del vital líquido así como para la conservación y recuperación de las áreas de captación hídrica.

La asignación de un valor económico al servicio ambiental de captación hídrica que presta el bosque de la microcuenca del Río El Riachuelo, es una alternativa para el fomento de su conservación y recuperación, además de ser una herramienta para la formulación de políticas de compensación y formulación de un programa de pago por servicios ambientales.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Marco conceptual

3.1.1 ¿Qué es el agua?

El agua es una sustancia muy importante, una gran parte del cuerpo de un organismo está formado por agua. Dentro del cuerpo de un ser humano hay un esqueleto, que hace nuestro cuerpo sólido y se cerciora de que nosotros podamos sostenernos en pie sin desplomarnos. El agua es también una clase de esqueleto. Consiste en partículas minúsculas, los átomos. Justo como todas otras sustancias en la tierra. Uno de estos átomos se llama hidrógeno y el otro se llama oxígeno. Una partícula de agua es llamada molécula, cuando muchas moléculas de agua se derriten podemos ver esa agua, beberla o usarla por ejemplo para tirar de la cisterna (CATIE 2004).

3.1.2 ¿Para qué utilizamos el agua?

Utilizamos cantidades grandes de agua cada día, pues el agua responde a muchos propósitos diferentes. Utilizamos el agua para beber, lavar utensilios, tomar una ducha, para tirar de la cisterna en el servicio, para cocinar y para muchos otros propósitos (CATIE 2004).

Pero el agua se utiliza no solamente para los propósitos domésticos, los seres humanos también utilizan el agua en las industrias y en la agricultura. En la agricultura el agua se utiliza principalmente para regar cosechas, pero en las industrias responde a diversos propósitos (CATIE 2004).

3.1.3 ¿Cuánta agua utiliza una persona cada día?

Es difícil estimar la cantidad de agua que se necesita para mantener estándares de vida aceptables o mínimos. Además, las diferentes fuentes de información emplean diferentes cifras para el consumo total de agua y para el uso del agua por sector de la economía (Marcano 2003).

En general se considera que un volumen de 20 a 40 litros de agua dulce por persona por día es el mínimo necesario para satisfacer las necesidades de beber y saneamiento solamente, según Peter Gleick, citado por Marcano (2003). Si también se incluye el agua para bañarse y cocinar, esta cifra varía entre 27 y 200 litros per cápita por día (Marcano 2003).

Se han propuesto varias cantidades distintas como estándares mínimos. Gleick, citado por Marcano (2003), propone que las organizaciones internacionales y los proveedores de agua adopten "un requerimiento general básico de 50 litros por persona y día" como estándar mínimo para satisfacer cuatro necesidades básicas: para beber, saneamiento, bañarse y cocinar. En 1990 55 países con una población cercana a los 1.000 millones de habitantes no satisfacían este estándar como promedio nacional. Falkenmark, citado por Marcano (2003), considera que la cifra de 100 litros de agua dulce per cápita por día para uso personal es una estimación aproximada de la cantidad necesaria para un estándar de vida mínimamente aceptable en los países en desarrollo, sin incluir los usos para la agricultura y la industria.

La cantidad de agua que las personas realmente utilizan en un país depende no sólo de las necesidades mínimas y de cuánta agua se dispone para el uso, sino también del nivel de desarrollo económico y del grado de urbanización. Mundialmente, de las tres categorías corrientes del uso de agua dulce —para la agricultura, la industria y el uso doméstico (personal, familiar y

municipal)— la agricultura es la que domina. En el plano mundial, la agricultura representa un 69% de todas las extracciones anuales de agua; la industria, un 23%, y el uso doméstico, un 8% (Marcano 2003).

El nivel de desarrollo económico de un país se refleja —además de ser una forma clave de medir el mismo— en el volumen de agua dulce que éste consume. La gente de aquellas regiones del mundo en desarrollo usa mucha menos agua per cápita que en regiones desarrolladas. En África, la extracción de agua anual per cápita para uso personal tiene un promedio de 17 metros cúbicos solamente (igual a 47 litros de agua por día), y en Asia, 31 metros cúbicos (igual a 87 litros por día). Por contraste, se estima que un uso comparable de agua en el Reino Unido sería de 122 metros cúbicos por año (334 litros por día), y en los Estados Unidos, 211 metros cúbicos por año (578 litros por día) (Marcano 2003).

En todo el mundo la demanda de agua dulce per cápita se está elevando considerablemente a medida que los países se desarrollan económicamente. La extracción de agua ha aumentado en las tres categorías principales del uso —para satisfacer la creciente demanda industrial, la creciente demanda doméstica, incluidos los servicios municipales, y la creciente dependencia del riego para la producción de alimentos. El nivel de uso del agua también pone de manifiesto el nivel de urbanización de un país. El bajo uso doméstico actual en muchos países en desarrollo a menudo refleja lo difícil que es obtener agua dulce. Los sistemas de agua por tubería son raros en las zonas rurales. Dos tercios de la población mundial, en su mayor parte en los países en desarrollo, obtienen el agua en fuentes públicas, pozos comunales, ríos y lagos, o el agua de lluvia recogida de los techos. Con frecuencia, la población rural —generalmente mujeres y niñas— deben caminar varios kilómetros y pasar muchas horas yendo a buscar agua para la familia. En

África, por ejemplo, las mujeres y niñas pasan 40.000 millones horas-persona por año acarreado agua (Marcano 2003).

A medida que el mundo se vuelve predominantemente urbano y la agricultura depende cada vez más del riego, será difícil para las ciudades satisfacer la demanda creciente de agua. En los países en desarrollo el rápido crecimiento urbano suele ejercer tremenda presión en los sistemas de abastecimiento de agua anticuados e inadecuados. Entre 1950 y 1980, por ejemplo, se triplicó e incluso se cuadruplicó la población de muchas ciudades de América Latina, como Bogotá, México, D.F., Sao Paulo y Managua (Marcano 2003).

Usos y consumo de agua:

Eliminado:

- Al lavarnos las manos gastamos 3 litros
- Al lavarnos los dientes 7 litros
- Algunos inodoros descargan 15 litros
- En la ducha 50 litros
- En un baño 200 litros
- La lavadora consume 100 litros
- El goteo de un grifo en un día 30 litros
- Una filtración de sólo 120 gotas por minuto puede acumular una pérdida de 1000 litros al mes
- Un chorro fino de un grifo en un día 300 litros

Los americanos utilizan un promedio de 168 litros por persona cada día. Para los holandeses la cifra esta cerca de los 135 litros. Esta agua se utiliza para diversos propósitos (CATIE 2004).

3.1.4 Importancia del agua

El agua es uno de los bienes fundamentales para la supervivencia humana y de otras especies, que nos prestan los ecosistemas naturales. Las cuencas hidrográficas, los bosques, humedales y glaciares ofrecen servicios hidrológicos que garantizan la calidad y cantidad de éste bien. Sin embargo, la capacidad hidrológica de cualquier ecosistema es variable y responde a particularidades propias y locales, entre ellas: pendiente, precipitación total y distribución, tipos de suelos, posición de las actividades y bosques, escala y tamaño de la cuenca y geología de la misma (Echeverría, citado por Hernández 2001).

La vida en la Tierra ha dependido siempre del agua. Las investigaciones han revelado que la vida se originó en el agua, y que los grupos zoológicos que han evolucionado hacia una existencia terrestre, siguen manteniendo dentro de ellos su propio medio acuático, encerrado, y protegido contra la evaporación excesiva. El agua constituye más del 80% del cuerpo de la mayoría de los organismos, e interviene en la mayor parte de los procesos metabólicos que se realizan en los seres vivos. Desempeña de forma especial un importante papel en la fotosíntesis de las plantas y, además, sirve de hábitat a una gran parte de los organismos. Dada la importancia del agua para la vida de todos los seres vivos, y debido al aumento de las necesidades de ella por el continuo desarrollo de la humanidad, el hombre está en la obligación de proteger este recurso y evitar toda influencia nociva sobre las fuentes del preciado líquido (Marcano 2003).

Es una práctica acostumbrada el ubicar industrias y asentamientos humanos a la orilla de las corrientes de agua, para utilizar dicho líquido y, al mismo tiempo, verter los residuos del proceso industrial y de la actividad humana. Esto trae como consecuencia la contaminación de las fuentes de agua y, por consiguiente, la pérdida de grandes volúmenes de este recurso. Actualmente,

muchos países que se preocupan por la conservación, prohíben esta práctica y exigen el tratamiento de los residuos hasta llevarlos a medidas admisibles para la salud humana. Es un deber de todos cuidar nuestros recursos hidrológicos, así como crear la conciencia de que el agua es uno de los recursos más preciados de la naturaleza, por el papel que desempeña en la vida de todos los seres vivos (Marcano 2003).

3.1.5 Los recursos de agua

Pese a una aparente abundancia, el agua dulce, habida cuenta del crecimiento de las necesidades humanas, es relativamente rara en la biosfera. A diferencia de muchos otros problemas de recursos que no llegarán a ser cruciales más que en un futuro más o menos lejano, el del agua dulce es actual. La mayor parte de los países industrializados sufren ya una grave penuria, incluso aquellos que *a priori* parecen mejor provistos de dicho elemento (Marcano 2003).

Si tenemos en cuenta el incesante aumento de las necesidades de agua en la civilización contemporánea, en particular los enormes volúmenes consumidos por las naciones de gran expansión industrial; si no olvidamos las grandes cantidades de agua necesarias en la agricultura no solamente en los países desarrollados sino también en los en desarrollo cuya galopante demografía empuja a una explotación de tierras semiáridas con ayuda de la irrigación, se llega a la conclusión de que el agua es ya escasa en no pocas regiones del mundo. Figura en el primer plano de los recursos naturales susceptibles de faltar a la humanidad en un futuro próximo. Desgraciadamente, la mala gestión, e incluso el despilfarro, de los recursos de agua son hoy, por el contrario, la regla en los países industrializados. La contaminación accidental, o por negligencia, de las capas freáticas más profundas compromete el porvenir de nuestras reservas hídricas e impedirá su utilización cuando se ponga de manifiesto su necesidad. En fin, las existencias de

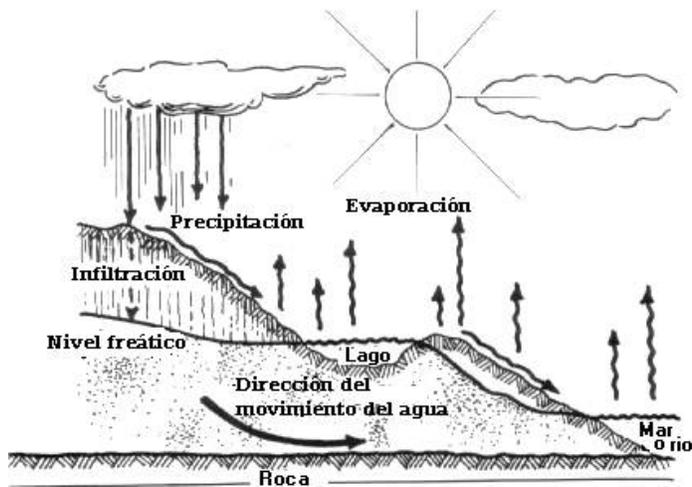
agua están igualmente limitadas por las exigencias de los consumidores, quienes acrecientan su empleo por la elevación del nivel de vida. Este fenómeno es tanto más notable en nuestros días cuanto que los habitantes de los países occidentales exigen de las aguas un grado de pureza que curiosamente no exigen en el aire que respiran (Marcano 2003).

Si examinamos ahora, no los volúmenes de agua dulce disponible, sino su distribución geográfica, se constata que ese elemento es no solamente bastante escaso en la biosfera sino que además se halla muy mal distribuido en la superficie de las tierras emergidas. Así, en más de la mitad de los continentes, el agua dulce existe en cantidades insuficientes o bajo una forma inutilizable para los fines agrícolas o industriales (Marcano 2003).

3.1.6 El ciclo hidrológico

Se pudiera admitir que la cantidad total de agua que existe en la Tierra, en sus tres fases: sólida, líquida y gaseosa, se ha mantenido constante desde la aparición de la Humanidad. El agua de la Tierra - que constituye la **hidrosfera** - se distribuye en tres reservorios principales: los océanos, los continentes y la atmósfera, entre los cuales existe una circulación continua - el **ciclo del agua** o **ciclo hidrológico**. El movimiento del agua en el ciclo hidrológico es mantenido por la energía radiante del sol y por la fuerza de la gravedad (Marcano 2003).

El ciclo hidrológico se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida. La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la **evaporación** directa, a la **transpiración** por las plantas y animales y por **sublimación** (paso directo del agua sólida a vapor de agua) (Marcano 2003).



Fuente: Marcano (2003).

Figura 1. El ciclo del agua.

La cantidad de agua movida, dentro del ciclo hidrológico, por el fenómeno de sublimación es insignificante en relación a las cantidades movidas por evaporación y por transpiración, cuyo proceso conjunto se denomina **evapotranspiración** (Marcano 2003).

El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar 1,000 Km. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, a precipitación. La precipitación puede ocurrir en la fase líquida (*lluvia*) o en la fase sólida (*nieve* o *granizo*). El agua precipitada en la fase sólida se presenta con una estructura cristalina, en el caso de la nieve, y con estructura granular, regular en capas, en el caso del granizo. La precipitación también incluye el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua (**rocío**) o por congelación del vapor

(*helada*) y por intercepción de las gotas de agua de las nieblas (nubes que tocan el suelo o el mar) (Marcano 2003).

El agua que precipita en tierra puede tener varios destinos. Una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte escurre por la superficie del terreno, escorrentía superficial, que se concentra en surcos y va a originar las líneas de agua. El agua restante se infiltra, esto es penetra en el interior del suelo; esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas. Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo van a alimentar los cursos de agua que desaguan en lagos y en océanos (Marcano 2003).

La escorrentía superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de haber terminado la precipitación. Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, especialmente cuando se da a través de medios porosos, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen. Así, los cursos de agua alimentados por capas freáticas presentan unos caudales más regulares (Marcano 2003).

Como se dijo arriba, los procesos del ciclo hidrológico decurren en la atmósfera y en la superficie terrestre por lo que se puede admitir dividir el ciclo del agua en dos ramas: aérea y terrestre (Marcano 2003).

El agua que precipita sobre los suelos va a repartirse, a su vez, en tres grupos: una que es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración y dos que producen escurrimiento superficial y subterráneo. Esta división está condicionada por varios factores, unos de orden climático y otros

dependientes de las características físicas del lugar donde ocurre la precipitación. Así, la precipitación, al encontrar una zona impermeable, origina escurrimiento superficial y la evaporación directa del agua que se acumula y queda en la superficie. Si ocurre en un suelo permeable, poco espeso y localizado sobre una formación geológica impermeable, se produce entonces escurrimiento superficial, evaporación del agua que permanece en la superficie y aún evapotranspiración del agua que fue retenida por la cubierta vegetal. En ambos casos, no hay escurrimiento subterráneo; este ocurre en el caso de una formación geológica subyacente permeable y espesa (Marcano 2003).

La energía solar es la fuente de energía térmica necesaria para el paso del agua desde las fases líquida y sólida a la fase de vapor, y también es el origen de las circulaciones atmosféricas que transportan el vapor de agua y mueven las nubes (Marcano 2003).

La fuerza de gravedad da lugar a la precipitación y al escurrimiento. El ciclo hidrológico es un agente modelador de la corteza terrestre debido a la erosión y al transporte y deposición de sedimentos por vía hidráulica. Condiciona la cobertura vegetal y, de una forma más general, la vida en la Tierra (Marcano 2003).

El ciclo hidrológico puede ser visto, en una escala planetaria, como un gigantesco sistema de destilación, extendido por todo el Planeta. El calentamiento de las regiones tropicales debido a la radiación solar provoca la evaporación continua del agua de los océanos, la cual es transportada bajo forma de vapor de agua por la circulación general de la atmósfera, a otras regiones. Durante la transferencia, parte del vapor de agua se condensa debido al enfriamiento y forma nubes que

originan la precipitación. El regreso a las regiones de origen resulta de la acción combinada del escurrimiento proveniente de los ríos y de las corrientes marinas (Marcano 2003).

De acuerdo a Solís, citado por Hernández (2001), el Ciclo Hidrológico es un proceso continuo en el que el agua es transportada de los océanos a la atmósfera, luego a la tierra y regresa al mar. El sol provee la energía necesaria para el proceso, al provocar la evaporación. La calidad del agua varía a lo largo del ciclo hidrológico. El agua marina salada se convierte en agua fresca al evaporarse y luego se altera gradualmente al entrar en contacto con el suelo, las capas subterráneas y otras masas de agua.

Con base en Lee (1980), el Ciclo Hidrológico, es un patrón general de circulación que comprende un complicado arreglo de movimientos y transformaciones del agua, siendo una secuencia hidrológica de eventos en los cuales los numerosos procesos individuales pueden ser interrelacionados y cuantificados; eventos que son iniciados como vapor de agua condensado en la atmósfera. Condensación es el proceso por el cual el vapor de agua es transformado a líquido o hielo con la liberación de energía, esto ocurre predominantemente en altos niveles en la atmósfera con la formación de nubes; precipitación es el término general para los productos de la condensación atmosférica que buscan la superficie. La precipitación líquida, primeramente llueve pero también la precipitación oculta (gotas de neblina que son interceptadas por el dosel del bosque). La precipitación sobre un bosque es agotada antes de que contacte el suelo mineral. La reducción total que subsecuentemente es evaporada, es llamada intercepción.

La intercepción del dosel es la fracción de precipitación que es retenida temporalmente por hojas, ramas, troncos, etc. Aquella que es eventualmente evaporada del material orgánico muerto en el

piso del bosque es llamada intercepción encamada. La precipitación sobre un dosel del bosque puede buscar el suelo forestal por cualquiera de dos rutas: por los tallos o que alcanza el piso directamente o por goteo de hojas y ramas y conducción por el tronco (Lee 1980).

La infiltración es el proceso por medio del cual el agua líquida entra al suelo mineral. La percolación es el movimiento de agua líquida a través de los poros del suelo y estratos geológicos, generalmente en forma descendente. El agua retenida temporalmente es almacenada. Evaporación es el proceso físico por el cual el agua líquida es convertida a vapor, esto ocurre cuando el agua está en contacto con una atmósfera insaturada. Transpiración es la evaporación de agua procedente de las superficies internas de órganos de las plantas y su subsecuente difusión desde la planta. Evaporación y transpiración son procesos de vaporación pero es difícil identificarlos cada uno por separado, la vaporización total es llamada evapotranspiración (Lee 1980).

Escurrimiento es un término general para descargas superficial y subsuperficial de agua de un sistema hidrológico (recarga); en hidrología forestal es inusualmente irrealístico igualar escorrentía con descarga de corrientes. La descarga superficial incluye la descarga de corrientes, flujo en canales y la escorrentía superficial no restringida a canales (Lee 1980).

La descarga subsuperficial puede ocurrir como percolación profunda o fuga en el estrato de roca. La escorrentía directa o flujo de tormenta es el incremento de la descarga distintiva por "flujo rápido" que resulta de un evento específico de lluvia o nieve. La parte de la descarga total no identificada como escorrentía directa es llamada flujo de base o flujo de almacenamiento (Lee 1980).

3.1.7 Erosión y sedimentación

En las cuencas hidrográficas, la pérdida de bosque es un problema que se agudiza a nivel mundial. Diversos esfuerzos se han orientado a la conservación de la cobertura forestal –y sus implicaciones positivas ecológicas -, pero no se ha logrado revertir el proceso de reducción del área boscosa. Esto tiene como consecuencia el incremento de la erosión, que se considera el peor enemigo de la sostenibilidad (Páez, citado por Hernández 2001).

Se pueden definir dos conceptos de erosión: *la erosión natural*, la mayoría de veces ocurre como una regla geológica, es la erosión de la tierra en su ambiente natural sin disturbio de las actividades humanas. Cuando se presentan disturbios de la cobertura por las actividades humanas como sobrepastoreo o sobreuso, remoción de la madera por corte o quema, daño de cobertura por laboreo, disturbios de las condiciones naturales, se denomina *erosión acelerada* (Chow, citado por Hernández 2001).

3.1.8 Definición de bosques nubosos

Los bosques nublados en el trópico húmedo se definen como: “Todos los bosques del trópico húmedo que frecuentemente están cubiertos por nubes o neblinas, recibiendo así adicionalmente a la lluvia, una cantidad de humedad por medio de captación y/o condensación de pequeñas gotitas de agua (precipitación horizontal), influyendo en el régimen hídrico y en el balance de ración y así en los demás parámetros climáticos, edáficos y ecológicos. Su límite inferior varía entre 1500 y 2500 msnm y el superior entre 2400 y 3300 msnm, o sea un rango de 800 a 1000 m que casi no varía con la latitud. (Stadmtüller, citado por Hernández 2001).

Cuadro 1. Análisis de los 6 “mitos” de los bosques.

<p>Los bosques incrementan la precipitación: En algunos casos puede haber un incremento pequeño pero es compensado por la evaporación, lo que puede reducir el volumen de agua disponible.</p>
<p>Los bosques incrementan la escorrentía: Diferentes estudios con distintas metodologías en lugares diversos demuestran que en comparación con otros cultivos hay menos escorrentía en suelos bajo bosque.</p>
<p>Los bosques regulan los flujos: El impacto y la magnitud de la variación de los flujos estacionales dependen del lugar y las condiciones, y por ello, no se puede generalizar.</p>
<p>Los bosques reducen la erosión: Depende de la topografía, precipitación y geología.</p>
<p>Los bosques reducen las inundaciones: No reducen la ocurrencia pero pueden reducir los impactos.</p>
<p>Los bosques mejoran la calidad de agua: las zonas forestales pueden presentar mejor calidad de agua si se compara con zonas degradadas y agrícolas, donde se utilizan agroquímicos.</p>

Fuente: Hernández (2001), elaboración propia, basado en Calder (1998) y presentación de Aylward (Guatemala, 2001).

3.1.9 El papel de los bosques nubosos en el ciclo hidrológico

De acuerdo a Rodas (1998), diferentes autores identifican al agua como un producto de origen forestal, no tanto porque el bosque sea el productor de éste recurso, sino por el papel regulador que tiene él sobre el ciclo hidrológico. En ese sentido, la manipulación que se realiza de una cobertura arbórea tiene efecto sobre el comportamiento espacial y temporal del agua, en términos de su cantidad y calidad. Se cree que los bosques actúan como esponjas, captando mucha agua durante períodos lluviosos y dejándola salir gradualmente durante la época seca, y que la deforestación reduce la producción de agua y desestabiliza el régimen hídrico. En bosques no nubosos, esto es un mito.

3.1.10 Cuenca

La cuenca se define como un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua. La cuenca hidrográfica es la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca o “divisoria de aguas” se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río. La cuenca la conforman componentes biofísicos (agua, suelo), biológicos (flora, fauna) y antropológicos (socioeconómicos, culturales, institucionales) que están todos interrelacionados, de tal manera que al afectarse uno de ellos, se produce un desbalance que pone en peligro todo el sistema (Ramakrishna, citado por Hernández, 2001).

3.1.11 Zona de recarga hídrica

Se puede definir como el área apta para recibir, almacenar y conducir el flujo de agua proveniente de las precipitaciones pluviales hasta los horizontes acuíferos subterráneos (Motta y Salguero 2002).

3.1.12 Infiltración

Paso del agua de almacenamiento de detención al suelo por efectos de la gravedad (Motta y Salguero 2002).

3.1.13 Percolación

Es el movimiento de una parte del volumen de humedad del suelo hacia el almacenamiento subterráneo por efecto de la gravedad (Motta y Salguero 2002).

3.1.14 Análisis del paisaje

Es conjunto de conceptos, métodos y técnicas que permiten interpretar imágenes (fotos, mapas, imágenes de satélite, etc) de la superficie terrestre basadas en la relación fisiografía-suelo. Se asume que los suelos son perfiles tanto como paisajes (INAB 2000).

3.1.15 Suelo

Sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos bajo la influencia del clima y del medio, se diferencia en horizontes y suministra en parte los nutrientes y el sostén que necesitan las plantas (INAB 2000).

3.1.16 Pendiente

Se refiere al grado de inclinación de los terrenos (unidades de tierra) expresado en porcentaje, los rangos de pendientes son variables dentro de cada de las regiones naturales (INAB 2000).

3.1.17 Capacidad de uso de la tierra

Determinación en términos físicos, del soporte que tiene una unidad de tierra de ser utilizada para determinados usos o coberturas y/o tratamientos. Generalmente, se basa en el principio de la máxima intensidad de uso soportable sin causar deterioro físico del suelo (INAB 2000).

3.1.18 Categorías de capacidad de uso

Las categorías de capacidad de uso que se emplean en la metodología del INAB, se ordenan en forma decreciente en cuanto a la intensidad de uso soportable sin poner en riesgo la estabilidad – física- del suelo, se presentan a continuación:

3.1.18.1 Agricultura sin limitaciones (A)

Áreas con aptitud para cultivos agrícolas sin mayores limitaciones de pendiente, profundidad, pedregosidad o drenaje, permiten monocultivos o asociados, demandan muy pocas prácticas de conservación de suelos. Pueden ser objeto de mecanización (INAB 2000).

3.1.18.2 Agricultura con mejoras (Am)

Áreas que presentan limitaciones de uso moderada con respecto a la pendiente, profundidad, pedregosidad o drenaje. Para su cultivo requieren prácticas de conservación de suelos así como de medidas agronómicas relativamente intensas y acordes al tipo de cultivo (INAB 2000).

3.1.18.3 Agroforestería con cultivos anuales (Aa)

Áreas con limitaciones de pendientes y/o profundidad efectivas del suelo donde se permite la siembra de cultivos asociados con árboles con obras de conservación de suelos prácticas o técnicas agronómicas de cultivo (INAB 2000).

3.1.18.4 Sistemas silvopastoriles (Ss)

Áreas con limitaciones de pendientes y/o profundidad, drenaje interno que tienen limitaciones permanentes de pedregosidad. Permiten el desarrollo de pastos naturales o cultivados asociados con especies arbóreas (INAB 2000).

3.1.18.5 Agroforestería con cultivos permanentes (Ap)

Áreas con limitaciones de pendientes y profundidad, aptas para el establecimiento de sistemas de cultivos permanentes asociados con árboles (ya sean especies frutales y otros con fines de producción de madera y otros productos forestales) (INAB 2000).

3.1.18.6 Tierras forestales para producción (F)

Áreas con limitaciones para usos agropecuarios; de pendientes o pedregosidad, con aptitud preferente para realizar un manejo forestal sostenible, tanto de bosque nativo como de plantaciones de fines de aprovechamiento sin deteriorar otros recursos naturales (INAB 2000).

3.1.18.7 Tierras forestales de protección (Fp)

Áreas con limitaciones severas en cualquiera de los factores limitantes o modificadores, apropiadas para actividades forestales de protección o conservación ambiental exclusiva. Son tierras marginales para uso agrícola o pecuario intensivo. Tienen como objetivo preservar el ambiente natural, conservar la biodiversidad, así como fuentes de agua (INAB 2000).

3.1.19 Clasificación de tierras por capacidad de uso

Es un agrupamiento de interpretaciones que se hacen principalmente para fines agrícolas y comienza por la distinción de las unidades de mapeo. Permite hacer algunas generalizaciones con respecto a las potencialidades del suelo, limitaciones de uso y problemas de manejo (INAB 2000).

3.1.20 Pedregosidad

Se refiere a la presencia de fracciones mayores a las gravas (0.045 mts. de diámetro) sobre la superficie del suelo y dentro del perfil del mismo. Incluye afloramientos rocosos (INAB 2000).

3.1.21 Profundidad efectiva del suelo

Es aquella profundidad que las raíces de las plantas pueden penetrar fácilmente para obtener agua y nutrimentos. Es la profundidad hasta cualquier capa en el perfil del suelo que difiere del material superficial en propiedades química y físicas que en una u otra forma pueden retardar el desarrollo y penetración de las raíces (INAB 2000).

3.1.22 Sobreuso de la tierra

Uso de una unidad de tierra a una intensidad mayor a la que soporta en términos físicos (INAB 2000).

3.1.23 Uso correcto

Uso que indica que no hay discrepancia entre la capacidad de uso de la tierra y el uso que actualmente se le está dando (INAB 2000).

3.1.24 Forestación / Reforestación

Establecimiento de un cultivo arbóreo en una superficie de la que siempre o durante mucho tiempo estuvo ausente. Cuando el establecimiento falla y se reitera, se puede denominar propiamente reforestación (FAO 1990).

3.1.25 Deforestación

Variación boscosa con agotamiento de la cubierta de copas arbóreas a menos del 10 por ciento. Pérdida de la cobertura arbórea por causas naturales, desastres ecológicos causados por la acción de la naturaleza, y/o por la acción del hombre, rozas, descuidos, incendios provocados; así como por el aprovechamiento indiscriminado del recurso bosque para consumo de leña y madera (FAO 1990).

Cambio del bosque con agotamiento de la cubierta de copas arbóreas a menos del 10 por ciento. Los cambios dentro de una misma clase forestal (de bosque espeso a bosque claro) que afectan negativamente a la masa o al lugar y, en particular, reducen su capacidad de producción, se denominan degradación forestal y se consideran una cosa distinta de la deforestación (FAO 1990).

3.1.26 Bosque

Terreno con una cubierta de copas de árboles (densidad de la masa) en más de un 20 por ciento de la superficie. Bosque de carácter continuo con árboles que suelen alcanzar más de unos 7 metros de altura y pueden producir madera. Comprende las formaciones forestales cerradas y espesas donde hay árboles de varios pisos y sotobosque, que cubren una gran proporción del

suelo, y formaciones claras con una capa continua de hierba en la que la sinusia arbórea cubre por lo menos el 10 por ciento del suelo (FAO 1990).

3.1.27 Otras tierras arboladas

Tierras que tienen algunas características forestales pero que no son bosques en el sentido arriba definido. Comprenden bosques claros y arbustos, matas leñosas y chaparrales, se empleen, o no, para pastos o pastoreo. No comprende las tierras ocupadas por "árboles fuera del bosque" (FAO 1990).

3.1.28 Inventario forestal

Instrumento por medio del cual podemos conocer las características morfométricas del bosque, así como las características del suelo en cuanto a pendiente y tipo (INAB 2001).

3.1.29 Economía ambiental

La economía ambiental trata el estudio de los problemas ambientales con la perspectiva e ideas analíticas de la economía, estudiando el cómo y por qué "las personas" toman decisiones sobre el uso de recursos valiosos. Se concentra en la microeconomía –comportamiento de individuos o pequeños grupos que tienen consecuencias ambientales, además, de estudiar las maneras como se pueden cambiar políticas e instituciones económicas con el propósito de equilibrar aún más esos impactos ambientales con los deseos humanos y necesidades del ecosistema (Samuelson *et al.* 1996).

3.1.29.1 Los recursos naturales y la economía del medio ambiente

Todos estaríamos de acuerdo en que la pureza del aire y del agua y la conservación del suelo son objetivos deseables. Pero, ¿cuánto estamos dispuestos a pagar para conseguirlo? ¿Qué amenaza se cierne sobre la humanidad si no respetamos los límites de nuestro entorno natural? (Samuelson *et al.* 1996).

En un extremo se encuentra la filosofía ecologista de los confines y los peligros. Según esta teoría, las actividades humanas amenazan con deteriorar la intrincada red de ecosistemas naturales, las consecuencias inintencionadas amenazan con superar al ingenio humano y debemos mantenernos siempre vigilantes, no sea que se rompan los diques y nos inunde el embravecido mar. La sombría advertencia del distinguido biólogo de la Universidad de Harvard, E. O. Wilson, según Samuelson 1996, expresa perfectamente el punto de vista ecologista:

El ecologismo..... concibe la humanidad como una especie biológica estrechamente dependiente del mundo natural.... Muchos de los recursos vitales de la tierra están a punto de agotarse, su química atmosférica está deteriorándose y la población humana ya ha crecido peligrosamente. Los ecosistemas naturales irreversiblemente..... Soy suficientemente radical para tomarme en serio la pregunta que con tanta frecuencia se oye: ¿es suicida la humanidad?!

Quienes creen en este sombrío panorama sostienen que los seres humanos deben practicar un crecimiento económico que pueda mantenerse y aprender a vivir con las limitaciones de nuestros recursos escasos o, de lo contrario, pagaremos las funestas e irreparables consecuencias (Samuelson *et al.* 1996).

En el otro extremo se encuentran los <<cornucopianos>>, que creen que los recursos naturales o la capacidad de la tecnología distan de agotarse. Según esta visión considerada optimista y alegre, podemos esperar que las economías crezcan y que los niveles de vida mejoren ilimitadamente y que el ingenio del hombre sea capaz de resolver cualquier problema de medio ambiente que se plantee. Si se agota el petróleo, existe abundante carbón y uranio. Si estos no resultan, la subida de los precios generará nuevas tecnologías. Según esta teoría, la tecnología, el crecimiento económico y las fuerzas del mercado no son los villanos, sino los salvadores (Samuelson *et al.* 1996).

En realidad, los seres humanos han venido invadiendo el medio ambiente durante siglos. Históricamente, las principales intervenciones se produjeron cuando el hombre se asentó, convirtió los bosques en explotaciones agrícolas y comenzó a criar plantas y animales domésticos. Pero, esta transformación cualitativa no es nada comparada con la bioingeniería, la deforestación y la extracción de recursos minerales y botánicos de la tierra realizadas en gran escala en la actualidad (Samuelson *et al.* 1996).

Todas estas cuestiones suscitan las inquietudes fundamentales manifestadas por Wilson y otros autores. Generalmente, los economistas tienden a encontrarse entre el extremo ecologista y el cornucopiano y señalan cuán importante es conjugar sabiamente las fuerzas del mercado con la intervención del Estado tanto para continuar mejorando el nivel de vida como para la supervivencia del medio ambiente (Samuelson *et al.* 1996).

3.1.29.2 Recursos apropiables e inapropiables

Cuando los economistas analizan los recursos naturales, hacen dos distinciones clave. La más importante es si son apropiables o inapropiables. Recuérdese que una mercancía se denomina **apropiable** cuando las empresas o los consumidores pueden recoger todo su valor económico. Son recursos naturales apropiables la tierra (cuya fertilidad puede ser recogida por el agricultor que vende trigo o vino producido en la tierra), los recursos minerales como el petróleo y el gas (el propietario puede vender el valor de los yacimientos de minerales en los mercados) y los árboles (el propietario puede vender la tierra o los árboles al mejor postor). En un mercado competitivo que funcione perfectamente, es de esperar que la asignación y la fijación del precio de los recursos naturales sean eficientes (Samuelson *et al.* 1996).

Pero debemos tener cuidado de no llevar demasiado lejos los resultados. Existe una segunda clase de recursos naturales, conocida con el nombre de recursos **inapropiables**, que puede causar claramente problemas económicos. Un recurso inapropiable es aquel cuyo uso es gratuito para el individuo, pero costoso para la sociedad. En otras palabras, los recursos inapropiables son los que generan externalidades. Los bienes con externalidades pueden compararse con los bienes económicos normales. Las transacciones de mercado consisten en un intercambio voluntario en el que los individuos intercambian bienes por dinero. Cuando una empresa utiliza un recurso apropiable escaso como la tierra, el petróleo o los árboles, compra el bien a su propietario, el cual es compensado totalmente por los costes adicionales de producción del bien. Pero muchas transacciones se realizan fuera del mercado. La empresa A vierte residuos tóxicos a una corriente y contamina el agua para las personas que pescan o nadan aguas abajo. Utiliza el agua escasa y limpia sin pagar a las personas cuya agua se contamina y genera una deseconomía externa (Samuelson *et al.* 1996).

Existen ejemplos de recursos inapropiables en todos los rincones del planeta. Pensemos en el caso del pescado. Un banco de atunes no solo proporciona alimentos sino que también sirve para reproducir las futuras generaciones de atunes. Sin embargo, los mercados no recogen o se apropian de este potencial reproductor; nadie compra o vende la conducta de apareamiento del atún. Por consiguiente, cuando un barco pesquero coge un atún, no compensa a la sociedad por el agotamiento del futuro potencial reproductor. Por lo tanto, la pesca tiende a ser excesiva cuando no está regulada (Samuelson *et al.* 1996).

Esto nos lleva a la conclusión fundamental de la economía de los recursos y el medio ambiente: cuando los recursos son inapropiables y muestran externalidades, los mercados transmiten unas señales incorrectas. Generalmente, los mercados producen una cantidad excesiva de bienes que generan deseconomías externas y una cantidad demasiado pequeña de bienes que producen economías externas (Samuelson *et al.* 1996).

3.1.29.3 Recursos renovables y no renovables

Según Samuelson *et al.* 1996, las técnicas para gestionar los recursos dependen de que estos sean o no renovables. Un **recurso no renovable** es aquel cuya oferta es esencialmente fija y que no se regenera suficientemente deprisa para que sea económicamente relevante. Ejemplos importantes son los combustibles fósiles, que existen desde hace millones de años y pueden considerarse fijos para las civilizaciones humanas y los recursos minerales no combustibles como el cobre, la plata, el oro, la piedra y la arena. La segunda categoría esta formada por los **recursos renovables**, cuyos servicios se reponen periódicamente y que si se gestionan debidamente, pueden prestar útiles servicios indefinidamente. La energía solar, el suelo agrícola, el agua, los bosques y la pesca son los tipos más importantes de recursos renovables.

Los principios de la gestión eficiente de estas dos clases de recursos presentan retos muy diferentes. La utilización eficiente de un recurso no renovable conlleva la distribución de una cantidad finita del recurso a lo largo del tiempo: ¿debemos utilizar el gas natural de bajo coste en esta generación o conservarlo para el futuro? En cambio, la utilización prudente de los recursos renovables implica asegurarse de que se mantiene eficientemente el flujo de servicios, por ejemplo, gestionando acertadamente los bosques, protegiendo los lugares de cría de peces o almacenando agua (Samuelson *et al.* 1996).

Cuadro 2. Clasificación de los recursos.

	Renovables	No renovables
Apropiables	Bosques, suelo agrícola, energía solar.	Petróleo, gas natural, cobre, tierra.
Inapropiables	Pesquería, calidad del aire, soledad, vistas panorámicas.	Aguas freáticas, clima, residuos radiactivos.

Fuente: Samuelson, Paul A. *et al.*, 1996.

Los recursos se clasifican en inapropiables o apropiables dependiendo de que haya externalidades significativas en su producción o su consumo. Además, en el caso de los recursos agotables, como el petróleo y el gas natural, la cuestión económica es como asignar los recursos finitos en el espacio y en el tiempo, mientras que en el caso de los recursos renovables, como el agua y los bosques, la cuestión clave es la gestión prudente a fin de maximizar el valor del recurso (Samuelson *et al.* 1996).

Con formato: Fuente: 10 pt, Cursiva, Francés (Francia)

Con formato: Fuente: 10 pt, Francés (Francia)

Con formato: Francés (Francia)

3.1.30 Servicios ambientales

Aquéllos que brindan los bosques y plantaciones forestales y que inciden en la protección y mejoramiento del medio ambiente. Se clasifican como, mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (reducción, absorción, fijación y almacenamiento de carbono), protección de agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico, protección de la biodiversidad para conservación (uso sostenible, científico, farmacéutico, investigación, mejoramiento genético, protección de ecosistemas y formas de vida) y belleza escénica (Ley Forestal de Costa Rica, 7575. 1996, Citada por Hernández 2001).

3.1.31 Métodos de valoración

Las áreas protegidas son ecosistemas que generan una serie de bienes que, según la categoría de manejo y la legislación específica, pueden ser aprovechados directamente por el hombre para la satisfacción de necesidades propias y familiares o bien, para el intercambio por dinero en el mercado. Además, las áreas protegidas también generan servicios ambientales que frecuentemente trascienden los límites del área protegida, beneficiando a los pobladores de la región aledaña, del país, de un continente, e incluso del mundo. Los beneficios producidos por dichos bienes y servicios ambientales pueden ser valorados económicamente para demostrar la importancia que las áreas protegidas representan para la sociedad (Ortíz 2000).

La práctica de valoración ha ido definiendo métodos que se adaptan mejor a cada tipo de beneficio sujeto de valoración, así como al tipo de valor que se trate (uso directo, indirecto, opción, existencia). Varias sugerencias pueden ser encontradas en la literatura especializada en la

valoración económica de áreas naturales, del ambiente, o de impactos ambientales del uso de recursos naturales (Ortíz 2000).

Existen dos enfoques: los Enfoques de valoración objetiva (EVO) basados en relaciones físicas que describen formalmente las relaciones causa efecto; los otros, los enfoques de valoración subjetiva (EVS) se basan en evaluaciones más subjetivas de posibles daños expresados o revelados en una conducta de mercado real o hipotética (Ortíz 2000).

De acuerdo al Cuadro 3, los métodos de observación directa incluyen el uso de precios competitivos de mercado y el uso de resultados de mercados simulados establecidos específicamente para aprender acerca de valores individuales. Las observaciones son basadas en las elecciones actuales hechas por la gente que esta maximizando su utilidad, sujeto a los contrastes relevantes, y quienes están libres de escoger la cantidad de un bien a un precio dado (Freeman, citado por Hernández 2001).

Cuadro 3. Métodos de estimación de valores económicos

	Comportamiento observado	Comportamiento Hipotético
Directo	Observado directo Precios de mercado competitivos Mercados simulados	Hipotético directo Juegos de licitación Voluntad de pago
Indirecto	Observado indirecto Costos de viaje Valores de propiedad hedónicos Gastos evitados Voto referenciado	Hipotético Indirecto Valoración contingente Actividad contingente Referendo contingente

Fuente: Adaptado de Mitchell y Carson (1989) por Hernández (2001).

3.1.31.1 Valoración usando precios de mercado

Muchos bienes y servicios provenientes de áreas naturales protegidas son comercializados tanto en mercados locales como internacionales. Entre los bienes producidos por dichas áreas se encuentran la madera, leña, alimentos, medicinas, utensilios y ornamentos. Entre los servicios, quizá el que cuenta con un mercado más desarrollado sea el de recreación (Ortíz 2000).

Los precios son generados en el mercado a través de la interacción entre compradores y vendedores (demanda y oferta). El precio de los bienes y servicios establecido en mercados eficientes refleja el costo de oportunidad del uso de los recursos, siendo una medida aceptable de valor. No obstante, frecuentemente ocurren fallas de mercado causadas por estructuras de competencia imperfecta (monopolio) o por políticas gubernamentales de intervención en los precios, que tornan ineficientes a los mercados. Los precios establecidos en mercados ineficientes son utilizados en el proceso de valoración, pero se recomienda ajustarlos para eliminar el efecto de las fallas de mercado. Los precios ajustados son comúnmente llamados precios de sombra. En muchos casos la determinación de la eficiencia de un mercado requiere de técnicas complejas de modelación, por lo que el uso de precios sombra es descartado y se recurre al uso de los precios observados, como una *proxy* del valor de los bienes y servicios (Ortíz 2000).

3.1.31.2 Valoración usando el enfoque de mercados indirectos

En este enfoque se agrupan métodos de valoración que se basan en el hecho que ciertos valores de mercado pueden ser reflejados en los gastos del consumidor, en los precios de mercado de bienes o servicios similares al que se está valorando o, en el nivel de productividad de ciertas actividades de mercado. Algunos de los métodos agrupados en este enfoque son: costo de viaje, precios hedónicos y bienes sustitutos. La base teórica del enfoque es la función de producción de

la familia, que describe como la misma intenta maximizar su bienestar distribuyendo el tiempo y otros recursos entre diferentes actividades (Bishop, citado por Ortíz 2000).

3.1.31.3 Método del costo de viaje

El método del costo de viaje se basa en el supuesto que los consumidores valoran el viaje a un área protegida por lo menos a un monto que equivalga al costo del viaje para llegar al área, incluyendo los costos directos de transporte y el costo de oportunidad del tiempo invertido en el viaje (por ejemplo, ingresos no obtenidos). El método ha sido ampliamente utilizado para estimar el valor de paisajes para contemplación y los servicios de recreación que generan las áreas protegidas (Ortíz 2000).

En resumen, los pasos necesarios para aplicar el método de costo de viaje son: (i) coleccionar datos, a través de una encuesta a una muestra de la población de individuos que visitan el área, para determinar los costos en que incurren al visitar el área; (ii) estimar la función de demanda por el área; y, (iii) calcular el excedente del consumidor (Ortíz 2000).

3.1.31.4 Valoración usando el enfoque de la función de producción

De acuerdo con Bishop, citado por Ortíz (2000), el enfoque de la función de producción también es citado en la literatura como la técnica de cambio en la producción, el método de insumo-producto o de dosis-respuesta. La esencia del enfoque se basa en la relación entre el efecto incremental que ocurre en la producción de algún bien o servicio y el cambio en cantidad o calidad observado en un recurso natural. Por ejemplo, este enfoque puede ser utilizado para el valor de uso indirecto de algunas funciones ecológicas de los bosques, a través de su contribución a actividades cuyo valor se refleja en el mercado (Ortíz 2000).

El uso de este enfoque requiere de dos pasos: (i) determinación de los efectos físicos de cambios en el estado del recurso natural sobre una actividad económica; y, (ii) valoración de los cambios físicos observados en la producción o en el consumo, generalmente a través de precios de mercado. La determinación de la relación física causa-efecto normalmente requiere investigación de campo por medio de observación directa de los precios o, a través de experimentos controlados (Ortíz 2000).

Uno de los casos donde este enfoque puede ser utilizado es en el efecto que la cobertura arbórea natural que la tierra causa en la regulación del flujo superficial de agua y, por consiguiente, en la producción agropecuaria bajo riego. Se acepta que, en general, tierras cubiertas con bosque natural propician mayor infiltración del agua de lluvia que tierras con cultivos. La mayor infiltración se traduce en mayores caudales en la época de estiaje (Ortíz 2000).

3.1.31.5 Valoración basada en costos

Las técnicas basadas en costos son frecuentemente utilizadas cuando existen limitaciones de tiempo y recursos para estimaciones más rigurosas de beneficios ambientales. Tres son las técnicas y recursos para estimaciones basadas en costos más utilizadas: (i) costos de reposición, que trata de estimar el costo de recuperar los niveles originales de beneficios, luego de una degradación ambiental; (ii) gastos de prevención, que estiman el costo de prevenir cierta degradación ambiental; y, (iii) costo de oportunidad, que usan costos de producción como *proxy* del valor de beneficios sin mercado. A continuación se describen los métodos de costo de prevención, aplicados al beneficio de protección del suelo por parte de la cobertura arbórea contra la erosión hídrica del suelo; así como el método de costo de oportunidad aplicado al beneficio de regulación del flujo de agua para generación de energía eléctrica (Ortíz 2000).

3.1.31.6 Costo de reposición

El caso en que la cobertura boscosa protege el suelo contra la erosión hídrica. El valor de dicho beneficio se estima calculando el costo de reposición de los nutrimentos que se perderían al no existir la cubierta boscosa (Ortíz 2000).

3.1.31.7 Costo de prevención

El caso en que la cobertura boscosa protege el suelo contra la erosión hídrica, generando beneficios por costo evitado en dragado o devalde de estructuras como canales de riego y presas de almacenamiento de agua (Ortíz 2000).

3.1.31.8 Costo de oportunidad

Corresponde, por ejemplo, a la valoración del servicio de regulación del flujo de agua que la cubierta boscosa de un área protegida puede prestar para la generación de energía eléctrica. Se asume que la cobertura boscosa contribuye a mantener la capacidad de infiltración de los suelos, lo que a su vez torna más estables los caudales superficiales en la época seca (Ortíz 2000).

El costo de oportunidad podría constituir una buena alternativa para el cálculo del costo del impacto social en la comunidad. Esta técnica permite cuantificar impactos positivos como negativos, el costo de oportunidad, se puede aplicar cuando hay agotamiento o pérdida de calidad de un activo, como por ejemplo el agua, ya que la comunidad tendrá que incurrir en costos alternativos por la opción de traer el agua de cuencas vecinas. Este tipo de técnica permite calcular el costo económico del beneficio social (Castro y Arreola 2002).

Se define como el costo de no tomar la opción alternativa; la opción de preservar sobre la de aprovechar los beneficios de desarrollo. Las decisiones tienen costes de oportunidad porque elegir una cosa en un mundo de escasez significa renunciar a otra cosa. El coste de oportunidad es el valor del bien o servicio al que se renuncia (Samuelson *et al.* 1996).

Recordemos que uno de los principios fundamentales en economía es que los recursos son escasos. Eso significa que cada vez que decidimos utilizar un recurso de una manera, renunciamos a la oportunidad de utilizarlo de otra. Es fácil verlo en la vida diaria, en la que debemos decidir constantemente qué vamos a hacer con nuestro limitado tiempo y renta. ¿Debemos ir al cine o quedarnos a estudiar el examen de la semana que viene? ¿Debemos viajar a México o comprar un automóvil? ¿Debemos realizar estudios de postgrado o de formación profesional o comenzar a trabajar en cuanto terminemos los estudios universitarios? (Samuelson *et al.* 1996).

En todos estos casos, la decisión nos cuesta, de hecho, la oportunidad de hacer alguna otra cosa. La alternativa a la que renuncia se denomina **coste de oportunidad**. El coste monetario inmediato de ir al cine en lugar de estudiar es el precio de la entrada, pero el coste de oportunidad también comprende la posibilidad de obtener peor nota en el examen. Los costes de oportunidad de una decisión comprenden todas sus consecuencias, independientemente de que se reflejen o no en las transacciones monetarias (Samuelson *et al.* 1996).

La manera en que definen los economistas los costes es más amplia que la del contable. El coste económico no sólo comprende los evidentes gastos monetarios, sino también los costes de oportunidad más sutiles, como el rendimiento del trabajo suministrado por el propietario de una empresa. Estos costes de oportunidad dependen en gran medida de las pujas y ofertas realizadas

en los mercados competitivos, de tal manera que el precio suele ser cercano al coste de oportunidad de los bienes y servicios comerciados. La aplicación más importante del coste de oportunidad se refiere a los bienes no comerciados – como el aire puro, la salud o los servicios recreativos- cuyos servicios pueden ser muy valiosos aun cuando no se compren ni se vendan en los mercados (Samuelson *et al.* 1996).

3.1.31.9 Enfoques de preferencia manifiesta

De acuerdo a Bishop, citado por Ortíz (2000), los enfoques de valoración que utilizan precios de mercado, mercados sustitutos, funciones de producción y costos, se basan en las preferencias de los individuos reveladas en el mercado. Una alternativa, cuando no existen mercados para los bienes y servicios que se quieren valorar, es pedir a los consumidores manifestar sus preferencias directamente, en términos de mercados o pagos hipotéticos. Este enfoque intenta determinar la disposición de los individuos a pagar por cierto beneficio ambiental, o bien la disposición a aceptar compensación por la pérdida de un beneficio (Ortíz 2000).

Existen varias técnicas dentro del enfoque de la preferencia manifiesta, pero la más conocida y ampliamente utilizada es la llamada Valoración Contingente. Otras técnicas pertenecientes al enfoque indicado son: la clasificación contingente, los experimentos de selección y los métodos participativos. El método de Valoración Contingente recoge expresiones individuales de valor para incrementos o disminuciones en la calidad o cantidad de bienes que no poseen mercado. Es llamada valoración contingente porque los valores se generan a partir de una situación hipotética que el investigador presenta al consumidor. Según la literatura especializada, el método es recomendado para la estimación de los valores de opción y existencia, así como para la valoración

de beneficios provistos por bienes y servicios para los cuales no es posible utilizar información de mercado (Ortíz 2000).

3.1.31.10 Externalidad

Según el Centro Internacional para la Política y el Desarrollo (2001), la externalidad se produce cuando una determinada actividad humana repercute sobre el bienestar de otra, sin que se compense al agente afectado. Lo esencial es que quien genera una externalidad negativa no tiene que pagar por ello en el sistema de mercado tradicional capitalista, a pesar del perjuicio que causa; y que quien produce una externalidad positiva no se ve recompensado monetariamente. Por consiguiente, una externalidad positiva o negativa existe cuando el efecto de la acción que genera no es compensada, es decir, no se internaliza.

Existe una externalidad cuando la producción o el consumo imponen costes o beneficios a otros. Más concretamente, una externalidad es un efecto que produce la conducta de un agente económico en el bienestar de otro y no se refleja en las transacciones monetarias o de mercado (Samuelson *et al.* 1996).

Las externalidades son de muchos tipos. Unas son positivas (economías externas) y otras negativas (deseconomías externas). Así, por ejemplo, cuando vertimos un barril de ácido en un río, este mata los peces y las plantas. Dado que no pagamos a nadie por el daño causado, hay una deseconomía externa. Cuando descubrimos una fórmula mejor para limpiar las manchas de petróleo, el beneficio se difunde a muchas personas que no nos pagan nada por ello. Se trata de una economía externa. Algunas externalidades tienen grandes efectos-difusión, mientras que en otras éstos son pequeños. Cuando un transmisor de la peste negra entraba en una ciudad en la Edad Media, una cuarta parte de la población podía morir por su causa. En cambio, cuando una

persona mastica un trozo de cebolla en un estadio de fútbol en un día de viento, los efectos externos apenas son perceptibles (Samuelson *et al.* 1996).

3.1.31.11 Pago de servicio ambiental como externalidad positiva

Boyce *et al.*, citado por el Centro Internacional para la Política y el Desarrollo (2001), la economía a nivel general busca la asignación eficiente de recursos con diversas alternativas de uso ante recursos escasos. Al aplicarse asuntos ambientales, puede esperarse o analizarse la conveniencia de asumir costos y generar beneficios ambientales, considerando como objetivo al aumentar el bienestar social. En este sentido, la economía ambiental juega un papel clave en la identificación de opciones eficientes de manejo de los recursos naturales, facilitando el desarrollo sostenible y mejorando las bases sobre las cuales se toman las decisiones a través de la evaluación económica de los impactos ambientales.

Uno de los métodos mas utilizados en los últimos tiempos es la introducción de los servicios ambientales al sistema de mercado. El sistema de mercado funciona bajo la existencia de ciertos supuestos de comportamiento de los agentes (mercados perfectamente competitivos y un comportamiento racional maximizador de funciones objetivo), donde se generan precios que constituyen indicadores que el mercado proporciona sobre el valor económico de los distintos bienes para guiar la asignación eficiente de los recursos. Sin embargo los mercados son afectados por la existencia de fallas como la competencia imperfecta, mercados incompletos y bienes y servicios que por su naturaleza no poseen precio en el mercado, es decir no existe un mercado en el cual puedan intercambiarse (Centro Internacional para la Política y el Desarrollo (2001)).

3.1.32 Reflexiones sobre el desarrollo y el ambiente

La degradación del ambiente y de los recursos naturales puede ser causada tanto por poco, como por demasiado desarrollo económico; los efectos socioeconómicos de los ambientes degradados a menudo golpean más fuerte a los más pobres (Hernández 2001).

La mayoría de servicios ambientales que los bosques generan son raramente percibidos y valorados en su justa dimensión. La sociedad paga un costo social muy alto ante la precariedad y/o inexistencia de sistemas seguros de abastecimiento de agua y de disposición de aguas residuales que va más allá de cubrir o no tarifas de operación y mantenimiento de servicios, para convertirse en un costo subsidiado con muertes infantiles, desnutrición y salud precarias y especialmente con un bajísimo nivel de calidad de vida (Hernández 2001).

Las funciones que brinda la naturaleza generan valor ecológico, social y/o económico que la economía ambiental define como servicios ambientales ya que generan beneficios, directo e indirecto, para los seres humanos. Su cuantificación y asignación de un valor económico es un gran reto para las imperfecciones del mercado. La economía ambiental trabaja en el desarrollo de herramientas que valoren el servicio que ofrece el medio natural para así aplicar las herramientas teóricas ya desarrolladas (Hernández 2001).

El complejo natural recursos-ambiente puede ser visto como productor de cuatro clases de flujos de servicio a la economía. Primero, como en la visión convencional de economía de recursos, el sistema recursos-ambiente sirve como una fuente de entradas materiales a la economía como combustibles fósiles, productos de madera, minerales, agua y peces. Segundo, algunos

componentes del sistema recursos-ambiente proveen servicios como medio de vida, en la forma de atmósfera respirable y régimen climático habitable (Hernández 2001).

Tercero, el sistema recursos-ambiente provee una amplia variedad de servicios de confort, incluyendo oportunidades para recreación, observación de vida salvaje, el placer de vistas escénicas, y quizá aún servicios que no son relacionados a cualquier uso directo del ambiente (algunas veces llamados valores de no uso o existenciales). Finalmente, este sistema dispersa, transforma, y almacena los residuos que son generados como subproductos de las actividades económicas (Hernández 2001).

3.1.33 Marco legal del agua en Guatemala

El régimen jurídico y administrativo del agua no define claramente funciones y atribuciones de los actores, es anacrónico porque se funda en postulados y principios jurídicos del Siglo XIX y principios del XX, pero especialmente porque no ha sido capaz de ofrecer certeza y seguridad jurídica al desarrollo hídrico nacional. En 1986, la Constitución Política de la República incorpora el criterio del uso sostenido, el cual busca equilibrar las demandas económicas con las sociales y ambientales, declara públicas todas las aguas y manda se emita una ley especial en la materia basada en el interés social y la necesidad de conservar el recurso, sin embargo a la fecha no se ha emitido (Hernández 2001).

Desde hace varios años, se encuentra en discusión un proyecto de Ley General de Aguas, con el que se buscaba proporcionar una moderna base legal de la gestión integrada del agua. Es

necesario resaltar que la mayoría de las personas sin acceso a los servicios de distribución y saneamiento son pobres (Hernández 2001).

Actualmente la administración del agua está conformada por muchas instituciones centralizadas, descentralizadas, autónomas, territoriales y especiales, pero ninguna de ellas tiene el control completo e integral de su gestión y aprovechamiento (Hernández 2001).

3.2 Marco referencial

3.2.1 Ubicación del área de trabajo

Según el Instituto Geográfico Nacional, la microcuenca del río El Riachuelo se encuentra en el municipio de Zacapa, departamento de Zacapa. En las hojas cartográficas de: Zacapa, La Unión y Gualán, dentro de las siguientes coordenadas UTM: longitud 228000, 244000 y latitud 1651000, 1661000, respectivamente.

3.2.2 Vías de acceso

Del municipio de Zacapa se toma la carretera asfaltada que conduce hacia la aldea La Trementina, luego se toma la carretera de terracería que conduce hacia la aldea Matasano hasta llegar al área conocida como “el campito” en donde se cruza hacia la derecha, donde está el casco de la finca Taxoró, se sigue el camino hasta llegar a la zona de los cafetales (17 Km.). Es de hacer notar que este camino de terracería se encuentra en muy mal estado debido a que no se le da mantenimiento, por lo que es de muy difícil acceso en cualquier época del año, siendo aún más peligroso en época lluviosa, recomendando utilizar motocicleta y/o vehículo de doble transmisión.

3.2.3 Descripción general del área de estudio

Nombre:	Río El Riachuelo.
Departamento:	Zacapa.
Superficie total:	64.38 Km ² .
Perímetro:	48.60 Km.
Propietarios:	Municipalidad de Zacapa y propietarios privados.
Dirección:	Cabecera Departamental, Zacapa.

3.2.4 Colindancias

Norte:	Aldeas Tajaral, Güineal y Zompopero.
Sur:	Aldeas Pinalito y Matasano.
Este:	Aldeas Agua Fría y Carí.
Oeste:	Zacapa, aldea La Trementina.

3.2.5 Características del área

Ésta se caracteriza por contar en su parte baja con una cobertura de bosque seco, clima cálido seco, en su parte media por un área extensa de matorrales y pastizales, y en la parte alta por su cobertura arbórea de coníferas dispersas y una pequeña área de bosque latifoliado denso; ésta última posee un clima templado frío, agradable, con presencia de fuentes de agua y arroyos cristalinos y una estación lluviosa no definida ya que constantemente hay ocurrencia de lluvias; también es característico del área la nubosidad y por consiguiente la precipitación horizontal que caracteriza al tipo de bosque nuboso.

3.2.6 Región fisiográfica

El área de estudio se ubica dentro de las Tierras Altas Cristalinas, las cuales se caracterizan por la presencia de serpentinitas, gneisses metamórficas y esquistos, que predominan en la región. Apareciendo algunas pequeñas áreas de material plutónico, principalmente granito, que forman una región distinta tanto de los estratos sedimentarios del norte, como de las regiones volcánicas del sur (FAUSAC 1996).

Esta área se ubica entre los principales sistemas de fallas que han estado en evolución desde el Paleozoico. El patrón de drenaje a través de la región es muy ilustrativo, ya que los cursos de los ríos Cuilco, Chixoy o Negro y Motagua, están controlados por las diversas fallas existentes (FAUSAC 1996).

3.2.7 Tierras metamórficas

Se encuentran a inmediaciones de la falla del Río Motagua e incluyen suelos formados a partir de materiales geológicos tales como filitas, esquistos, dioritas, serpentinas, gneis; pueden considerarse inclusiones, algunas calizas que se localizan dentro de esta región, sobre todo en el extremo este del departamento de Izabal. También pueden considerarse como inclusiones, algunos valles con cubiertas de pómez, tal es el caso de Rabinal y San Jerónimo – Salamá. El extremo sur de esta región, lo constituye las tierras volcánicas y el extremo norte los materiales calizos (FAUSAC 1996).

La región se distribuye desde los límites entre los departamentos de San Marcos y Huehuetenango y atraviesa los departamentos de El Quiché, Baja Verapaz, El Progreso, Zacapa, Chiquimula, Izabal. Algunos municipios incluidos en esta región son: Santa Bárbara (Huehuetenango), Cubulco, Granados. Desde el punto de vista orográfico, la Sierra de Chuacús, la Sierra de Las Minas y las Montañas del Mico, se encuentran conformando una buena parte de las tierras incluidas en esta región. Entre los usos de la tierra predominantes en esta región, se encuentran, tierras con bosques, cultivos de subsistencia (maíz y frijol) (FAUSAC 1996).

El cuadro 4 indica las características generales del área de estudio.

Cuadro 4. Características generales del área.

Localización:	Municipio de Zacapa.
Extensión Total del Área:	6438.4 Ha.
Zona de vida:	Monte Seco y Bosque Húmedo subtropical (Templado). (bh-S (t)).
Temperatura media anual:	De 22 a 28 ^o C.
Precipitación pluvial:	1689 mm. Promedio de 187 días de lluvia.
Humedad relativa:	28 al 35 %
Región Fisiográfica:	Tierras Altas Cristalinas.
División Natural	Tierras Metamórficas.
Suelos:	Filitas, esquistos y gneisses de cuarzo-mica-feldespatos, migmatitas.
Textura del suelo:	Franco arenoso, arenoso.
Ubicación Hidrológica:	Cuenca del Río Grande de Zacapa
Ríos:	Riachuelo, Tazijá, Punilá, Agua Fría, Chuntuy.
Bosque:	Conífero, latifoliado, mixto y espinoso.
Fauna:	Aves, mamíferos, reptiles
Relieve:	Plano, ondulado a escarpado.
Pendientes:	0 – 80 %
Altitudes:	200 a 1700 msnm.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.8 Experiencias replicables del pago de servicios ambientales del recurso agua

El ejemplo Urbano: Implementación de un esquema de cobro y pago por servicio ambiental hídrico: El caso de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A.” (Castro y Barrantes 1999).

La Empresa de Servicios Públicos de Heredia Sociedad Anónima (ESPH S.A.), en su afán de proteger el recurso hídrico y asegurar su abastecimiento futuro en calidad y cantidad; logró ajustar

ambientalmente sus tarifas por servicio de agua potable. De esta manera, se lleva a la práctica el uso creativo de un instrumento económico para capturar fondos que son reinvertidos en la protección y recuperación de las microcuencas que abastecen de agua potable a la provincia de Heredia, Costa Rica (Castro y Barrantes 1999).

La tarifa hídrica o ajuste ambiental comprende: a) el valor económico del servicio ambiental hídrico o servicio de producción de agua que brindan los bosques y b) el costo ambiental requerido para recuperar y conservar las áreas donde se ubican las fuentes de agua, mediante actividades de regeneración natural del bosque y reforestación. Como parte del proceso previo a la internalización de las variables ambientales en la tarifa por servicio de agua potable, la Empresa realizó talleres de capacitación y giras de campo con técnicos de la Autoridad Reguladora, el Ministerio de Ambiente y Energía y la Defensoría de los Habitantes (Castro y Barrantes 1999).

Los consumos entre 0 y 15 m³ mensuales tienen un precio especial, cada m³ adicional consumido tiene un precio mayor. Los clientes del cantón Central de Heredia deben pagar además los costos del tratamiento post-servicio. Los clientes con servicio fijo (sin medidor) pagan un monto mensual de CR ₡46.00 por concepto de tarifa hídrica. Monto equivalente a US \$ 0.14/mes (Castro y Barrantes 1999).

El desarrollo de una tarifa hídrica ambientalmente ajustada representa un mecanismo con el que se cobra a los usuarios y con ello, se compensa a los dueños de la tierra para que se responsabilicen de proteger y recuperar el bosque en función del recurso hídrico. De esta manera se presenta al bosque, no solamente como un productor de madera, sino también como un

productor de servicios ambientales, cuya rentabilidad puede ser igual o más atractiva que la de los usos tradicionales del suelo (Castro y Barrantes 1999).

Con el objeto de justificar al ARESEP el aumento tarifario, se evaluó la demanda o disposición de pago de los clientes de la ESPH S.A. utilizando el enfoque de valoración contingente. Se realizó una encuesta telefónica a una muestra estadísticamente representativa de los clientes del sector domiciliario, de donde se concluye que la sociedad herediana está dispuesta a pagar un monto de CR ₡15.53/m³ (US \$ 0.0048/m³) para la protección y recuperación de los bosques ubicados en la zona de recarga acuífera de la provincia, suma superior al ajuste realizado. Esto siempre y cuando se asegure a los usuarios del servicio el manejo transparente y eficaz de dichos fondos (Castro y Barrantes 1999).

Actualmente se trabaja en el desarrollo de una estructura institucional ágil y flexible para el cobro, administración y distribución de los ingresos generados por la tarifa hídrica. La Empresa recauda los fondos de la tarifa hídrica de la tasa que cobra mensualmente a sus abonados; en cada recibo por servicio de agua potable, el rubro tarifa hídrica está claramente diferenciado. El dinero recaudado se deposita en una cuenta especial y se utiliza para financiar PROCUENCAS (Programa de la ESPH S.A. para la protección y recuperación de las microcuencas de los ríos Ciruelas, Segundo, Bermúdez y Tibás de la provincia de Heredia). Este programa se encarga de promover actividades de protección y regeneración del bosque natural en los sitios donde se ubican las fuentes de abastecimiento de agua potable administradas por la Empresa. También se impulsan actividades de reforestación, siempre y cuando sean sitios con potencial productivo (Castro y Barrantes 1999).

El ejemplo Rural: “Valoración económica de la oferta hídrica del bosque en que nace el Río Chiquito, Achuapa, Nicaragua – para implementar un sistema de Pago por el Servicio Hídrico y mantener la oferta de agua” (Barzev 2000.)

El área del Bosque de la Finca El Cacao (13.3 ha) genera 79,800m³ de agua, la que beneficia económicamente las 2100 familias en la micro cuenca de Achuapa con US \$42,294. En base de los resultados obtenidos se considera importante la implementación de un Mecanismo Local de Pago por Servicios Ambientales. El costo de producción del agua es de apenas US \$4,083 el primer año y de US \$2,029 los siguientes años del proyecto propuesto (Barzev 2000.)

A través de una encuesta se descubrió que 66% de las familias pagarían un promedio de US \$ 0.26 al mes en efectivo y 69% pagarían 1.2 días laborales (US \$3) al mes en trabajo comunitario, para contribuir al proyecto de conservación del bosque y su oferta hídrica. El Mecanismo de Pago en Efectivo propuesto ha sido el IBI, Impuesto de Bienes Inmuebles, con una aceptación del 63%. Pero por los comentarios de los encuestados, por el hecho de que solo 55% de la población posee tierra propia y por el gran porcentaje de la población ubicada en los estratos sociales bajo y medio, sin recursos para pagar (84%), se considera que este mecanismo no es el más apropiado (Barzev 2000.).

Las opciones de mecanismo que han surgido en base de las encuestas son:

Se recomienda la recaudación mensual por los Comités Comunitarios. Lo importante es que la gente prefiere un cobro independiente de los demás impuestos, y que sepan que el dinero está destinado al proyecto (Barzev 2000.).

Si se utiliza el IBI, sería para formular una política fiscal a través de la cual se incentivarían los pobladores que adopten medidas de conservación. Por las medidas más simples se exoneraría un menor porcentaje del IBI. Las Medidas de Conservación se ordenan según grado de importancia para la realidad de Achuapa (Barzev 2000.).

El rol de la Municipalidad sería facilitar el proceso administrativo y manejo del Fondo del Ambiente. El manejo del Fondo de Ambiente será consensuado con una Comisión Multisectorial Independiente. La Evaluación Financiera del Proyecto, desde el punto de vista Privado y Social es Rentable, siendo que genera Beneficios Económicos aún cuando se internalizan los Costos Ambientales de Mantenimiento del Bosque. Esto justifica la implementación del Proyecto. (Barzev 2000.).

Una última consideración, según observaciones hechas a través de las encuestas, es que los pobladores no entienden completamente el concepto de Pago por Servicios Ambientales y esto definitivamente dificultaría la implementación de cualquier Mecanismo de Pago por SA. Por tanto, es necesario, por un lado, negociar con la población el mecanismo; y por otro lado, hacer talleres informativos y educativos explicando el concepto de PSA. (Barzev 2000.).

4. OBJETIVOS

4.1 General

Determinar el valor económico del servicio ambiental de captación hídrica que prestan los bosques de la microcuenca del Río El Riachuelo al municipio de Zacapa, como una alternativa para la protección y recuperación de las Tierras Forestales de Captación Hídrica.

4.2 Específicos

Obtener información básica de la microcuenca así como de los recursos naturales con que cuenta.

Determinar el valor económico del servicio ambiental de regulación hídrica por unidad de agua (Q / m^3), a partir del costo de oportunidad del uso de la tierra en la zona de recarga hídrica de la microcuenca del Riachuelo.

Proponer una tarifa por el servicio ambiental de abastecimiento de agua en la Cabecera Departamental de Zacapa.

5. METODOLOGÍA

5.1 Información básica

5.1.1 Región natural

Tierras metamórficas: incluyen suelos formados a partir de materiales geológicos tales como filitas, esquistos, dioritas, serpentinas, gneis: pueden considerarse inclusiones algunas calizas y valles con cubiertas de pómez que se localizan dentro de esta región (FAUSAC, 1996).

5.1.2 Región político-administrativa a la que pertenece la cuenca

Pertenece a la región político-administrativa III de Guatemala.

5.1.3 Sitio de drenaje de la cuenca

Pertenece a la cuenca del Río Grande de Zacapa, vertiente del Atlántico.

5.1.4 Rangos de altura de la cuenca

La altitud oscila entre 200 y 1700 metros sobre el nivel del mar con un promedio de altitud de 950 msnm.

5.1.5 Clima

El clima es cálido seco, con días claros en la mayor parte del año en la parte baja; días claros y soleados durante los meses que no llueve y parcialmente nublado durante la época de enero – abril en la parte media (zona de vida bosque seco subtropical) y templado a frío en la parte alta

con presencia de una estación lluviosa no definida ya que constantemente hay ocurrencia de lluvias, también es característico del área la nubosidad y por consiguiente la precipitación horizontal que caracteriza al tipo de bosque nuboso. La temperatura media anual oscila entre los 22 a 28⁰ C, con una precipitación pluvial de 1,689 mm anuales con un promedio de 187 días de lluvia, una humedad relativa entre el 28 a 35 % y una evapotranspiración potencial del 130%. (Cruz 1982).

5.1.6 Información socioeconómica

La información socioeconómica se obtuvo por medio de los datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2003) en el X Censo de Población y V de Habitación de 1,994 y proyectados de acuerdo a la tasa de crecimiento anual reportada para el municipio de Zacapa. Se consultó la Oficina Técnica Municipal de Zacapa y se hicieron recorridos en las comunidades para identificar los servicios, costumbres, tradiciones y presencia institucional en el área.

5.1.6.1 Demografía

Dentro de la microcuenca hay 8 aldeas y 20 caseríos pertenecientes a los municipios de Zacapa y La Unión, con un aproximado de 8,516 habitantes (INE 2003).

5.2 Estudio de capacidad de uso de la tierra (ECUT)

Por medio de fotointerpretación de fotografías aéreas escala 1:40,000, del año 2,000, se determinó el uso actual del suelo y las diferentes unidades fisiográficas que existen. Posteriormente, a través del trabajo de campo se consideraron los siguientes factores: profundidad del suelo, pendientes, pedregosidad, drenaje y vegetación existente. En fase de

gabinete se elaboraron los siguientes mapas: unidades fisiográficas, pendientes, profundidad del suelo, y finalmente el de capacidad de uso, utilizando como base el manual de clasificación de suelos por capacidad de uso del Instituto Nacional de Bosques (INAB).

Este estudio se elaboró con el propósito de determinar cuál es el uso más intensivo que soportan los suelos en el área, lo cual fue base para determinar cuál puede ser su mejor uso alternativo para la asignación de un valor económico a través del cálculo del costo de oportunidad.

5.2.1 Elaboración del mapa de unidades fisiográficas

Mediante técnicas de interpretación cartográfica y aerofotográfica, se definieron y delimitaron unidades de mapeo, las cuales constituyen la base del muestreo en la fase de campo. La definición de estas unidades se basó en una interpretación fisiográfica de las tierras, es decir, en un análisis del paisaje. El análisis por el cual se definieron las unidades de mapeo, tomó en cuenta los componentes de geología, clima, topografía, suelos e hidrografía. Para esta actividad se tomó en cuenta la escala a la cual se llevaría a cabo el estudio, 1:40,000, nivel de semidetalle.

5.2.2 Elaboración del mapa de pendientes

En este mapa se definieron unidades por pendiente con base en el mapa cartográfico (curvas de nivel). Se elaboró en forma manual por separación visual y utilización de plantillas, también se utilizó la fotografía aérea.

5.2.3 Fase de Campo

5.2.3.1 Verificación de los límites de las unidades de mapeo

Esta actividad se realizó por caminamientos, observaciones visuales y barrenamientos, a través de lo cual se llega a homogenizar las distintas unidades de tierra con base a criterios fisiográficos, cuya base principal es el relieve.

5.2.3.2 Determinación de profundidades de suelos y factores modificadores

Sobre el mapa de unidades de tierra (unidades fisiográficas) y/o en boletas de campo, se anotaron las profundidades efectivas de los suelos de cada unidad cartográfica previamente delimitada en gabinete y verificada en campo. Adicionalmente en cada unidad se realizaron las anotaciones del nivel en que se manifiestan los factores modificadores, en caso de estar presentes, para este estudio no fue el caso. La profundidad efectiva del suelo se midió en cortes de caminos.

5.2.3.3 Chequeo del mapa de pendientes

Consistió en realizar chequeos mediante mediciones en campo de las pendientes máximas en las unidades previamente definidas en gabinete, con el propósito de corroborar y hacer los ajustes correspondientes. Se realizó al mismo tiempo en que se hacían las lecturas del mapa de unidades de tierra.

5.2.4 Segunda fase de gabinete

5.2.4.1 Integración del mapa de unidades de tierra

Al mapa base de unidades fisiográficas se le denomina unidades cartográficas y con la información del factor limitante *profundidad del suelo*, se convirtió en un mapa temático sobre profundidades de suelos. Esto implicó que algunas unidades se unieran con otras y/o viceversa. Posteriormente, este mapa se sobrepuso en el mapa de pendientes. Este proceso llevó a separar nuevas unidades definidas por los límites de ambos mapas.

5.2.4.2 Elaboración del mapa de capacidad de uso

A cada unidad de tierra identificada en el proceso anterior, y con base en los niveles adoptados por cada factor limitante en la Matriz de capacidad de uso de la tierra para la Región “Tierras Metamórficas”, se le asignaron las categorías de capacidad de uso, como los factores modificadores *pedregosidad* y *drenaje* no son limitantes, a este mapa se le denominó Mapa de Capacidad de Uso de la Tierra.

5.3 Determinación de caudal

Se realizaron mediciones en los afluentes principales del río, así como en algunas fuentes de agua, para determinar cuál es el caudal total de la microcuenca del Riachuelo, principalmente y para fines del estudio, se necesitaba conocer el caudal de estiaje. Las lecturas se realizaron conjuntamente con una estudiante de la Maestría de Manejo de Cuencas de la FAUSAC, quien se encuentra realizando un estudio de Recarga Hídrica en la microcuenca, alternándose entre época seca y época lluviosa.

El procedimiento del aforo consistió en seleccionar un área del canal del río que permitiera la realización de la prueba en las mejores condiciones para el molinete (alto y ancho). El procedimiento de introducir el molinete se efectuó en tres ocasiones por sitio para obtener un promedio que permitió, aplicando las ecuaciones respectivas, calcular el caudal del río.

Los sitios de referencia para el caudal del río y para el caudal de distribución para consumo humano se realizaron en la Aldea Canogüitas, antes de que el agua del río ingrese a la planta de captación Municipal y, en la Planta de Tratamiento de Aguas de la Municipalidad de Zacapa, respectivamente.

La información referente a la situación del proceso administrativo del agua para la cabecera departamental de Zacapa y aldeas aledañas se obtuvo en el departamento de aguas de la Municipalidad de Zacapa.

5.4 Inventario forestal

Las áreas boscosas que existen en la microcuenca se ubicaron y delimitaron de acuerdo a las fotointerpretaciones. Los datos dasométricos se obtuvieron por medio de inventarios forestales que fueron levantados recientemente en las respectivas áreas a través del proyecto Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos del INAB y otros estudios realizados por particulares en el área. Se hicieron 6 recorridos de campo dentro del área, para verificar la veracidad de los datos y observar los factores que están afectando el recurso bosque.

En cuanto a la cobertura forestal en la microcuenca, esta corresponde a un 24.88% (bosques de pino, latifoliado, roble y ciprés), de los cuales se asume que se talan los bosques de pino y roble, y

se protege a través de PINFOR para áreas prioritarias mayores a 90 hectáreas el bosque de coníferas. La distribución de los tipos de bosque se muestra a continuación (Cuadro 5).

Cuadro 5. Tipos de bosque en la microcuenca del Riachuelo.

Categoría	Ha.	%
Árboles dispersos	1,962.16	36.47
Monte seco	1,817.07	33.77
Coníferas	1,123.28	20.88
Latifoliadas	349.40	6.49
Roble	121.26	2.25
Ciprés	7.57	0.14
TOTAL	5,380.74	100

Fuente: Elaboración propia.

La volumetría reportada para los estratos de coníferas (*Pinus oocarpa*) es de 74,749.23 m³ y para el de roble (*Quercus sp.*) corresponde a los 6,773.73 m³, que son los destinados a la tala.

Con formato: Numeración y viñetas

5.5 Determinación del valor económico

5.5.1 El precio de la madera

Los precios de la madera se obtuvieron en base al último listado publicado por el INAB para la Región III (Resolución 01.24.2003) y cotizaciones con aserraderos de la zona. El precio que se utilizó es el de la madera en pie. Siendo los siguientes (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valor de la madera en pie (Q/m³).

Especie	Troza	Leña
Género Pinus	87	10
Género Quercus	-----	10

Fuente: Resolución 01.24.2003 JD INAB.

5.5.2 Costos e ingresos de ganadería

En el área se determinó el tipo de explotación; los indicadores técnicos se determinaron a través de entrevistas con pobladores (peso de animales, tipo de pasto, plan profiláctico, medio de transporte, tipo de cultivo, variedad, etc.).

Con formato: Numeración y viñetas

5.5.3 Métodos y técnicas de valoración económica

5.5.3.1 Costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque

Muchas técnicas pueden ser colocadas debajo del título de costo de oportunidad. La base de la técnica es que el costo de oportunidad de bienes ambientales invaluable, como por ejemplo la preservación de un área, puede ser estimado a partir de las pérdidas de ingreso por otros usos del área, tales como agricultura, ganadería o explotación maderera (Hernández 2001).

La técnica mide cuál es la cuantificación o pérdidas de ingreso que es necesario asumir para poder utilizar el área como zona de preservación. En otras palabras, cuales son los ingresos que por actividades agropecuarias no se obtendrán, pues el área será conservada en su condición original y tales actividades no se llevarán a cabo. Generalmente la técnica se usa para aquellas áreas naturales sensibles, las cuales pueden ser tan intervenidas por un proyecto de desarrollo, que no se pueden recuperar y los efectos ambientales son irreversibles (Hernández 2001).

El costo de oportunidad de preservar el área será determinado del valor actual neto de los beneficios que se dejan de obtener por no realizar el aprovechamiento de los árboles. Hufschmidt *et al.* (1983) indican: *“la técnica es muy útil cuando se quiere estimar los beneficios totales netos de ciertos usos que no pueden ser estimados directamente. Por lo tanto, el Costo de oportunidad*

social es el beneficio social neto del mejor uso perdido. El método es relativamente fácil y rápido de aplicar y provee información valiosa para las personas que tienen que tomar decisiones y para el público en general”.

De acuerdo a Merayo, citado por Hernández (2001), una forma de llegar al costo de producción hídrica del bosque es valorar la cantidad de agua captada o disponible a través del costo de oportunidad de la mejor alternativa de uso de la tierra. Los costos del volumen de agua producido por efecto de la cobertura forestal se establecieron a partir de dos factores: el dinero que deja de percibir el propietario del bosque por conservarlo, correspondiente a la venta de madera y la explotación de ganadería extensiva (costo de oportunidad); y el costo de mantener el bosque de latifoliadas (PINFOR de protección).

Para el caso de los estratos de coníferas y roble, se asume que se realiza un aprovechamiento total de los árboles que tienen mercado (*Pinus oocarpa* y *Quercus sp.*), ya que los remanentes son quemados o simplemente quedan como árboles dispersos para sombra de ganado y consumo propio de leña. La proyección del costo de oportunidad se basó en el uso alternativo que tienen los bosques actualmente; ganadería extensiva en el caso del bosque de coníferas y encino, los cuales se sustituyen totalmente (1,244.54 ha) para la introducción del ganado, y en el caso del bosque latifoliado, su costo de oportunidad se basó en el pago por incentivos forestales para bosque de protección en área prioritaria (Resolución No. 01,30.2003 de Junta Directiva del INAB), para extensiones mayores a 90 hectáreas, en base a que sus especies son muy poco atractivas para el mercado maderero, por ser una zona de recarga de manantiales y por sus altas pendientes y difícil acceso. El bosque de ciprés no fue tomado en cuenta debido a que su crecimiento y desarrollo no permite obtener producto comerciable, ya que es una plantación voluntaria sin ningún manejo.

El proceso se da con la venta de madera en pie y su tala por parte del comprador, y la compra de ganado vacuno que es liberado en el área y reunido al finalizar el periodo de engorde (18 meses), destinándolo a la venta (Hernández 2001).

El análisis se basó en la estrecha relación que guarda el bosque de la cuenca con el caudal de estiaje (Brown, citado por Ortíz 2000); siendo la época en que el agua tiene mayor demanda debido a su empleo por los usuarios de riego y mayormente consumo humano.

El período de análisis está proyectado a 10 años (Valor actual neto a 10 años plazo), debido a la rápida sustitución del bosque, que está ocurriendo actualmente, utilizando para el cálculo una hoja iterativa del programa Excel 2000, con precios en dólares de los procesos de egresos e ingresos, en la cual se ingresan los mismos para obtener el VAN del costo de oportunidad.

5.5.3.2 Costos e ingresos de protección del bosque

Los costos de protección del bosque se determinan en función de los costos globales de administración y los específicos de mantenimiento por unidad de área (Ha.) y se contabilizarán en una proyección financiera. El período de análisis fue de 10 años, mismo que el del costo de oportunidad. Durante los primeros años se hacen inversiones en estudios, habilitación de áreas, brechas, administración, equipo, brigadas, etc.

Los ingresos percibidos por la conservación del bosque, corresponden al pago por Incentivos Forestales de Protección para áreas prioritarias mayores a 90 Ha.

5.5.3.3 Cálculo del precio de la unidad de agua

El valor del precio de la unidad de agua se determinó por medio de una casilla iterativa en la planilla Excel 2000, en donde se realizaron todos los análisis de costos e ingresos para determinar el VAN a 10 años plazo, tanto del Costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque, así como del Costo de protección del bosque latifoliado, sumando el ingreso del PINFOR.

El procedimiento consistió en determinar el costo de oportunidad del bosque de coníferas y encino (venta de madera en pie e introducción de ganadería) y los costos e ingresos (PINFOR de protección) de protección del bosque latifoliado, los cuales al ser relacionados con el caudal de estiaje promedio (aporte de la cobertura boscosa), enero a junio, para 365 días, diera como resultado el precio del agua.

La ecuación utilizada está basada en la propuesta por Hernández (2001) para el cálculo del valor del servicio de regulación hídrica del bosque en la subcuenca Jones, Sierra de Las Minas, Río Hondo, Zacapa:

$$PRH = \frac{VAN\ CO + CP}{VRH}$$

Donde,

PRH = precio de la unidad de volumen de regulación hídrica (m³).

VRH = volumen de regulación hídrica (m³).

VAN CO = valor actual neto del costo de oportunidad del bosque aprovechado (US \$).

CP = costo de protección del bosque latifoliado (US \$).

Lo anterior se expresa en la siguiente ecuación adaptada para el Riachuelo:

$$\frac{\text{CO bosque + Costo Protección latifoliado (PINFOR)}}{\text{Caudal de estiaje promedio en río}} = \text{precio del agua US \$/ m}^3$$

Caudal de estiaje promedio en río

A la ecuación anterior se agregan los costos de administración y tratamiento del sistema municipal de agua, con la finalidad de obtener una tarifa que incluya los costos de oportunidad y protección del bosque, relacionados al caudal de estiaje, que de cómo resultado una tarifa que interiorice todos los costos, y provea una fuente extra de ingresos, aparte de los que cubran los costos del sistema de agua municipal, para la protección y fomento del manejo sostenible de los bosques en el área de recarga hídrica de la microcuenca.

La ecuación queda de la siguiente forma:

$$\frac{\text{CO bosque + Costo protección latifoliado + Costo sistema agua municipal}}{\text{Caudal de estiaje promedio planta municipal}} = \text{tarifa municipal de agua US \$/ m}^3$$

Caudal de estiaje promedio planta municipal

= tarifa municipal de agua US \\$/ m³

Los datos económicos fueron ingresados en dólares estadounidenses, a una tasa del 4%, por ser una moneda dura con reducida tasa de inflación.

5.6 Implementación del sistema de pago por servicios ambientales

A continuación se analizan algunos elementos para tratar de acelerar la implementación de un sistema de pagos por servicios ambientales en una situación donde se siente la necesidad de proteger los recursos hídricos (Adaptado de Barzev 2000):

1. Identificar a los demandantes de los servicios ambientales. En el caso de fuentes de agua dulce, se identificará a todos los usuarios del agua (consumo doméstico, riego, generación hidroeléctrica, etc.).

2. Conformar la Comisión de Servicios Ambientales o una instancia similar (Consejo o Foro de Actores). Debe referirse directamente a la relación contractual de oferta y demanda de dichos servicios.

3. Identificar la oferta de servicios ambientales y los actores de la parte alta de la cuenca. Los productores o comunidades establecidas en la parte media y alta de la cuenca son potencialmente los oferentes de servicios que permitirán mejorar la cantidad y calidad de agua. Los oferentes de "río arriba" se organizan y nombran a sus representantes que les permitirán establecer relaciones contractuales con los demandantes (de río abajo) de bienes y servicios ambientales.

En el proceso de oferta y demanda de los servicios ambientales, los oferentes y demandantes negocian y pueden establecer relaciones contractuales tanto como individuos, como empresas o como representantes de grupos o colectividades territoriales.

4. Monitoreo inicial de las fuentes, los respectivos caudales y la calidad del agua. A cargo de la entidad que presta el servicio.

5. Mediante un diagnóstico se delimita el área a considerarse bajo el enfoque de servicios ambientales: microcuenca, nacimientos de agua, zonas de infiltración de agua, áreas con potencial de erosión, presencia de cárcavas, etc.

6. Definición de las actividades a realizar en la parte alta de la cuenca y la respectiva valoración económica de la inversión. Valoración económica de los bienes o servicios ambientales por parte de los demandantes. Acá se determina la disposición de la población beneficiaria a pagar por los servicios ambientales. Se elige un método de valoración adecuado al tipo de servicio ambiental.

7. Se determina un mecanismo de captación de recursos financieros provenientes de los demandantes.

8. Se conforma el Fondo de Servicios Ambientales. Si es necesario, en este punto interviene el gobierno local o nacional. La constitución de este fondo ilustra no solamente la voluntad de afectar fondos puestos a disposición por los demandantes para la obtención de nuevos servicios ambientales sino también para dejar claro que los nuevos flujos financieros serán manejados con transparencia.

9. Firma de contratos entre oferentes y demandantes.

10. Contratación de empresas o individuos que brindan asistencia técnica a los de la parte alta de la cuenca (de preferencia que tengan presencia en la misma, con experiencia en el manejo de recursos naturales y con credibilidad).

11. Contratación de la empresa certificadora (quien deberá evaluar la ejecución y calidad de los proyectos).

12. Monitoreo periódico de los caudales de agua y su calidad. A cargo de la entidad que presta el servicio.

13. Pago de los servicios ambientales según los resultados documentados. Los pagos pueden hacerse en distintos períodos de tiempo (según lo negociado).

Esta propuesta puede adaptarse según las necesidades o condiciones del lugar, y es importante el involucramiento de la autoridad local, principalmente la reguladora del servicio de agua, para convocar a los actores del sistema de pago por servicios ambientales, para la conformación o reactivación de las instancias necesarias, la implementación de estudios y asesorías de entidades con experiencia en cada tema, la elaboración de una planificación estructurada por período de tiempo y la negociación e implementación del programa.

6. RESULTADOS

6.1 Características del recurso suelo

6.1.1 Uso actual del suelo

Poco más del 58% del uso actual del suelo en la microcuenca del Riachuelo está siendo dedicado a pastoreo extensivo de ganado bovino, correspondiente a las categorías de árboles dispersos y monte seco, quedando únicamente un 24.88% de bosques propiamente dicho, repartidos entre coníferas (17.45%), latifoliadas (5.43%), roble (1.88%) y ciprés (0.12%); el restante 16.43% corresponde a café y cultivos anuales.

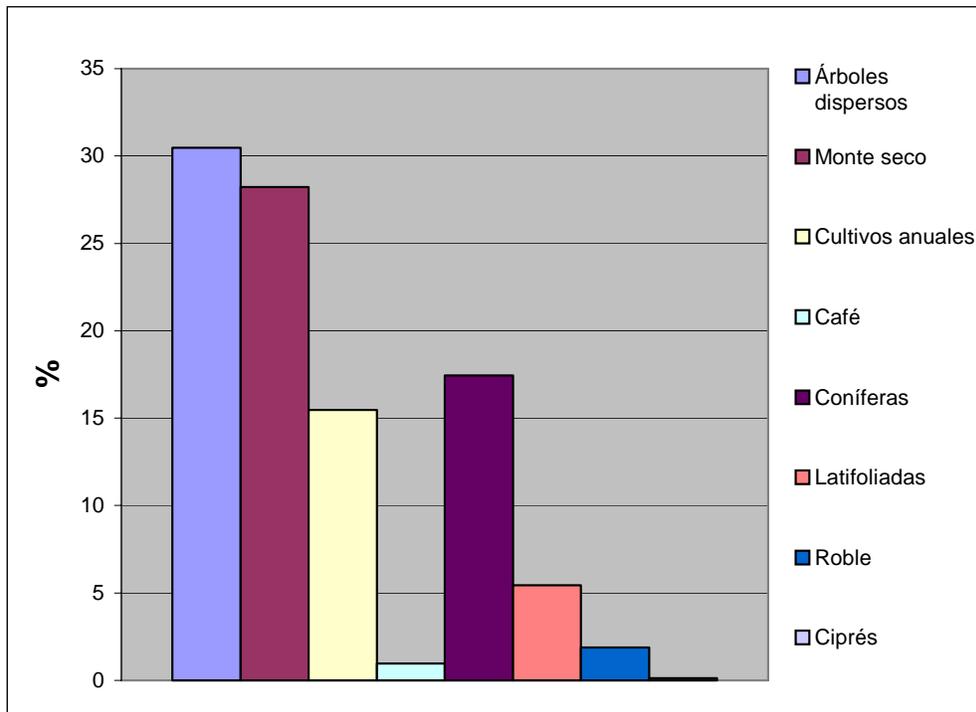
Como se puede observar en el Cuadro 7, la mayor parte del área (30.47%) corresponde a árboles dispersos; los cuales son los remanentes que se dejan luego de la tala del bosque de coníferas y la posterior introducción de ganadería.

Cuadro 7. Uso actual de la tierra en la microcuenca del Riachuelo.

Categoría	Ha.	%
Árboles dispersos	1,962.16	30.47
Monte seco	1,817.07	28.22
Cultivos anuales	995.91	15.47
Café	61.75	0.96
Coníferas	1,123.28	17.45
Latifoliadas	349.40	5.43
Roble	121.26	1.88
Ciprés	7.57	0.12
TOTAL	6,438.40	100

Fuente: Elaboración propia.

El anterior es el proceso que se ha venido dando en la microcuenca, con los resultados de un bosque degradado (hasta <10 arb/ Ha. Aproximadamente) y suelos erosionados (Figura 2).



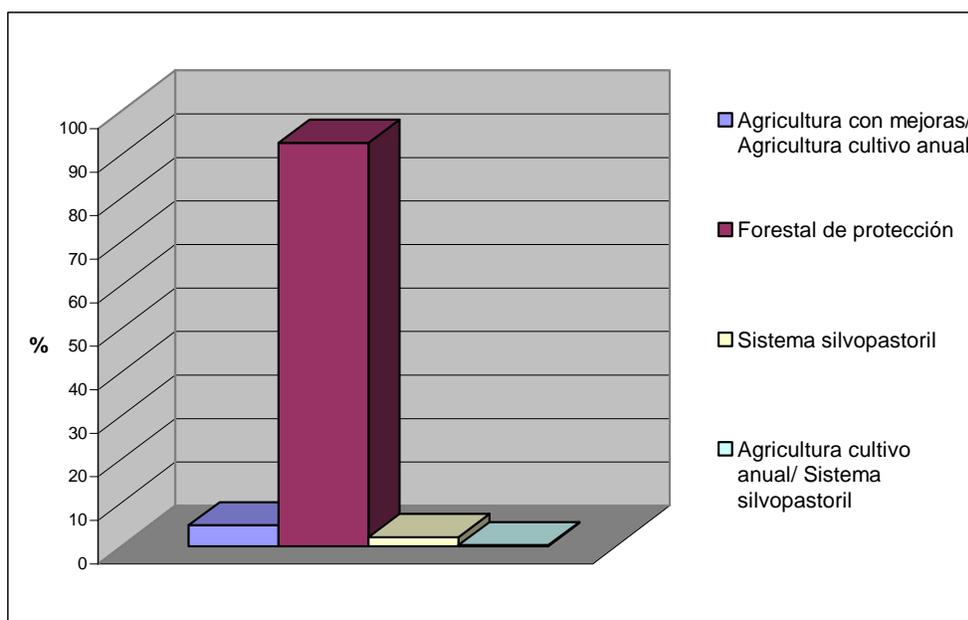
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Uso actual de la tierra, microcuenca del Riachuelo.

Las áreas que están siendo utilizadas para la agricultura se sitúan en terrenos con pendientes fuertes y no cuentan con ninguna medida y/o práctica de conservación de suelos, por lo que dichos suelos se están erosionando y la fertilidad se está perdiendo a un ritmo acelerado. Debido a la caída del precio del café, ya no se le está dando la debida atención a este cultivo, por lo que es común ver estas áreas en abandono total.

6.1.2 Uso potencial del suelo

De acuerdo al Estudio de Capacidad de Uso (ECUT) realizado en el área, se determinó que la mayor parte del área de la microcuenca del Riachuelo, es de uso forestal de protección, lo cual contrasta con el uso actual que se le esta dando a los suelos por parte de los pobladores, lo que acelera el proceso de degradación de los suelos, teniendo consecuencias en el abastecimiento de agua, debido la pérdida de la capacidad de recarga de acuíferos. El uso potencial del suelo para la microcuenca del Río El Riachuelo se muestra a continuación (Figura 3).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Capacidad de uso de la tierra, microcuenca del Riachuelo.

En base a los resultados del Estudio de Capacidad de Uso de la Tierra (ECUT) el 92.59 % (5,960.45 Ha) del área, tiene capacidad de uso Forestal de Protección. No obstante lo anterior, la

mayor parte del área es dedicada a pastoreo extensivo de ganado (áreas con árboles dispersos) y cultivos limpios en unidades con fuertes pendientes y suelos arenosos, en donde se han degradado los bosques para dar paso a estas explotaciones, sin tomar en cuenta la aptitud de las tierras, y únicamente el 24.88 % tiene cobertura forestal densa entre coníferas y latifoliadas, la cual se encuentra amenazada por la demanda de tierras para las explotaciones antes mencionadas y por la falta de atención de las autoridades hacia un área estratégica como esta, la cual les abastece del vital líquido.

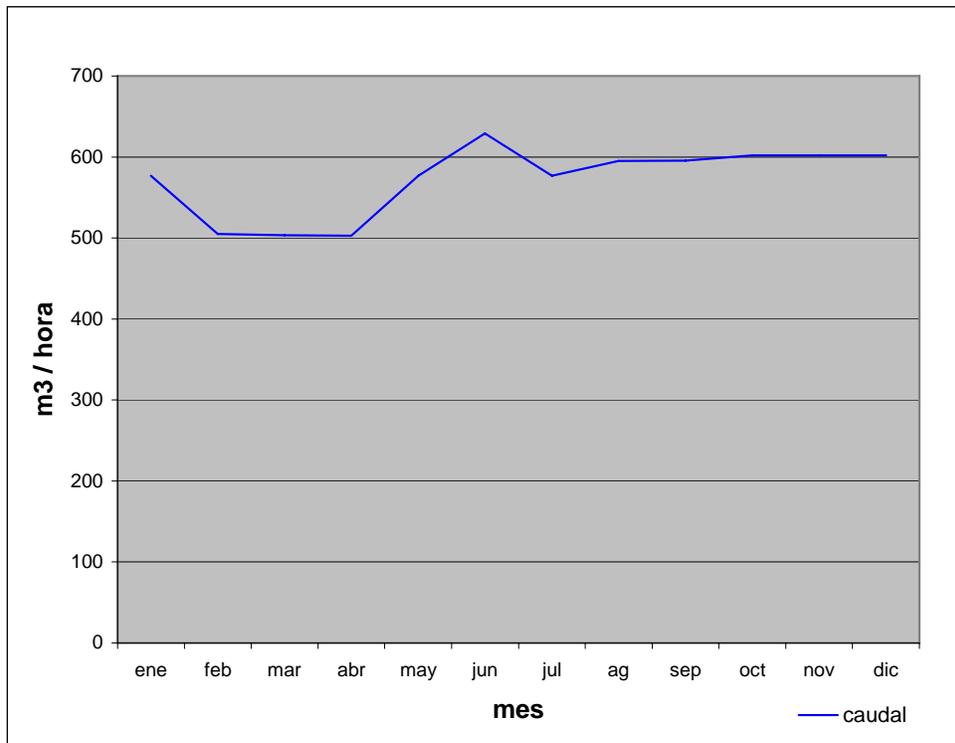
6.2 Características del recurso agua

6.2.1 Calidad del agua

Según los análisis de laboratorio (ver anexos), realizados a las muestras tomadas por la Maestría de Manejo de Cuencas de la FAUSAC, el agua que corre por el cauce principal y afluentes del río el Riachuelo, antes de ser tratada, no es apta para consumo humano, debido a la contaminación producida por el vertedero directo de contaminantes de los poblados ubicados en las márgenes del río y por el ganado que pasta en áreas aledañas a las fuentes de agua y al cauce principal. Sin embargo, el tratamiento que recibe el agua en la planta municipal es bueno, ya que ésta fue la única muestra que dio resultados positivos en cuanto a ser apta para consumo humano, no así el agua de los pozos.

6.2.2 Cantidad de agua

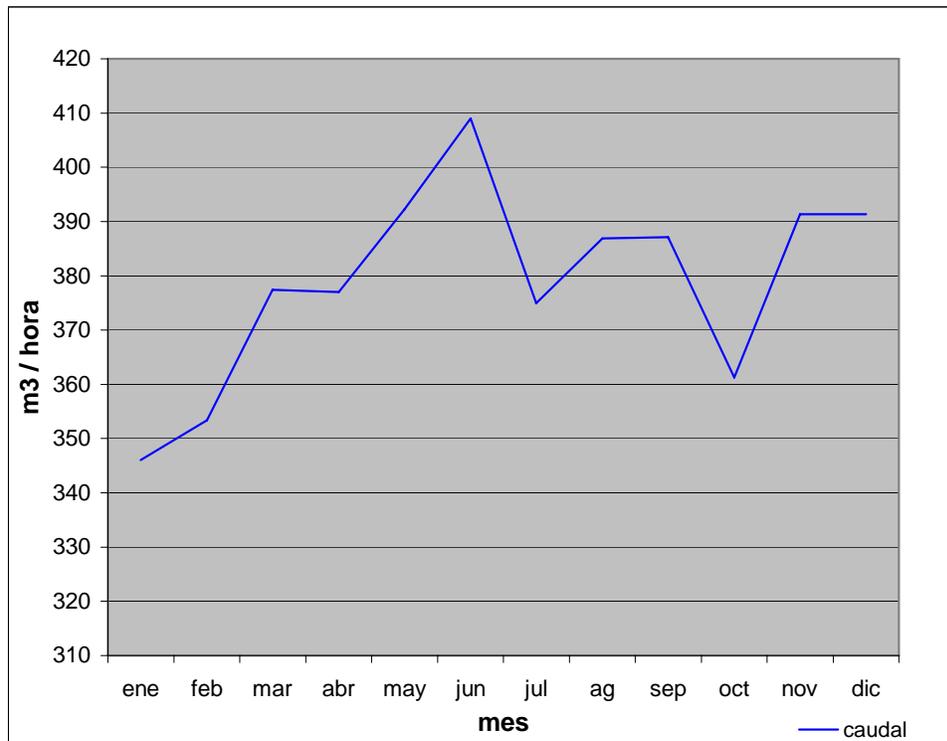
Se realizaron aforos en varias partes del río El Riachuelo, tomando como referencia los principales afluentes del mismo, los cuales proporcionan el caudal de estiaje. Los resultados su muestran a continuación (Figura 4).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Caudal del Riachuelo en el punto de aforo.

El caudal promedio en el punto de aforo del Río El Riachuelo es de 572.274 m³/ hora, sin embargo, el caudal utilizado para la valoración no es el caudal total, si no que solamente el que aporta la cobertura boscosa de la microcuenca del Riachuelo, el cual, es el correspondiente a los meses de enero a junio; 3,293.64 m³/ hora, o sea 4, 808,714.4 m³/ año (Figura 5).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Caudal en la planta de tratamiento de agua municipal.

El mismo cálculo se realiza para la tarifa municipal de agua, con la salvedad de que se utiliza el caudal promedio de enero a junio de la planta; $2,255.162 \text{ m}^3/\text{hora}$, o sea $3,292,533.6 \text{ m}^3/\text{año}$.

6.2.3 Proceso administrativo del agua

Según el Departamento de Aguas de la Municipalidad de Zacapa (2003), el agua que surte al municipio es captada del río El Riachuelo, a través de los afluentes conocidos como Quebrada El Agua Fría, Platanares y Tazijá. La presa de captación se encuentra en el caserío Canogüitas,

ubicado aguas abajo de la microcuenca del Río El Riachuelo, luego de ser captada y desarenada con filtros y palas, es conducida a la planta de tratamiento en donde se le da todo un proceso de purificación mediante la aplicación de sulfatos y cloro-gas, para luego ser transportada a los tanques de distribución. Esta instalación fue construida desde antes del año 1955. en esta época, fue diseñada una planta de tratamiento de acuerdo a la tecnología disponible; es decir, a la fecha, salvo mínimos cambios realizados, la planta de tratamiento de agua opera con criterios de hace 50 años, que en términos de ingeniería civil, ha agotado su vida útil, aunque en términos prácticos, operando con una eficiencia estimada en un 50% debido a su antigüedad, así como a la carencia de una operación y mantenimiento adecuados.

Actualmente atienden aproximadamente a 6000 usuarios, repartido entre: domésticos, comerciales, públicos e industriales (Municipalidad de Zacapa 2003).

Todo este proceso es administrado por la municipalidad de Zacapa, la cual cuenta con un departamento de aguas que es el encargado de todo el proceso, desde su captación hasta su distribución domiciliar y el posterior cobro; actualmente Q 11.20 por media paja (Municipalidad de Zacapa 2003).

6.2.4 Problemática

Según el Departamento de Aguas de la Municipalidad de Zacapa (2003), se tiene como principal problemática la escasez de lluvia, de la cual surgen las siguientes consecuencias:

- El río conduce demasiada arena, provocando que los tanques desarenadores se llenen demasiado rápido, lo que ocasiona el llenado de aire de las tuberías, bajando el caudal de conducción.

- Asolvamiento de tuberías.
- Pérdida de tiempo en el continuo lavado de tanques de sedimentación.
- Tubería de cemento en estado defectuoso por el maltrato que lo dan los vecinos.

Las tuberías se encuentran en mal estado porque en época seca el río baja su caudal considerablemente y los agricultores y ganaderos por medio de innumerables perforaciones hacen uso del agua tanto para riego como para dar de beber a los animales, entrando en conflicto las aldeas vecinas (Canogüitas, Loma del Viento, Tapatá, El Trapiche, Terrero, Maguey y Majada). Tal situación disminuye la cantidad de agua disponible y viene a repercutir en el casco urbano, ocasionando una problemática al departamento de Agua Potable, uniéndose a la problemática que se da en el casco urbano tales como: rompimiento de tuberías en el interior de las casas, llaves en mal estado, sanitarios con accesorios en mal estado, etc. para tener un mejor control se colocaron contadores (Municipalidad de Zacapa 2003).

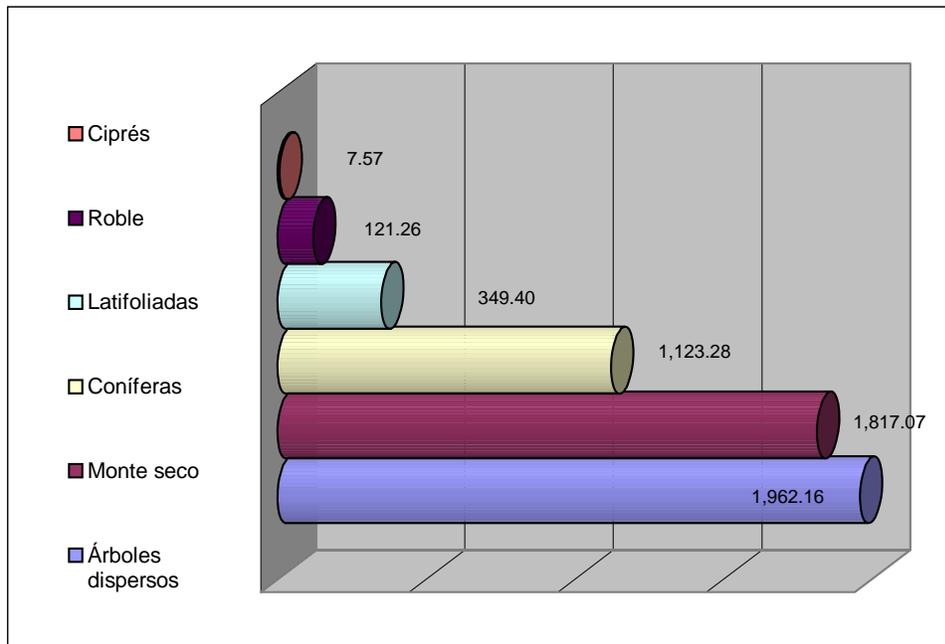
Dentro de la cobertura del servicio de agua potable se tiene especificado darle servicio de agua en estado crudo o sea sin tratamiento para el riego de árboles frutales y consumo de semovientes a las aldeas de Loma del Viento y Tapatá. Así mismo en forma gratuita, agua cruda, para el uso domestico a las aldeas siguientes:

- El Terrero: 1172 habitantes.
- El Maguey: 946 habitantes.
- La Majada: 1978 habitantes.

6.3 Características del recurso bosque

6.3.1 Extensión, localización y distribución del bosque en la cuenca

De acuerdo a la información recopilada de inventarios realizados en el área de estudio, y la información extraída de fotografías aéreas, dentro de la misma se encuentran seis estratos de bosque, los cuales se pueden agrupar, para fines del estudio en los siguientes: Roble, parte media; Coníferas, parte media y alta; Latifoliadas, parte alta y Monte seco, parte baja. El estrato de Ciprés, no fue tomado en cuenta para fines del estudio, ya que corresponde a una plantación voluntaria sin manejo, por lo que sus diámetros son menores a 10 cm. La distribución de los tipos de bosque se muestra a continuación (Figura 6).



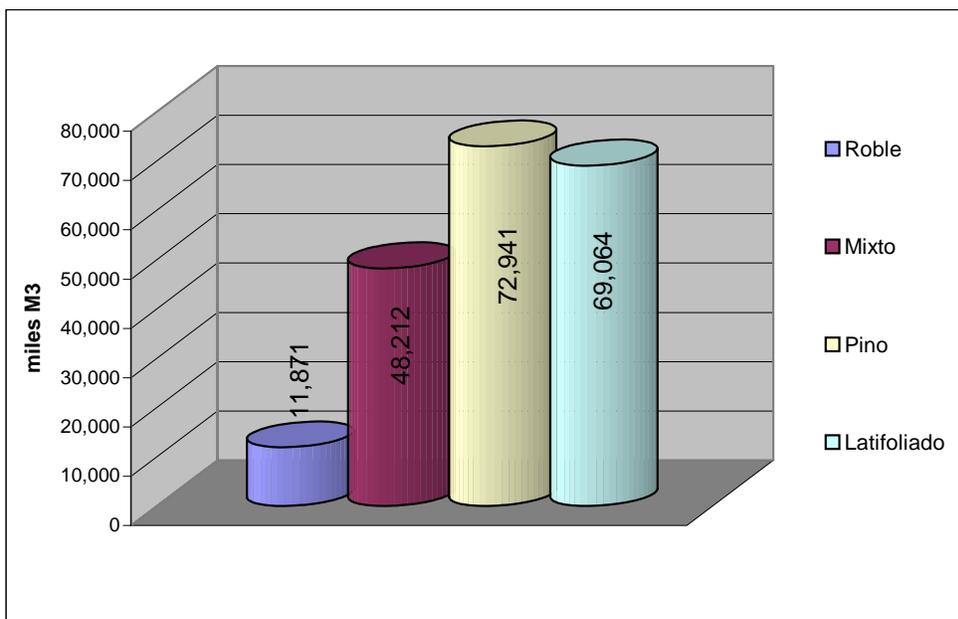
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Tipos de bosque en hectáreas, microcuenca del Riachuelo.

Las áreas que se tomaron en cuenta para la asignación del Costo de Oportunidad fueron 1,123.28 Ha de pino y 121.26 de encino; total 1,244.54 ha que se sustituyen para introducir ganadería, y para protección 349.40 ha de bosque latifoliado.

6.3.2 Situación actual y volumen del bosque

De las áreas boscosas de la microcuenca del río El Riachuelo actualmente se extrae leña para consumo domiciliar, ocote para consumo artesanal, y también son utilizadas para pastoreo de ganado bovino. Los propietarios de fincas con la finalidad de obtener mejor pasto optan por quemar el sotobosque, con lo cual se debilita la corteza de los árboles quedando susceptibles al ataque de plagas y enfermedades (Figura 7).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Volumen por estrato de bosque, microcuenca del Riachuelo.

6.4 Método de Valoración

La valoración del servicio ambiental de captación hídrica del bosque consistió en la determinación de dos componentes: costo de oportunidad y costo de protección, en relación con el caudal de estiaje de la microcuenca, para obtener el valor por unidad de agua en el punto de aforo del río; y los dos componentes anteriores más los costos del sistema municipal de abastecimiento de agua, relacionados con el caudal de estiaje de la planta municipal para obtener el valor de la tarifa municipal de agua.

6.4.1 Costo de oportunidad

Se basa en el uso alternativo que tienen actualmente los bosques de la microcuenca: ganadería extensiva. El proceso consiste en la venta de madera en pie, su respectiva tala por parte del comprador y la posterior compra e introducción de ganadería en el área, el cual es reunido y destinado a la venta al finalizar el período de engorde (18 meses), repitiéndose el ciclo constantemente, a medida que disminuye la cobertura y se estabiliza la compra venta del ganado en relación con el área (10 años). La sustitución del bosque de coníferas y roble corresponde a 1,244.54 ha, aplicando una tala máxima, no importando los impactos ambientales que esto conlleve según la capacidad de uso de los suelos.

El VAN del Costo de Oportunidad del suelo dedicado a bosque, para un período de análisis de 10 años, corresponde a los US \$ 132.96/ ha.

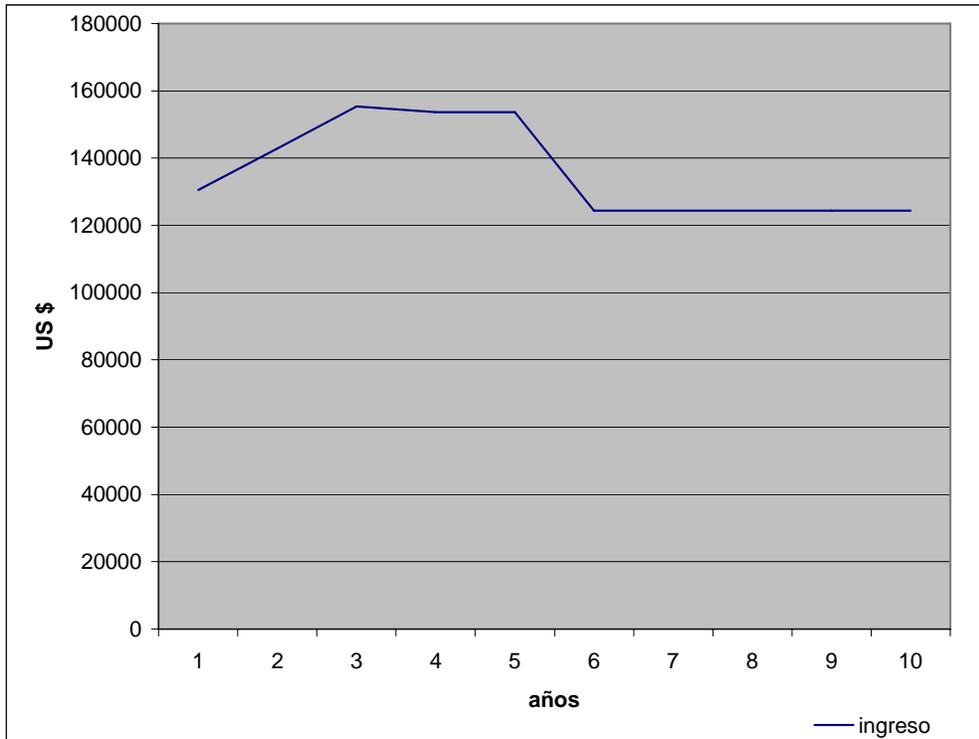
6.4.1.1 Protección del bosque

El estrato de bosque latifoliado no se somete a cambio de uso debido que el mercado para especies frondosas no es muy atractivo y en muchos casos la mayoría de especies no son comercializadas, el acceso al área es bastante difícil; en cuanto a pendientes, tipo de suelo arenoso, y la presencia de numerosas fuentes de agua dentro de esta área. Por lo que su costo de oportunidad esta basado en el pago por incentivos forestales (PINFOR) para áreas prioritarias mayores a 90 hectáreas.

Existen 31 especies identificadas dentro de este estrato, con un volumen total de 69,064.08 m³. Los árboles con mayor frecuencia en el bosque son: pimentillo (*Schinus molle*), chico de montaña (*Archas zapota*), guayabilla (*Colubrina arborensis*) y roble de montaña (*Quercus aata*). El PINFOR de protección del bosque latifoliado corresponde a los US \$ 28.64/ ha.

6.4.1.2 Ingresos

El rubro de ingresos corresponde a la venta de madera en pie y venta de ganado luego del período de engorde (Figura 8).



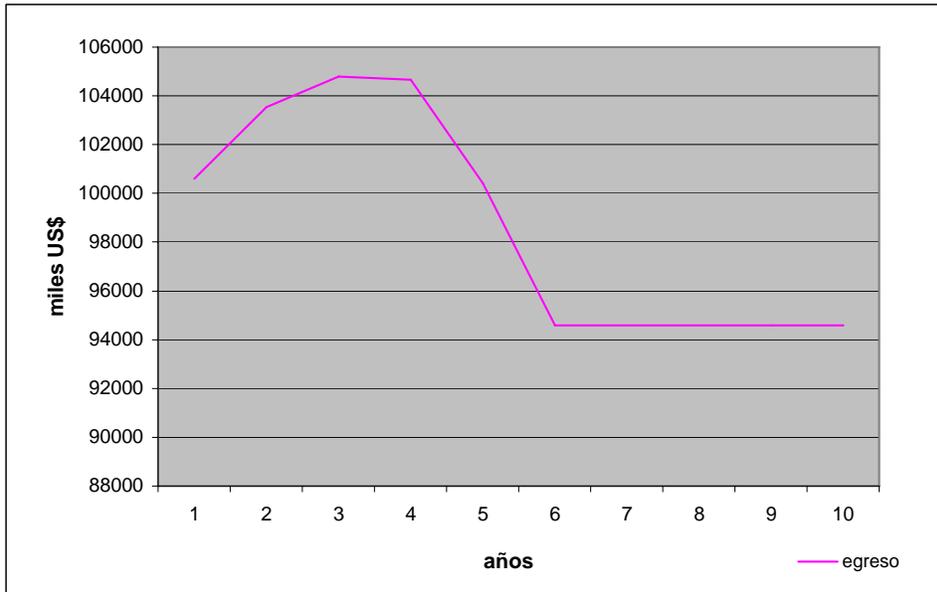
Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Ingresos del sistema, microcuenca del Riachuelo.

La primera alza en la gráfica, se debe a la venta de madera en pie, posteriormente se produce una ligera estabilización, resultado de la venta de madera y compra de ganado, luego se da un descenso como resultado de la compra de ganado para engorde para cubrir las nuevas áreas para pastoreo y la inversión en instalaciones, hasta estabilizarse por los períodos de compra venta del ganado adquirido luego de la tala del bosque.

6.4.1.3 Costos

Los egresos corresponden a gastos administrativos, compra de equipo, impuestos y contribuciones (costos fijos); sueldos, salarios, fletes, compra de ganado, insumos, brechas de extracción, imprevistos, (costos variables) etc (Figura 9).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Costos del sistema, microcuenca del Riachuelo.

El comportamiento de la curva se debe a que durante los primeros años se realiza la inversión inicial de aprovechamiento del bosque; brechas de extracción, equipo, estudios, etc. Posteriormente la curva llega a un máximo, resultado de la compra de ganado (con un incremento de 10% anual del área ganadera en sustitución del bosque), ampliación de instalaciones ganaderas y la posterior venta de madera en pie, hasta llegar a estabilizarse por que se deja de

invertir en instalaciones y se obtiene ingreso de la venta del ganado a través del cumplimiento de los períodos de engorde, lo cual alcanza un nivel de estabilización entre compra de ganado y venta del mismo, y la venta de madera.

Como resultado de el análisis financiero, para un período de 10 años, obtenemos un VAN con una tasa del 4%, para el Costo de Oportunidad del bosque de US \$ 165479.364 en total.

6.4.2 Cálculo del valor del servicio ambiental de captación hídrica del bosque

El cálculo del valor económico se basa en los beneficios actualizados del costo de oportunidad del bosque de coníferas y roble (venta de madera e introducción de ganadería) y los costos de protección del bosque latifoliado (PINFOR de protección), relacionados con el caudal de estiaje del Río El Riachuelo en su punto de aforo.

$$\frac{\text{CO bosque + PINFOR protección}}{\text{Caudal de estiaje promedio}} = \text{precio del agua US \$/ m}^3$$

Aplicando los resultados obtenidos a la ecuación propuesta, lo cual se llevó a cabo en una casilla iterativa en la planilla Excel 2000, obtenemos el valor correspondiente a los US \$ 0.036 / m³ en el punto de aforo, antes de que el agua ingrese a la planta de captación Municipal.

6.4.3 Cálculo del valor de la tarifa de agua municipal

El valor del precio de agua se estableció por medio de una casilla iterativa en Excel, en la cual se sumaba, al costo de oportunidad y PINFOR de protección, el costo de tratamiento del agua (US \$

225,316.45 /año.), el cual se relacionaba con el caudal de estiaje para un año en la planta de tratamiento municipal.

A través de lo anterior, y aplicando la ecuación:

$$\frac{\text{CO bosque} + \text{PINFOR} + \text{Costo sistema agua municipal}}{\text{Caudal de estiaje promedio planta municipal}} = \text{tarifa agua US \$/ m}^3$$

el valor económico corresponde a los US \$ 0.12 / m³ como tarifa municipal, lo cual implica un costo por ½ paja de agua (1 paja = 0.0231 lps; ½ paja = 30 m³) de Q 28.8 /mes.

6.4.4 Aspectos importantes de la tarifa de agua

Los resultados del ensayo deben tomarse con suma precaución, ya que se contó con información limitada, especialmente en lo referente a registro de caudales, así como con equipo y tiempo limitados para la generación de los mismos. El resultado del costo de la tarifa municipal de agua debe tomarse como referencia al momento de tomar decisiones relacionadas al valor del canon de agua, ya que el objetivo de la tarifa por metro cúbico de agua se basa en garantizar la permanencia de la superficie forestal de la microcuenca, compensando económicamente o con programas apropiados a los propietarios de los bosques para su manejo sostenible y la protección del bosque latifoliado.

De la aplicación de esta tarifa al número de usuarios registrados, se obtendrían ingresos mínimos necesarios para operar el sistema y además obtener un porcentaje extra por mes para ser utilizado en el fomento del manejo sostenible de los bosques en la microcuenca, por parte de una

organización local con experiencia en el área, supervisada por una entidad multisectorial. Es de hacer mención que sería de mucho beneficio el aplicar la tarifa estructurada en tipos de usuarios por volumen, ya que no sería justo que el que consume menos pague igual que un consumidor mayor.

Un parámetro para estimar el porcentaje necesario para la protección del bosque de la microcuenca del Riachuelo es el costo de protección por hectárea, que según el estudio es de US \$ 28.64 / Ha. Lo cual corresponde a US \$ 3,804.20 /mes para las 1593.94 hectáreas evaluadas.

7. CONCLUSIONES

7.1 La microcuenca del río El Riachuelo es la principal fuente de abastecimiento de agua para la Cabecera Departamental de Zacapa y comunidades aledañas, cuenta con una cobertura forestal de 1,593.94 hectáreas de bosque latifoliado y de coníferas, en el área de captación y recarga hídrica.

7.2 La cobertura forestal en la microcuenca del Riachuelo se encuentra amenazada y en proceso de degradación debido a la presión ejercida por parte de los pobladores del área, a través del aprovechamiento irracional del recurso bosque, así como la demanda de tierras para cultivo, como resultado de la carencia de actividades productivas, ambientalmente sostenibles, que generen ingresos directos; esto aunado a la falta de atención por parte de las autoridades y la población zacapaneca, ha ocasionado que el área se esté deteriorando a un ritmo acelerado, poniendo en riesgo el abastecimiento del vital líquido para la Cabecera Departamental de Zacapa, al minimizar la capacidad de regulación hidrológica de los bosques.

7.3 El bosque latifoliado es muy importante, ya que cumple una función de captación de agua durante las lluvias y de desprendimiento gradual del agua captada, en época seca, por lo que su conservación es sumamente importante para no romper el equilibrio hídrico y biológico, ya que también es un refugio para muchas especies de fauna.

7.4 El caudal utilizado para la valoración no es el caudal total, si no que solamente el que aporta la cobertura boscosa de la microcuenca del Riachuelo, el cual corresponde a los meses de enero a junio, que corresponden a 4, 808,714.4 m³/ año para el punto de aforo, antes del ingreso a la planta de captación municipal, y 3, 292,533.6 m³/ año para la tarifa municipal.

El servicio municipal de agua potable tiene una cobertura de 59,089 habitantes, compartidos en aproximadamente 6,000 usuarios, distribuidos entre servicio domiciliario, comercial, público e industrial, con un costo aproximado de Q 150,000.00 mensualmente.

7.5 El valor económico del servicio ambiental de regulación hídrica del bosque de la microcuenca del Riachuelo por unidad de agua, a partir de su costo de oportunidad, asciende a los US \$ 0.03 por m³, lo cual corresponde a un valor por hectárea de US \$ 61.97 por año.

7.6 El valor económico de la tarifa municipal por servicio ambiental de abastecimiento de agua es de US \$ 0.12 por m³, lo cual corresponde a un valor de Q 28.8 por media paja de agua.

8. RECOMENDACIONES

8.1 Preservar el bosque latifoliado existente en la parte alta de la microcuenca para evitar la reducción de los caudales en época seca y el incremento de los mismos en época lluviosa.

8.2 Que la Municipalidad de Zacapa coordine con las organizaciones locales para dar prioridad al área de estudio en cuanto a la implementación de programas y proyectos de desarrollo, sobre la base del manejo sostenible de los recursos naturales

8.3 Que el bosque natural sea una fuente directa de ingresos para los pobladores de la parte alta de la microcuenca y que los servicios que generan, sean incorporados a los flujos financieros de los productores.

8.4 Determinar la disponibilidad de pago de los beneficiarios del servicio de captación hídrica del bosque, a través de una encuesta de valoración contingente, en donde se aclare que una parte de dicho pago se destinará al fomento y manejo sostenible de los bosques en la parte media y alta de la microcuenca.

8.5 Implementación de un esquema de pago por el servicio ambiental de captación hídrica del bosque por parte de los beneficiarios del mismo, a través del análisis de los resultados del presente estudio, tomando como base la tarifa municipal que interiorice los costos del sistema de tratamiento, conducción y administración municipal, y que a la vez genere un ingreso extra para implementar un programa de fomento y manejo sostenible de los recursos naturales en la microcuenca.

8.6 Generar e impulsar un Plan de Manejo de la microcuenca del Riachuelo, enfocado al manejo sostenible de los recursos naturales, a través del ordenamiento territorial del área de estudio, que incluya un programa de prácticas de producción ambientalmente sanas dirigidas a las comunidades de la parte alta, enfocado principalmente a un cambio de actitud y a una responsabilidad ambiental adquirida por la sociedad, por medio del reconocimiento, valoración y pago del servicio ambiental de captación hídrica del bosque por los beneficiarios.

8.7 Impulsar investigaciones dirigidas a la generación de información útil que nos permita obtener las herramientas necesarias para la implementación de políticas que garanticen la sostenibilidad y sustentabilidad de los beneficios que generan los recursos naturales para el bienestar de las futuras generaciones.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado, R. 2003. Situación actual y problemática del servicio municipal de agua potable (entrevista). Zacapa, Guatemala, Municipalidad de Zacapa, Departamento de Aguas.
2. Arévalo, JL. 2000. Guía para la implementación del pago por servicios ambientales en departamentos y municipios: papel de los CODEMAs y Municipalidades. Guatemala, s.e. 34 p.
3. Barzev, R. 2000. Valoración económica de la oferta hídrica del bosque en que nace el río Chiquito, Achuapa, Nicaragua – para implementar un sistema de pago por este servicio ambiental y mantener la oferta de agua. Nicaragua. 102 p. (Documento preparado para PASOLAC).
4. Castro, E; Arreola, O. 2002. Valoración económica ecológica del capital natural: activos naturales, servicios ambientales y daño ambiental. Heredia, Costa Rica, Centro Regional de Estudios en Economía Ecológica. 121 p.
5. Castro, E; Barrantes, G. 1999. Estructura tarifa hídrica ambientalmente ajustada: internalización del valor de variables ambientales. Heredia, Costa Rica, s.e. 102 p. (Documento preparado para la Empresa de Servicios Públicos de Heredia).
6. Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible, CR. 2001. Definición de parámetros hídricos para la valoración del servicio ambiental de protección del recurso hídrico brindado por los bosques y plantaciones de Costa Rica. 46 p.
7. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de la zona de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
8. Curso valoración económica del recurso hídrico como herramienta para el control y la calidad del agua (2004, Guatemala, GT). Estudios de caso. San José, Costa Rica, CATIE. 120 p.
9. FAO, CR. 2003. FAO forestaría tropical. Costa Rica. s.p.

10. Hernández, O. 2001. Valoración económica del recurso hídrico en la subcuenca Jones, sierra de Las Minas, Guatemala. Guatemala. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 130 p.
11. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 2001 ó 1973. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja La Unión, no. 2360 IV. Guatemala. Esc. 1:50.000. Color.
12. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 2001 ó 1981. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja Zacapa, no. 2260 II. Guatemala. Esc. 1:50.000. Color
13. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 2001 ó 1969. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja Gualán, no. 2361 III. Guatemala. Esc. 1:50.000. Color.
14. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2000. Manual para la clasificación de tierras por capacidad de uso. Guatemala. 96 p.
15. _____. 2001. Manual para la elaboración de planes de manejo forestal en bosques de coníferas (modelo centroamericano). Guatemala. 212 p.
16. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2003. Registros de población basados en el censo de población y habitación de 1994. Guatemala. 1 CD.
17. Lee, R. 1980. Forest hydrology. New York, US, Columbia University Press. 136 p.
18. Marcano, JE. 2003. Nociones de ecología (en línea). República Dominicana. Consultado 19 dic. 2004. Disponible en <http://www.jmarcano.com/nociones/ciclo1.html>.
19. Motta, E; Salguero, M. 2002. Curso determinación de áreas de recarga hídrica (2002, Quiche, GT). Guatemala, s.e. 44 p.
20. Ortiz, AA. 2000. Valoración económica de los bienes y servicios ambientales producidos por las áreas protegidas de Guatemala: sistema guatemalteco de áreas protegidas: manual para la metodología de valoración económica de bienes y servicios ambientales. Guatemala, 48 p.
21. Rodas, OA. 1998. Producción de agua en bosques húmedos tropicales. PAFG Boletín Informativo no. 7: 7-12.

22. Samuelson, PA *et al.* 1996. Economía. 15 ed. McGraw Hill / Interamericana de España. 807 p.
23. USAC, Facultad de Agronomía, GT. 1996. Síntesis de geología de Guatemala. Guatemala. 12 p.

Vo. Bo. Rolando Aragón B.

10. ANEXOS

Cuadro 8 A. Estudio de Capacidad de uso de la tierra.

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES FORMULARIO PARA ESTUDIOS DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA	
No. de solicitud:	
Fecha: julio de 2004.	
I. DESCRIPCIÓN DE LA FINCA	
1.1 Nombre: MICROCUENCA DEL RÍO EL RIACHUELO 1.2 ZACAPA 1.3 ZACAPA	
1.4 Propietario: PRIVADOS Y MUNICIPALIDAD DE ZACAPA.	
1.5 Solicitante: INVESTIGACIÓN FORESTAL, CEFE.	
1.6 Representante legal:	
1.7 Superficie: 6438.4 Has. 1.8 Acceso: CAMINO A ALDEA MATASANO, DESDE ZACAPA HACIA LA FINCA TAXORO HASTA LA ZONA DE CAFETALES, RECORRIDO 17 KM. UNICAMENTE VEHÍCULO DE DOBLE TRANSMISIÓN. CARRETERA DE TERRACERÍA HACIA LA UNIÓN, POR LA MAJADA, HASTA ZOMPOPERO, 25 KM, BUEN CAMINO.	
Colindancias: NORTE: ALDEAS TAJARAL, GUINEAL Y ZOMPOPERO. SUR: ALDEAS MATASANO Y PINALITO.	
1.10 Localización geográfica: EL ÁREA SE ENCUENTRA AL SUR ESTE DEL MUNICIPIO DE ZACAPA, HOJAS CARTOGRÁFICAS (IGN) "LA UNIÓN", GUALÁN Y ZACAPA, COORDENADAS DE REFERENCIA UTM: long 228000, lat 1661000; long 228000, lat 1650000; long 244000, lat 1661000; long 244000, lat 1650000.	
II. OBJETIVOS DEL ESTUDIO: DETERMINAR LA CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA DE LA MICROCUENCA DEL RIACHUELO PARA EL CÁLCULO DE SU COSTO DE OPORTUNIDAD, PARA ESTIMAR EL COSTO DE LA UNIDAD DE AGUA EN Q/M ³ .	
III. METODOLOGÍA <i>(Descripción resumida de etapas de gabinete y campo según metodología de clasificación adoptada por el INAB)</i>	
SE UBICÓ EL ÁREA EN HOJAS CARTOGRÁFICAS ESCALA 1:50,000 Y SE INTERPRETÓ FOTOGRAFÍAS AÉREAS ESCALA 1:40,000 DEL AÑO 2000, OBTENIÉNDOSE ASÍ EL ÁREA DE TRABAJO, EN DONDE SE CONSIDERARON LOS SIGUIENTES FACTORES: PROFUNDIDAD DEL SUELO, PENDIENTES, PEDREGOSIDAD, DRENAJE Y LA VEGETACIÓN EXISTENTE. EN GABINETE SE ELABORARON LOS PLANOS SIGUIENTES: UNIDADES FISOGRÁFICAS, PENDIENTES, PROFUNDIDAD DEL SUELO, Y FINALMENTE EL DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA.	

IV. ANÁLISIS DE FACTORES Y NIVELES								
Unidad fisiográfica	Pendiente del terreno (%)	Profundidad del suelo (cm)	Factores modificadores		Capacidad de uso de la tierra	Uso predominante	Extensión	
			Pedregosidad	Drenaje			Ha	%
A11	<12	20 – 50	NL	NL	Am/ Aa	Cultivo anual / bosque galería	260.28	4.04
A12	<12	<20	NL	NL	Am/Aa	Cultivo anual	52.83	0.83
B11	26 – 36	<20	NL	NL	Fp	Matorral / cultivo anual	91.41	1.42
B12	12 - 26	<20	NL	NL	Ss	Matorral / cultivo anual	139.04	2.16
C11	>55	<20	NL	NL	Fp	Matorral / cultivo anual / Pastizal / arb. Dispersos	325.41	5.05
C12	>55	20 – 50	NL	NL	Fp	Pastizal / coníferas Disperso	7.99	0.13
C21	26 – 36	<20	NL	NL	Fp	Cultivo anual	14.17	0.22
C31	>55	<20	NL	NL	Fp	Cultivo anual / coníferas Disperso / latifoliado denso	4803.4	74.60
C32	36 – 55	<20	NL	NL	Fp	Pastizal / coníferas disperso	725.12	11.26
C41	12 - 26	20 < 50	NL	NL	Aa/ Ss	Pastizal	18.75	0.29
TOTAL							6438.4	100
V. OBSERVACIONES GENERALES								
<p>EL ESTUDIO SE REALIZÓ RESPETANDO TODOS LOS PARÁMETROS TÉCNICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE SUELOS DEL AREA, CON EL OBJETO DE DETERMINAR CUAL ES EL MEJOR USO DE LAS UNIDADES DE TIERRA QUE SE IDENTIFICARON PARA DETERMINAR, POR MEDIO DE SU CAPACIDAD DE USO, EL MEJOR USO ALTERNATIVO DE CADA UNA, A TRAVES DEL COSTO DE OPORTUNIDAD DE LAS TIERRAS CON COBERTURA FORESTAL, PARA ESTIMAR EL VALOR DE LA UNIDAD DE AGUA EN Q/M³. COMO PARTE DEL PLAN PILOTO DE VALORACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL HÍDRICO.</p>								
VI. CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES DE MANEJO								
<p>EL ÁREA EN ESTUDIO ESTÁ SIENDO DEGRADADA A UN RITMO ACELERADO AL HACER UN USO INCORRECTO DENTRO DE LA MISMA, PRINCIPALMENTE GANADERÍA EXTENSIVA Y CULTIVOS ANUALES EN UNIDADES CON FUERTES PENDIENTES Y SUELOS ARENOSOS, EN DONDE SE HAN DEGRADADO LOS BOSQUES PARA DAR PASO A ESTAS EXPLOTACIONES, SIN TOMAR EN CUENTA LA APTITUD DE LAS TIERRAS. LA MAYOR PARTE DEL ÁREA ES PARA UN USO FORESTAL DE PROTECCIÓN; TOMANDO EN CUENTA LOS FACTORES LIMITANTES,</p>								

ASI COMO SUS FUENTES DE AGUA, POR LO QUE SE DEBE DE REALIZAR UN ORDENAMIENTO TERRITORIAL A TRAVÉS DE UN PROYECTO DE MANEJO SOSTENIBLE DE LA MICROCUENCA DEL RIACHUELO PARA GARANTIZAR EL BUEN USO DE LA COBERTURA EXISTENTE Y LA RECUPERACIÓN DE AREAS DEGRADADAS, COMO UNA MEDIDA PARA GARANTIZAR LA BUENA RECARGA DE ACUÍFEROS Y EL POSTERIOR ABASTECIMIENTO DEL VITAL LIQUIDO A COMUNIDADES Y LA CIUDAD DE ZACAPA.

VII. REFERENCIAS DEL PROFESIONAL /TÉCNICO RESPONSABLE

7.1 Nombre completo: LUIS ALEJANDRO ARGUETA CERMEÑO

7.2 Profesión: PERITO AGRONOMO / TÉCNICO CEFE 7.3 Colegiado:

7.4 No. registro INAB:

7.5 Dirección y teléfono: INAB III-2, ZACAPA, 9413910, 9411073

A través de la siguiente firma, certifico que la información anteriormente consignada es correcta y veraz.

Firma: _____

VIII. PARA USO EXCLUSIVO DEL INAB

8.1 Nombre del técnico revisor:

8.2 Cargo: 8.3 Oficinas/Sub-región

8.4 Dictamen:

Estudio aprobado: _____

Estudio no aprobado: _____

En caso de no ser aprobado, indique las razones:

Firma: _____

Cuadro 9 A. Propiedades microbiológicas de las muestras de agua del Riachuelo.

	Norma de agua para consumo 500 UFC/ml	Norma de agua para consumo < 2 NPM/100ml	Norma de agua para consumo < 2 NPM/100ml		
Nombre del manantial	Recuento de bacterias totales UFC/ml	Recuento de coliformes totales NPM/100ml	Recuento de coliformes totales NMP/100ml	<i>Escherichia coli</i>	Conclusión del laboratorio LAMIR
Manantial Shuntuy	460	920	540	Se aisló	No cumple con las norma COGUANOR es decir no es potable
Quebrada del Pantano	200	1600	94	Se aisló	No cumple con las norma COGUANOR es decir no es potable
Quebrada Shuntuy	400	2400	2	Se aisló	No cumple con las norma COGUANOR es decir no es potable
Quebradita parte alta	600	920	< 2	No se aisló	No cumple con las norma COGUANOR es decir no es potable
Agua Fría	700	2400	280	Se aisló	No cumple con las norma COGUANOR es decir no es potable
Platanares	170	1600	510	Se aisló	No cumple con las norma COGUANOR es decir no es potable
Pozo el bordo	10	110	< 2	No se aisló	No cumple con las norma COGUANOR es decir no es potable
Pozo campo de feria	10	33	17	Se aisló	No cumple con las norma COGUANOR es decir no es potable
Planta de tratamiento(antes)	1000	2400	2400	Se aisló	No cumple con las norma COGUANOR es decir no es potable
Planta de tratamiento(después)	< 10	< 2	< 2	Se aisló	Si cumple con las norma COGUANOR es decir si es potable

Tanques de agua potable	360	1600	220	Se aisló	No cumple con las norma COGUANOR es decir no es potable
Pozo artesano Aldea el Terrero	200	240	5	Se aisló	No cumple con las norma COGUANOR es decir no es potable
Pozo artesano Aldea Maguey	400	> 2400	23	Se aisló	No cumple con las norma COGUANOR es decir no es potable

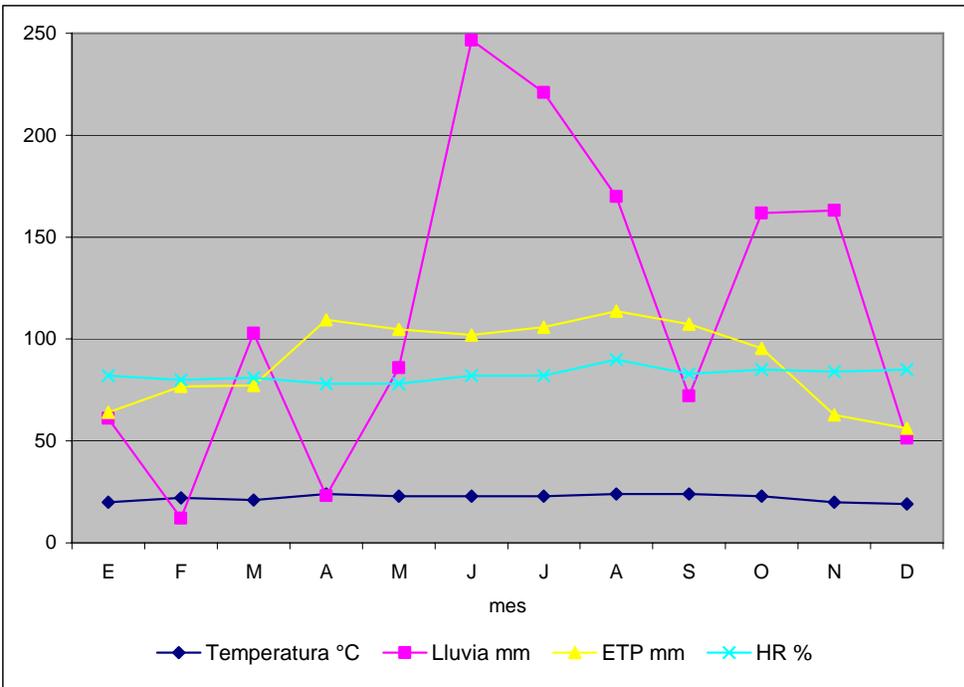
Cuadro 10 A. Propiedades físicas de muestras de agua del Riachuelo

Nombre del manantial	Límite máximo permisible según norma COGUANOR NGO 2901							Sulfatos meq/L SO ₄ ⁻²	Cloruros mg/L	
	6.5 - 9.2	50 - 1500	25	1500	-----	500	400			
	pH	Conductividad μ S/cm	Turbidez UT	Sólidos totales mg/L	Alcalinidad Total mg/L CaCo ₃	Dureza total mg/L CaCo ₃	Sulfatos mg/L SO ₄ -2			
Manantial Shuntuy	7,92	418	1,91	227	195,8	176,1	5,02	0,10	No detectados	
Quebrada del Pantano	8,08	397	0,83	202	160,2	172,8	5,49	0,11	No detectados	
Quebrada Shuntuy	7,84	478	1,05	226	195,8	171,1	3,6	0,07	No detectados	
Platanares	7,58	127	2,69	80	71,2	39,4	No detectados	0,00	No detectados	
Agua Fría	7,27	139	4,72	119	35,6	19,75	No detectados	0,00	No detectados	
Quebrada parte alta	6,77	64	1,44	36	35,6	5	No detectados	0,00	No detectados	
Planta de Tratamiento (1)	7,35	170	6,47	115	89	57,3	8,9	0,19	No detectados	
Planta de tratamiento(2)	6,07	138	0,59	64	53,4	20,73	17,69	0,37	No detectados	
Tanque de agua potable	7,08	129	227	353	53,4	22,71	4,94	0,10	No detectados	
Pozo el bordo	6,99	1197	3,47	888	302,6	211,28	61,94	1,29	0,04	0,001
Pozo campo de feria	7,51	951	0,7	583	267	80,96	38,38	0,80	0,04	0,001
Pozo Terrero	7,99	957	0,42	586	427,2	123,41	44,44	0,93	0,01	0,000
Pozo Maguey	7,87	943	0,83	526	338,2	103,67	10,82	0,23	0,02	0,001

RESULTADOS DEL LABORATORIO DE CIENCIAS QUIMICA Y FARMACIA

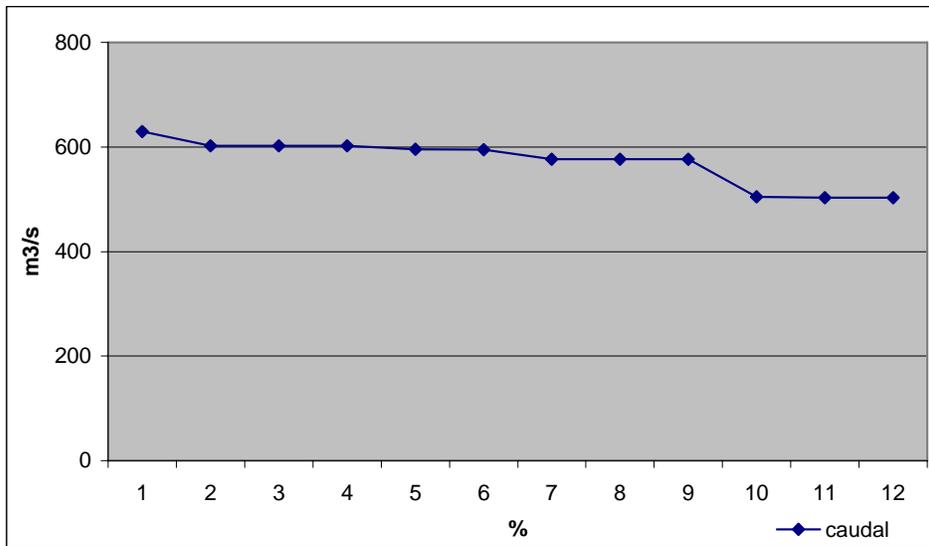
Cuadro 11 A. Límites COGUANOR permisibles.

Nombre del manantial	Límite máximo aceptable (LMA) mg/l							
	75	50		5	0,05		0,1	0,05
	Límite máximo permisible (LMP) mg/l							
	200	150		15	1,5		1	0,5
	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)
Manantial Shuntuy	40,1	14,46	18,4	6,26	0,00	0,00	0,00	0,00
Quebrada del Pantano	42,51	14,22	15,87	3,52	0,00	0,00	0,00	0,00
Quebrada Shuntuy	49,92	15,92	22,08	5,87	0,00	0,00	0,00	0,00
Quebrada parte alta	5,01	0,97	7,59	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Planta de Tratamiento (1)	15,04	4,25	10,58	2,74	0,00	0,00	0,00	0,00
Planta de tratamiento(2)	12,43	3,77	9,89	2,42	0,00	0,00	0,00	0,00
Tanque de agua potable	12,43	4,25	14,03	3,4	0,00	0,00	0,2	0,2
Pozo el bordo	122,51	34,52	60,03	8,72	0,00	0,10	0,00	0,10
Pozo campo de feria	50,13	14,83	103,96	6,02	0,00	0,10	0,00	0,10
Pozo Terrero	40,1	37,19	181,47	24,05	0,00	0,00	0,00	0,10
Pozo Maguey	25,06	40,96	92	18,53	0,00	0,00	0,00	0,20



Datos de referencia de la estación meteorológica más cercana y representativa con respecto a la parte alta de la microcuenca del Riachuelo.

Figura 10 A. Climadiagrama de la estación meteorológica La Unión, Zacapa, INSIVUMEH



Fuente: elaboración propia.

Figura 11 A. Curva de caudales del río El Riachuelo.

Eliminado: ¶