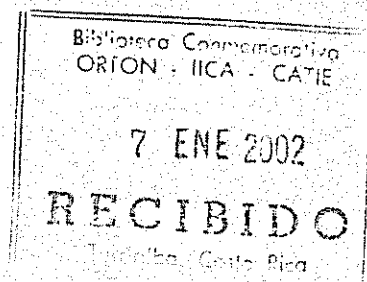


CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION

ESCUELA DE POSGRADUADOS



**VALORACIÓN ECONOMICA DEL RECURSO HÍDRICO,
SUBCUENCA JONES, SIERRA DE LAS MINAS, GUATEMALA.**

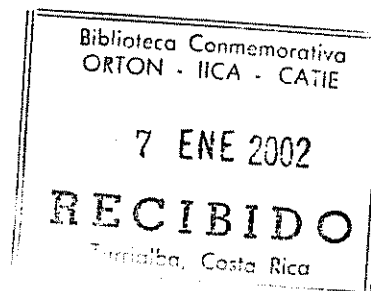
POR

OSCAR HEVER HERNANDEZ VELA

CATIE

**Turrialba, Costa Rica
2001**

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO



VALORACIÓN ECONÓMICA DEL RECURSO HÍDRICO, EN LA SUBCUENCA
JONES, SIERRA DE LAS MINAS, GUATEMALA.

Magister Scientiae

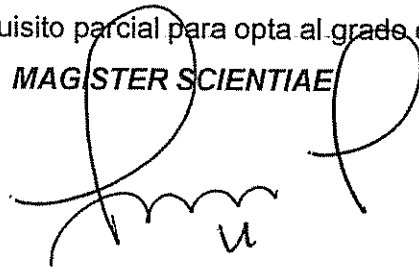
Por
Oscar Hever Hernández Vela

Turrialba, diciembre de 2001

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Dirección de la Escuela de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

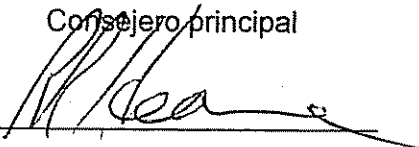
MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



Alan González, Ph. D.

Consejero principal



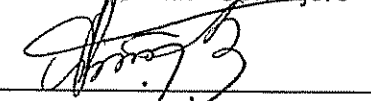
Robert Hearne, Ph. D.

Asesor principal



Manuel Gómez, M. Sc.

Miembro Comité Consejero



Sergio Velásquez, M. Sc.

Miembro Comité Consejero



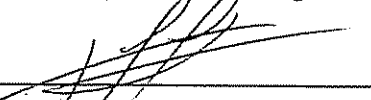
José Arze, Ph. D.

Miembro Comité Consejero



Ali Moslemi, Ph. D.

Director Escuela de Posgrado



Oscar Hernández Vela

Candidato

Al conejo y la ardilla...

AGRADECIMIENTO

El título de ésta hoja debería de ser una palabra que implique más que un simple gracias, se deja en esa forma, no sin antes aclarar que debe ser leída como un reconocimiento más amplio.

Son muchos los integrantes del equipo de trabajo que permitieron llevar el presente estudio: la idea tuvo su origen en la visión de un forjador del desarrollo de Guatemala: el M. Sc. Edin Barrientos (USAID) quien gestionó la maestría en manejo de cuencas hidrográficas y facilitó los recursos para la formación académica y el trabajo de campo. El M. Sc. Oscar Brenes (WWF) quien orientó la línea de investigación dentro del Corredor Biológico Mesoamericano, así como el interés y visión certera del M. Sc. Steve Gretzinger (WWF).

El proceso fue asesorado y facilitado por el staff de CATIE, dirigido por Ph. D. Alan González como profesor consejero, y los miembros del comité de tesis: Ph. D. Robert Hearne –créditos en economía ambiental y enseñanza permanente-, M. Sc. Manuel Gómez, M. Sc. Sergio Velásquez –por haber siempre creado un espacio para consulta - y M. Sc. José Arze –por sus pragmáticas orientaciones-. Además, fue valioso el tiempo dedicado por el Ph. D. Francisco Jiménez para la formulación de éste documento, así como el apoyo de Ligia Pérez.

La capacidad y experiencia de M. Sc. Luis Alberto Castañeda y M. Sc. Juventino Gálvez fueron un bastión trascendental para el afinamiento del proyecto final, así como el trabajo de campo. El staff de Defensores de la Naturaleza favoreció el desarrollo del estudio, especialmente el Ing. Oscar Núñez. Así también, los aportes de indiscutible calidad intelectual de M. Sc. Virginia Reyes. Durante la etapa de campo se integraron al equipo, el Ing. Inf. Oto Morales (trabajo de campo hidrológico y forestal), y el P. Agr. Lizardo López (asesor permanente del inventario forestal); así también, los contactos realizados con el Ing. Inf. Rubén Ortiz. Fué valiosa la colaboración de mi compañero de cuenca: M. Sc. Marvín Turcios y del "bloque de guatemaltecos" de la promoción CATIE 2001.

Y no por mencionarse en la última línea es menos importante, sino al contrario, es un final majestuoso: gracias Diana.

Hernández, OH. 2001. Valoración Económica del recurso hídrico en la subcuenca Jones, Sierra de las Minas, Guatemala. San José, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.

Palabras clave: Servicios ambientales, valoración económica, cuenca, Jones, Guatemala, agua, costo de oportunidad, costos evitados, compensación económica, análisis financiero.

RESUMEN

La destrucción ambiental está causando muchos problemas alrededor del mundo. Existe una separación entre economía –manejo de la casa- y ecología –conocimiento de la casa (Azqueta, 1994).

La valoración de servicios ambientales es la solución planeada para minimizar las fallas de mercado en nuestras sociedades, porque la respuesta al problema del ingreso de los pobladores rurales debe ser encontrado a través de una producción amigable con el ambiente. La meta en la cuenca Jones es identificar ingresos para la población sin dañar el ambiente. La cobertura forestal está siendo reducida (108 ha año^{-1}) durante los últimos 5 años) y ello afecta la cantidad de agua durante el verano, lo cual afecta la productividad agrícola y ganadera, e incluso pone en riesgo el consumo humano (Brown, et al. 1996).

Este estudio se realizó en la subcuenca Jones, en la Biosfera de Sierra de las Minas, Guatemala. El propuesta aspira a generar información científica relacionada con el valor del agua -impulsando un "mecanismo de precios"- a través del pago por servicios ambientales: i) una tarifa a una empresa hidroeléctrica condicionada por el proceso de sedimentación en el embalse y sus costos asociados ($\text{US } \$ \text{ ha}^{-1}$), y ii) la estimación del precio (costo total) del metro cúbico de agua, derivado del costo de oportunidad del suelo (en términos de venta de madera y ganadería extensiva) más el costo de protección del bosque que garantice el servicio hidrológico ($\text{US } \$ / \text{ m}^3$). El análisis fue dinámico (20 años plazo), porque fue el tiempo necesario para computar el cambio del uso de la tierra (hacia ganadería, pasando por la interfase: venta de madera comercial).

El estudio fue conducido en dos fases: recolección y análisis de información técnica y la aplicación de técnicas de valoración -costo de oportunidad, costo de protección y costos evitados-, las cuales fueron adaptadas a las condiciones de campo.

Los resultados mostraron que el servicio ambiental de "protección de la calidad de agua" fue valorado en alrededor de $\text{US } \$ 23 \text{ Ha}^{-1}$ en el caso de la hidroeléctrica, y $\text{US } 0.01/\text{m}^3$ por el servicio ambiental de "regulación hídrica" (equivalente a $\text{US } 77 \text{ ha}^{-1}$); los precios son similares a otros estudios (por ej. Costa Rica).

La reciente firma del protocolo de Kyoto (del cual Guatemala es un signatario) y creación del Ministerio de Ambiente favorece la creación de un programa de servicios ambientales. En realidad, la información generada (las tarifas) es una contribución de base para la generación de políticas relacionadas con el manejo de agua. Los resultados pueden ser usados, siempre y cuando se realicen los ajustes correspondientes a otras cuencas. Esperemos que el siglo XXI sea recordado por un manejo sostenible de los recursos naturales, y no como su destructor.

SUMMARY

Environmental destruction is causing many problems around the earth. There exists a separation between economy -house management- and ecology -house knowledge- (Azqueta, 1994).

The environmental service assessment is the solution for the market's failure in our societies, because the answer to the income problem must be found through environmentally friendly production. The goal within the Jones watershed is to identify incomes for the population without damaging the environmental. The forest cover has been reduced and it affects the amount of water during the summer, which affects the agricultural and livestock productivity and also puts at risk the human consumption (Brown et al, 1996).

This study was carried out in Jones Watershed, within the Sierra de las Minas Biosphere, Guatemala. The aim of the proposal is to create scientific information regarding water value (monetary terms) through the estimation of payments for environmental services: i) Hydroelectric fee conditioned by the sedimentation process in the water storage and its associated costs (US \$ Ha^{-1}), and ii) the estimation of water price (in cubic meters) using the opportunity cost (in terms of timber sale and extensive livestock) and protection cost of the forest (US \$ / m^3). The analysis period was of twenty year because it was the time necessary for compute the land use change (from *Pinus oocarpa* to livestock, passing for sale timber).

The study was conducted in two stages: collection and analysis of technical information and applied environmental techniques (cost of opportunity, protection cost and avoidance cost). In this way the techniques were adapted to the field conditions. A method has not yet been defined, because this type of investigation is new—it is a combination of many disciplines such as economy, forestry, hydrology, anthropology, geographic information to mention a few.

The results showed the forest environmental service called "quality water protection" was valued at around US \$ 23.00 ha^{-1} in the hydroelectric case, and US \$ 0.01 per cubic meter for the service related to water regulation (like US 77 ha^{-1}), the prices are very similar to other studies (i.e. Costa Rica).

The Kyoto protocol signed recently (of which Guatemala is a participant) and the Government's Environment Affairs Ministry favor the emergence of an environmental service program. As a matter of fact, this information (the fees) is like basic contribution for the design of politics related with water management. The results can be used, but keeping in mind that they cannot be applied to other watersheds without the corresponding adjustment.

It is the hope that the 21st century be remembered for the sustainable management of environmental resources, not as when it was destroyed.

CONTENIDO

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | INTRODUCCION..... | 12 |
| 1.1 | Objetivos..... | 14 |
| 1.2 | Objetivo General..... | 14 |
| 1.3 | Objetivos Específicos | 14 |
| 1.4 | Hipótesis | 15 |
| 2 | REVISION BIBLIOGRAFICA..... | 15 |
| 2.1 | Fundamentos hidrológicos..... | 15 |
| 2.1.1 | Importancia del Agua | 15 |
| 2.1.2 | El ciclo hidrológico | 16 |
| 2.1.3 | Erosión y sedimentación..... | 17 |
| 2.1.3.1 | Erosión..... | 18 |
| 2.1.3.2 | El método EUPS..... | 18 |
| 2.1.3.3 | Sedimentación | 20 |
| 2.1.4 | El enfoque de cuencas en el manejo hidrológico | 21 |
| 2.1.5 | El cambio climático y su influencia en el ciclo hidrológico..... | 22 |
| 2.2 | Elementos de los bosques..... | 22 |
| 2.2.1 | Definición de bosques nubosos | 22 |
| 2.2.2 | El papel de los bosques nubosos en el ciclo hidrológico..... | 22 |
| 2.2.3 | Mitos sobre agua y bosque | 24 |
| 2.2.4 | Manejo de bosques | 25 |
| 2.2.5 | Inventario forestal..... | 25 |
| 2.2.5.1 | Diseño irrestrico al azar..... | 25 |
| 2.2.5.2 | Estimación de atributos de los árboles | 25 |
| 2.3 | Economía ambiental | 26 |
| 2.3.1 | Generalidades | 27 |
| 2.3.2 | Reflexiones sobre el desarrollo y el ambiente..... | 28 |
| 2.3.3 | Definición de servicios ambientales (S.A.)..... | 28 |
| 2.3.4 | Técnicas de valoración | 30 |
| 2.3.4.1 | Costo de oportunidad..... | 31 |
| 2.3.4.2 | Costos evitados..... | 32 |
| 2.4 | Fundamentos de matemática financiera | 32 |
| 2.4.1 | Aspectos conceptuales..... | 33 |
| 2.4.2 | Análisis financiero..... | 33 |
| 2.4.3 | Niveles de análisis financieros | 34 |
| 2.4.3.1 | Métodos de recopilación de datos para análisis financieros..... | 35 |
| 2.4.4 | Ventajas y limitantes de las técnicas propuestas | 35 |
| 2.5 | Aspectos legales | 35 |
| 2.5.1 | El tema del agua a nivel regional..... | 35 |
| 2.5.2 | Marco legal del agua en Guatemala | 36 |
| 2.5.3 | Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas | 38 |
| 2.6 | Estudios de caso | 42 |
| 2.6.1 | Estudios de valoración económica afines..... | 42 |
| 3 | MATERIALES Y METODOS..... | 45 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.1 | Localización de la zona de estudio | 45 |
| 3.1.1 | La subcuenca Jones | 45 |
| 3.1.1.1 | Condiciones climáticas | 45 |
| 3.1.1.2 | Condiciones socioeconómicas | 46 |
| 3.2 | Recolección y análisis de la información | 47 |
| 3.2.1 | Fase I: Información biofísica | 50 |
| 3.2.1.1 | Modelo de elevación digital | 50 |
| 3.2.1.2 | Mapa de uso del suelo | 50 |
| 3.2.1.3 | Estimación del caudal de la subcuenca Jones | 51 |
| 3.2.1.4 | Inventario forestal | 53 |
| 3.2.1.5 | El precio de la madera | 55 |
| 3.2.1.6 | Costos e ingresos de ganadería | 56 |
| 3.2.1.7 | Embalse hipotético en la microcuenca Colorado | 56 |
| 3.2.1.8 | Erosion y sus efectos en la sedimentación del embalse | 57 |
| 3.2.1.9 | Cálculo de la sedimentación actual –con cobertura forestal- | 58 |
| 3.2.1.10 | Cálculo de la sedimentación simulada –sin cobertura forestal- | 58 |
| 3.2.1.11 | Determinación de costos de dragado | 63 |
| 3.2.2 | Fase II: aplicación de métodos y técnicas de valoración económica | 64 |
| 3.2.2.1 | Costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque | 64 |
| 3.2.2.2 | Costos e ingresos de protección del bosque | 66 |
| 3.2.2.3 | Cálculo del precio de la unidad de agua | 67 |
| 3.2.2.4 | Determinación de la relación dosis / respuesta | 67 |
| 3.2.2.5 | Respuesta simulada (sedimentación) a distintos niveles de dosis (cobertura forestal) | 68 |
| 3.2.2.6 | Valor de la unidad de bosque por la protección de la calidad del agua | 69 |
| 4 | RESULTADOS | 70 |
| 4.1 | Valoración del servicio ambiental de regulación hídrica | 70 |
| 4.1.1 | Características de la subcuenca Jones | 71 |
| 4.1.1.1 | Uso del suelo | 71 |
| 4.1.1.2 | Relación bosque / agua | 74 |
| 4.1.2 | Método de Valoración | 75 |
| 4.1.2.1 | Definición de las proyecciones de uso del suelo | 76 |
| 4.1.2.2 | Proyección 1: Uso alternativo del suelo –costo de oportunidad- | 77 |
| 4.1.2.3 | Proyección 2: Protección del bosque | 79 |
| 4.1.2.4 | Simulación de las proyecciones financieras | 80 |
| 4.1.2.5 | Proyección 1: Uso alternativo del suelo | 80 |
| 4.1.2.6 | Proyección 2: Protección del bosque | 86 |
| 4.1.3 | Cálculo del valor del servicio de regulación hídrica | 89 |
| 4.1.3.1 | Implicaciones del precio del metro cúbico de agua | 92 |
| 4.1.3.2 | Aspectos importantes | 92 |
| 4.1.3.3 | Contribuciones a política ambiental | 93 |
| 4.2 | El servicio ambiental de protección de la calidad de agua | 94 |
| 4.2.1 | Situación actual de la microcuenca Colorado | 96 |
| 4.2.1.1 | Ubicación | 96 |
| 4.2.1.2 | Producción hídrica | 97 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.2.2 | Sedimentación del embalse | 98 |
| 4.2.2.1 | Las dosis: los escenarios de cobertura forestal | 99 |
| 4.2.2.2 | Estimación de la erosión (RUSLE) | 100 |
| 4.2.2.3 | Resultado de la ecuación de pérdida de suelo | 102 |
| 4.2.2.4 | Las características del embalse hipotético | 106 |
| 4.2.2.5 | El factor de ajuste: Sedimentación / Erosión | 107 |
| 4.2.2.6 | Los niveles de respuesta: Sedimentación por escenario | 108 |
| 4.2.3 | Valor del servicio forestal de protección de la calidad del agua | 109 |
| 4.2.3.1 | Ecuación de cálculo | 109 |
| 5 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 116 |
| 5.1 | Conclusiones..... | 116 |
| 5.1.1 | Generales | 116 |
| 5.1.2 | Relacionadas a la tarifa base del metro cúbico de agua | 116 |
| 5.1.3 | En relación a la tarifa base de la hidroeléctrica | 117 |
| 5.2 | Recomendaciones | 117 |
| 6 | BIBLIOGRAFIA..... | 118 |
| 7 | ANEXOS..... | 123 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|--|-----|
| Cuadro 1. Métodos de estimación de valores | 30 |
| Cuadro 2. Areas antiguas y actuales de las zonas de manejo de la RBSM | 39 |
| Cuadro 3. Uso de la tierra en la Reserva de Biosfera de Sierra de las Minas | 40 |
| Cuadro 4. Estudios de caso sobre valoración de agua | 43 |
| Cuadro 5. Población por comunidad de la Subcuenca Jones | 46 |
| Cuadro 6. Síntesis de métodos y materiales empleados por objetivo del estudio | 48 |
| Cuadro 7. Fechas de medición del caudal | 51 |
| Cuadro 8. Valores del factor C de acuerdo a diferentes usos en la microcuenca Colorado | 61 |
| Cuadro 9 . Uso de la tierra de la subcuenca Jones..... | 71 |
| Cuadro 10. Cambios en el uso de la tierra para un período de 5 años, subcuenca Jones | 74 |
| Cuadro 11. Costo de oportunidad del suelo de acuerdo a la categoría de uso original | 78 |
| Cuadro 12. Distribución de bosque de acuerdo a tipo y función | 80 |
| Cuadro 13. Distribución del estrato de coníferas por especie | 81 |
| Cuadro 14. Valor del metro cúbico de agua..... | 91 |
| Cuadro 15. Comparación entre estudios de precios del agua (costo de oportunidad)..... | 91 |
| Cuadro 16. Uso de la tierra de la microcuenca Colorado..... | 96 |
| Cuadro 17. Escenarios de uso del suelo..... | 99 |
| Cuadro 18. Valores del factor C para uso de la tierra | 102 |
| Cuadro 19. Pérdida de suelo en la Microcuenca Colorado | 103 |
| Cuadro 20 Características técnicas del embalse | 107 |
| Cuadro 21. Cálculo de la sedimentación, basado en el factor de ajuste | 108 |
| Cuadro 22. Perdidas ocasionadas por operación suspendida | 111 |
| Cuadro 23. Valoración total del servicio ambiental de protección de la calidad de agua. | 111 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Relación entre métodos para cálculo de sedimentación | 58 |
| Figura 2. Estimación de erosión, método RUSLE | 59 |
| Figura 3. Uso de la tierra 2000, subcuenca Jones | 73 |
| Figura 4. Sustitución del bosque por ganadería..... | 77 |
| Figura 5. El bosque como productor de servicios ambientales | 79 |
| Figura 6. Distribución y tipos de bosque de la subcuenca Jones (2000)..... | 81 |
| Figura 7. Distribución del bosque de pino por clase diamétrica | 82 |
| Figura 8. Composición del bosque de latifoliadas por especie (nombre común)..... | 83 |
| Figura 9. Comportamiento de la curva de ingresos, proyección 1 | 84 |
| Figura 10. Comportamiento de la curva de egresos, proyección 1 | 85 |
| Figura 11. Hidrograma de la subcuenca Jones, 2001 | 86 |
| Figura 12 . Flujo de ingresos, proyección 2. | 88 |
| Figura 13. Flujo de egresos de la proyección 2..... | 89 |
| Figura 14. Hidrograma de caudal de la microcuenca Colorado, año 2001..... | 98 |
| Figura 15. Erosión actual en la microcuenca Colorado | 103 |
| Figura 16. Erosión simulada del escenario 1 | 104 |
| Figura 17. Erosión simulada del escenario 2 | 105 |
| Figura 18. Distribución de áreas de dedicadas a bosque en la microcuenca Colorado.. | 106 |

1 INTRODUCCION

Los efectos de la degradación ambiental se incrementan a nivel mundial, poniendo en peligro la existencia de las especies que habitan el planeta. La aplicación de distribuciones con inequidad social ha ocasionado que se obtengan beneficios económicos a partir de la destrucción de los recursos naturales. Las relaciones entre economía -*administración de la casa*- y ecología -*conocimiento de la casa*-, no han sido equilibradas como hubiera sido deseable (Azqueta, 1994).

El mercado de servicios ambientales surge con el propósito de corregir las distorsiones de mercado¹, y aunque se desarrolla incipientemente –no existe oferta ni demanda real- es la propuesta para proteger y recuperar las coberturas naturales (especialmente bosque) de las cuencas de manera sostenible.

El cambio de uso de la tierra –de bosque a tierras para ganadería o agricultura- se debe a que las nuevas actividades representan mayores fuentes de ingreso para las débiles economías campesinas, en comparación a los beneficios económicos que actualmente generan los bosques.

El valor de los servicios ambientales de la cobertura forestal de Guatemala es una cifra considerable: cuarenta y cuatro millones de dólares (U.S. \$ 44,000,000), lo que corresponde al 18% del valor económico de los bosques (Ortiz, 2000). Pese a lo anterior, la pérdida de cobertura forestal anual en Guatemala oscila entre 60,000 y 80,000 ha/año (PAFG, 2001). La valoración económica es una herramienta para la toma de decisiones, influyendo en un cambio de actitud hacia los recursos naturales.

Usualmente el agua la percibimos como un recurso abundante y gratis. Las tarifas de agua potable, riego y de generación de energía eléctrica se estiman con base en lo que cuesta captar el agua y traerla hasta el lugar de consumo sin considerar los costos ambientales (Echeverría, 1999).

¹ Así se denomina a los mecanismos de manipulación política que eviten la óptima asignación de los recursos (Freeman, 1993).

La problemática planteada a nivel de la subcuenca Jones es la necesidad de buscar alternativas de generación de ingresos que satisfagan los requerimientos de la población sin menoscabar los recursos naturales; la pérdida de la cobertura forestal ha ocasionado la reducción del caudal de los ríos durante la época de verano, poniendo en peligro la sobrevivencia de cultivos y animales, e incluso corriendo riesgo el abastecimiento del vital líquido para consumo humano.

De acuerdo a Hearne (1996), la estimación de cambios de productividad, costo de oportunidad o los gastos preventivos que evitan las pérdidas en productividad, es información necesaria para los tomadores de decisiones en materia de recursos naturales. En esa línea, el presente estudio consiste en la estimación de dos tarifas de base² relacionadas a la contribución de los bosques respecto al agua. La primera corresponde al precio de la unidad de volumen de agua (US \$ /m³) a partir del **costo de oportunidad** del suelo dedicado a bosque (venta de madera y ganadería extensiva) y el **costo de protección** del mismo; la segunda consiste en la tarifa máxima que una hidroeléctrica podría pagar (US \$ /Ha bosque /año) por el servicio ambiental de protección de la "calidad de agua", a partir de la determinación de los **costos evitados** (sedimentación) por la presencia del bosque.

La metodología consiste en dos fases: i) Aspectos técnicos: generación de información sobre tipos y volumen del bosque, los procesos de erosión por cambio de uso del suelo y descargas superficiales de agua, lo cual permitiera la simulación de los escenarios de valoración (mapas digitales, inventario forestal e hidrogramas); ii) Aplicación de técnicas de valoración: costo de oportunidad, costo de protección (ó costo de mantenimiento) y costos defensivos; las mismas fueron construidas en un formato de hoja electrónica basados en principios de matemática financiera.

El principio aplicado a lo largo de la investigación es que a partir de sólidas bases científicas se validen metodologías de valoración económica prácticas y replicables.

La información empleada tiene su origen en precios de mercado asociados a productividad, agrupadas bajo la categoría de Enfoques de Valoración Objetiva –EVO´s- (Dixon, 2000).

² Los resultados obtenidos representan rangos de las tarifas; la tarifa definitiva dependerá del proceso de negociación entre usuarios y productores de los servicios ambientales.

El estudio se desarrolla en la subcuenca Jones, cuenca Motagua, donde la agricultura representa la base de la economía rural en el valle del Motagua, dependiendo altamente de la irrigación, especialmente durante la extensa época seca de noviembre a mediados de mayo. La parte alta de la cuenca está cubierta con bosque nuboso, el cual contribuye significativamente a mantener el caudal de estiaje, a la vez que la disminución de la cobertura forestal tiene un impacto directo en el caudal de verano aguas abajo (Brown et al, 1996).

El estudio pretende despertar una reflexión sobre la importancia de los recursos naturales y hace una invitación a analizar mecanismos económicos que los valoricen. La utilidad del estudio estará dada en la medida en que información generada pueda ser institucionalizada y sirva de fundamento para la ejecución de programas de servicios ambientales. Esperemos que en el futuro, se recuerde a la población del siglo XXI como propulsora de la conservación del recursos indispensable para la supervivencia humana: **AGUA.**

1.1 Objetivos

1.2 Objetivo General

Determinar el valor económico del recurso hídrico en la subcuenca Jones, Sierra de las Minas, Guatemala para generar información de base sobre un mecanismo de regulación de precios.

1.3 Objetivos Específicos

1. Estimar el costo total del servicio ambiental de "regulación hídrica" por unidad de agua (US \$ / m³), a partir del costo de oportunidad y costo de protección del bosque en la subcuenca Jones.
2. Estimar una tarifa por el servicio ambiental de "protección de la calidad de agua" para una hidroeléctrica en la microcuenca del río Colorado, determinando los costos asociados a la sedimentación de un embalse hipotético, debido a la sustitución del bosque por pasto.

1.4 Hipótesis

1. Existe un costo de oportunidad positivo para la sustitución del bosque en la subcuenca Jones.
2. Existe una variación positiva en la tasa de sedimentación debido al cambio de uso del suelo, incrementando los asociados a un cambio de uso del suelo.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Fundamentos hidrológicos

América Central era un paraíso con una gran fragilidad y vulnerabilidad por condiciones extremas geomorfológicas e hidrometeorológicas; debido al desarrollo desordenado y alto crecimiento demográfico el frágil equilibrio del ciclo del agua ha sido gravemente alterado (Solís, 1999).

2.1.1 Importancia del Agua

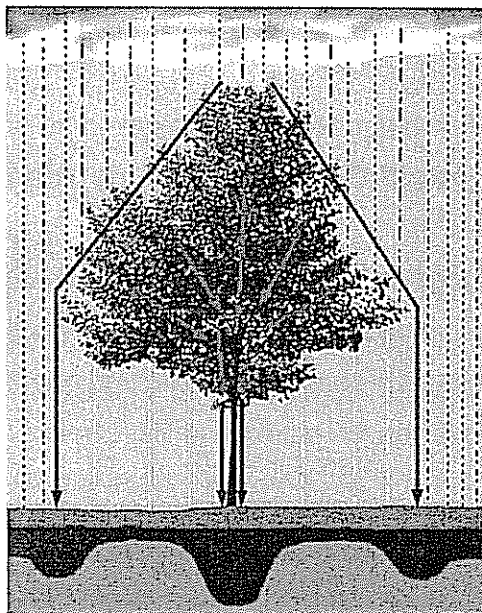
El agua cerca de la superficie de la tierra es vital y común, inusual y omnipresente, conveniente y destructiva; Las propiedades del agua dan alza a su aparente manifestación como material de construcción de las células, agente nutritivo y limpiador, el solvente universal con excepcional movilidad, medio de transporte, el "Gran distribuidor", un transportador de energía y regulados, el "gran moderador" del clima, y una erosiva y destructiva fuerza (Lee, 1980).

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 (Chomitz y Kumari, citados por Echeverría 1999).

2.1.2 El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico no significa un simple encadenamiento de etapas, sino un grupo de numerosos arcos los cuales representan las diferentes rutas a través de las cuales el agua en la naturaleza circula y se transforma, estos arcos penetran tres partes del sistema tierra: atmósfera (cubierta gaseosa arriba de la hidrosfera), hidrosfera (cuerpos de agua que cubren la superficie de la tierra) y litosfera (roca sólida debajo de la hidrosfera), entre media milla en la litosfera hasta cerca de a diez millas en la atmósfera (Chow, 1964).

De acuerdo a Solís H. 2000, 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 –ver figura-, 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 interceptación.

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.

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 vaporización pero es difícil identificarlos cada uno por separado, la vaporización total es llamada evapotranspiración.

Escurrimiento (runoff) es un término general para descargas superficial y subsuperficial de agua de un sistema hidrológico (recarga); en hidrología forestal es inusualmente irrealístico igualar escorrentía (runoff) con descarga de corrientes (streamflow). La descarga superficial incluye la descarga de corrientes (streamflow), flujo en canales, y la escorrentía superficial, no restringida a canales. La descarga subsuperficial puede ocurrir como precolación profunda o fuga en el estrato de roca. La escorrentía directa o flujo de tormenta es el incremento de la descarga distintiva or "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.

2.1.3 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 implicancias 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, 2,000).

2.1.3.1 Erosión

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 1964).

2.1.3.2 El método EUPS

El desarrollo de ecuaciones para calcular la pérdida de suelos se inició en 1940. La ecuación universal de la pérdida de suelo fue desarrollada por el departamento de agricultura de los Estados Unidos, diseñada para las condiciones de éste país, pero que ha tenido una amplia aplicación en países con problemas de erosión. La ecuación fue diseñada para que los tomadores de decisiones puedan estimar las pérdidas de suelo para condiciones distintas. Es un modelo diseñado para predecir promedios de pérdida de suelo en el largo plazo debido a la escorrentía de áreas con cultivos y manejos específicos. La ecuación del método EUPS está definida por:

$$A = R * K * Ls * C * F * P$$

Donde,

A = Pérdida de suelo estimada por unidad de superficie

R = Erosividad de las lluvias

K = Erodabilidad del suelo

Ls = Factor topográfico

C = Cobertura del suelo

P = Prácticas de cultivo

El factor R es el índice de erosión pluvial, mide la energía cinética de la lluvia sobre la superficie del suelo, que actúa disgregando las partículas del suelo; la energía de las gotas está en función del tamaño de las mismas, y a su vez está relacionado con la intensidad de la lluvia. Cuando los factores de la ecuación universal de pérdida de suelo en los campos de cultivos son directamente proporcionales al parámetro de la tormenta, identificado como EI para diferentes tormentas en un período dado, representa una medida numérica del potencial erosivo de la lluvia para tal período.

El promedio anual total de los valores de E_i para diferentes tormentas en una localidad particular, representa el índice de erosividad de la lluvia para tal lugar. Así, por ejemplo, una lluvia prolongada con poca intensidad puede tener la misma energía que una lluvia corta con alta intensidad. Las gotas de lluvia aumentan la erosión con la intensidad. El tamaño promedio de las gotas se incrementa con la intensidad, y la velocidad final de las gotas de agua aumenta con el tamaño de las gotas. La ecuación que expresa la energía cinética es:

$$E = 916 + 331 \log_{10} I, \text{ donde,}$$

E = energía cinética

I = Intensidad en pulgadas por hora

El factor K es una característica propia del suelo, ligada a su granulometría, porosidad, condiciones hidrológicas. El factor K cuantifica la erodabilidad del suelo mediante una expresión deducida experimentalmente y representa la tasa de erosión del suelo por unidad del factor R, cuando las condiciones de relieve y vegetación son consideradas uniformes (parcela de 22.1 m de longitud, 9% de pendiente, mantenida en barbecho y cultivada en el sentido de la máxima pendiente). También puede calcularse el factor, empleando el monograma de erodabilidad del suelo.

El factor L_s, llamado "Topográfico", toma en cuenta tanto la longitud como el grado de inclinación de la pendiente que influyen en la tasa de erosión del suelo. La longitud se define como la distancia que recorre una gota de escorrentía desde que se forma en la divisoria hasta un cauce o zona de sedimentación. La expresión que estima la influencia de la longitud de la pendiente sobre la erosión está dada por:

$$L = (x / 22.1)^m \text{ donde,}$$

L = factor de longitud

X = longitud de la pendiente

m = exponente que depende de la pendiente.

La influencia de la inclinación de los suelos es clave sobre la erosión, en una función parabólica expresada como:

$$S = 0.065 + 0.045 s + 0.0065 s^2$$

Así, la expresión conjunta del factor Ls se calcula mediante:

$$Ls = ((x / 22.1)^m (0.065 + 0.045 s + 0.0065 s^2))$$

El factor de cobertura "C" es el elemento natural de protección del suelo contra la fuerza de la lluvia, disminuyendo la energía de las gotas de lluvia y favoreciendo la infiltración. Este factor debe incluir los efectos interrelacionados de la cubierta, rotación de cultivos, duración de la estación de crecimiento, productividad, manejo de residuos, prácticas de cultivos y distribución de la lluvia.

La evaluación del factor C es difícil debido a los diversos sistemas de cultivo y manejo que existen. Varios autores han presentado tablas para el cálculo del factor para distintos tipos de cobertura.

El factor P, prácticas de conservación de suelos, es la relación que hay entre las pérdidas que ocurren en un suelo bajo una determinada práctica de conservación y las pérdidas de suelo que ocurren en el mismo sitio sin prácticas de conservación (Arana, 1992).

2.1.3.3 Sedimentación

Con base en Chow (1964), la sedimentación de un reservorio creado por un dique construido en un curso natural de agua es inevitable. El problema de preocupación es la rapidez de sedimentación y el periodo de tiempo en el cual transcurre antes de que la utilidad del embalse esté seriamente destruido o inservible. Un dique en un canal de una corriente cambia las características hidráulicas del flujo para las nuevas condiciones, creando problemas adicionales aguas arriba y abajo de la estructura.

La construcción de un dique en un curso de agua cambia las características hidráulicas del flujo y la capacidad de transporte de sedimento resultante, la cual puede crear serios problemas arriba y abajo del reservorio. La deposición en el detal y arriba de las elevaciones de la creta del reservorio pueden causar serias "agregaciones" aguas arriba del reservorio. Un cambio en las características hidráulicas de un flujo con la remoción de la carga de sedimentos de la salida de un reservorio estable a un nuevo juego de condiciones, por lo que las corrientes abajo de un dique se ajustaran eventualmente para lograr el equilibrio.

La erosión laminar y de canales en una cuenca es conocida como erosión total (Chow, 1964). Todos los materiales erosionados en una cuenca no caen en el sistema de corrientes. Partículas separadas en áreas de nivel comparativo, con poco o sin escorrentía por superficial, por ejemplo, se mueven solo distancias cortas y consecuentemente no son transportadas hacia los puntos aguas abajo en una cuenca. El suelo, el cual es erosionado de las tierras con pendientes puede ser alojado en líneas de cercas y áreas con cobertura vegetal o depositado en quebradas bajas en forma de aluvión. Algún material puede ser transportado hacia los sistemas de las corrientes, solo para ser depositado en planicies inundadas como aluviones o canales ensanchados, y algún otro puede ser depositado en forma de materiales de barro en los propios canales.

La cantidad total de material erosionado el cual completa el recorrido de la fuente hacia punto de control de las aguas abajo, como reservorio, es conocido como el *producto del sedimento*. La tasa entre la cantidad del producto de sedimento y la erosión total en una cuenca es llamada la tasa de transporte de sedimentos total (generalmente expresada en porcentajes de acuerdo al cociente de sedimentación / erosión total).

2.1.4 El enfoque de cuencas en el manejo hidrológico

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 antropocéntricos (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, 1997).

El manejo sustentable de cuencas consiste en encontrar el punto de equilibrio entre el uso racional de los recursos naturales que conforman el territorio de la cuenca y el crecimiento de las actividades productivas generadas por la gente que vive y usa estos recursos (Revista Hídrica. 1999)

2.1.5 El cambio climático y su influencia en el ciclo hidrológico

Una de las consecuencias más significativas del cambio climático es el cambio geográfico de los regímenes hidrológicos regionales y cambios en la disponibilidad del recurso hídrico, un factor crítico en la planeación del desarrollo económico sostenible. En cambio, cambios en el ciclo hidrológico crearan retroalimentación al clima. Nuestra habilidad para caracterizar el estado actual del ciclo hidrológico, global o regionalmente, y hacer predicciones cuantitativas así como la naturaleza de los cambios potenciales depende de información consistente de calidad apropiada y una cobertura espacial y temporal adecuada. Obtener y entender conocimientos de agua y presupuestos de energía son los primeros pasos críticos en detectar, predecir y valorar el cambio climático global (Hydrosphere. http://www.wmo.ch/web/gcos/pub/top_v1_3.html#Hydro_5)

2.2 Elementos de los bosques

Guatemala deriva de la voz nahuatl "Guauhtemallan", que significa "tierra de árboles", sin embargo, estos no han representado en términos económicos mayores beneficios y por ello desaparecen vertiginosamente (PAFG, 1998).

2.2.1 Definición de bosques nubosos

De acuerdo a Stadmtüller (1987), 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.

2.2.2 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 el 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 mucho agua durante periodos 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.

En los neotrópicos los bosques nubosos son los guardianes del abastecimiento de agua de Latinoamérica (Brown, de la Roca, Vallejo, Aguilar y Haacker, 1996).

Los valores de precipitación demuestran una marcada variabilidad en los bosque nubosos, en valores absolutos entre 325 mm/a y 941 mm/a; los valores relativos entre 7.2% y 158% de la lluvia; para los climas o estaciones muy lluviosas los valores relativos son bastante bajos (entre 7.2% y 18% del equivalente de la lluvia). Además, es importante señalar que en las estaciones secas los valores relativos de la precipitación horizontal son muy elevados y pueden hasta superar los de la lluvia; la precipitación horizontal a su vez depende de la superficie total de hojas, la distribución espacial de las hojas y las propiedades de sus superficies (Stadmtüller 1987). En el caso de los bosques nublados, especialmente en zonas tropicales, la deforestación puede causar una pérdida sustancial del agua en la cuenca (Zadroga 1981, citado por Stadmtüller).

De acuerdo a Lee (1980) recientemente se han integrado los conocimientos forestales e hidrológicos en una nueva ciencia, denominada "Hidrología Forestal", que de acuerdo al autor se define como la ciencia de los fenómenos relacionados al agua que son influenciados por la cobertura forestal.

Es importante mencionar, de forma general la influencia del bosque sobre el agua de la cuenca. La precipitación es causada casi exclusivamente por factores físicos que no están relacionados con la existencia de cobertura forestal, pero el bosque influencia la medida de los procesos y la distribución de lluvia y nieve en boquetes y cerca de los límites. A pequeña escala, elementos topográficos interactúan con la velocidad y dirección del viento para producir distintos patrones de precipitación a nivel del suelo, e influencia la representatividad de la medida de los sitios. Entre otras cosas, los bosque se ubican en zonas de mayor precipitación, y su altura influye la lluvia por efectos de orografía y rugosidad del dosel superior.

Los servicios de los bosques

De acuerdo a Stadtmüller, 1994, los efectos y funciones hidrológicas más importantes de los bosques naturales son:

- Interceptar cantidades significativas de la precipitación bruta, incidiendo en que la precipitación neta sea menor que en otras coberturas vegetales.
- Presentan altas tasas de evapotranspiración
- Protegen eficientemente el suelo contra erosión superficial, y en menor grado contra erosión en masa (deslizamientos profundos)
- Los flujos máximos son estables durante todo el año, garantizando el abastecimiento de agua para cultivos.

2.2.3 Mitos sobre agua y bosque

Los fenómenos naturales son frecuentemente misteriosos y problemáticos presentando un elemento de duda para la mente humana; pero el remedio perfecto para la duda es la creencia. Muchas de las primeras explicaciones de la influencia del bosque en los fenómenos hidrológicos fallaron para sobrevivir el escrutinio de la investigación científica moderna, y aún han persistido como un "Conocimiento común" que afecta las decisiones públicas. Las más persistentes equivocaciones son que el bosque incrementa la precipitación local, reduce el impacto de gotas de lluvia debajo del dosel, previene flujos desastrosos y conserva agua para los arroyos durante periodos de sequía (Lee, 1980), siendo estas aplicaciones válidas, excepto para el caso de los bosques nubosos (ver numerales 2.4.1. y 2.4.2.)

Análisis de los 6 "mitos" de los bosques

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.

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.

Los bosques regulan los flujos: El impacto y la magnitud de la variación de los flujos estaciones depende del lugar y las condiciones, y por ello, no se puede generalizar

Los bosques reducen la erosión: Depende de la topografía, precipitación y geología

Los bosques reducen las inundaciones: No reducen la ocurrencia pero pueden reducir los impactos.

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.

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

2.2.4 Manejo de bosques

Hay que considerar que el manejo forestal sostenible debe ser una opción de uso de la tierra que compita favorablemente con los usos alternativos que han contribuido a la pérdida de la cobertura boscosa del país, interesando que la sostenibilidad financiera sea a largo plazo, si bien en el corto plazo es más rentable la explotación forestal que no tienen en cuenta el estado futuro del bosque, es obvio que éste tipo de uso debe estar fuera de toda consideración en un esquema de desarrollo sostenible (Campos 1997).

La solución de la problemática forestal no radica en eliminar totalmente la tala del bosque, sino en buscar un nivel de aprovechamiento sostenible del recurso acorde con las expectativas y requerimientos de desarrollo de las sociedades, junto con la necesidad biológica de éste (Díaz 1998).

2.2.5 Inventario forestal

2.2.5.1 Diseño irrestrico al azar

Mendenhall y Scheaffer (1987) señalan que si un tamaño de muestra n es seleccionado de una población del tamaño N de tal maneja que cada muestra posible de tamaño n tiene la misma probabilidad de ser seleccionada, el procedimiento de muestreo se denomina. Prodan et al (1997) señala que éste diseño probablemente es la estrategia más ineficiente de muestreo, pero presenta la ventaja de que las estimaciones del total y promedio poblacional y sus errores serán insesgadas. Como unidades de muestreo pueden emplearse conglomerados pues en muchas ocasiones resulta conveniente muestrear con parcelas de terreno formando conglomerados en lugar de distribuir las uniformemente sobre la población.

2.2.5.2 Estimación de atributos de los árboles

Prodan et al (1997), define lo siguiente:

Un árbol está compuesto por el sistema radicular, el tronco o fuste y las ramas y hojas. Las especies cuyo tronco se prolonga para formar un fuste principal que no se divide, como las coníferas es denominado "excurrente", en contraposición con el tronco de latifoliadas, que presentan el fuste dividido en la porción alta denominado "delicuescente".

Volumen Neto: volumen de una parte específica de un árbol sin corteza, hechas las deducciones por defecto o partes no útiles.

Funciones de volumen: son los modelos que estiman el volumen con dos o más dimensiones del árbol, por lo general el diámetro y la altura comercial y en algunos casos la expresión de forma.

DAP La medición del diámetro es la operación más corriente y sencilla de mensura. En árboles en pie, la altura normal del diámetro representativo del árbol es de 1.3 m desde el nivel del suelo, medidos sobre las pendientes. Por la altura de la medición se denomina diámetro a la altura del pecho.

Factor de forma: Todos los árboles tienen una forma fustal típica, que varía de especie en especie, pero también depende del sitio y la densidad del rodal. La captación del factor de forma se ha hecho realidad a través de la medición de diámetros a distintas alturas, y son expresiones como factores de forma, cuocientes, series de aguzamiento y tablas o funciones que se utilizan para definirla.

IMA: El crecimiento medio anual se calcula dividiendo el tamaño alcanzado hasta un determinado momento en el tiempo por la edad correspondiente.

2.3 Economía ambiental

La economía ambiental trata el estudio de los problemas ambientales con la perspectiva e ideas analíticas de la economía, estudiando el como 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 económica con el propósito de equilibrar un más esos impactos ambientales con los deseos humanos y necesidades del ecosistema (Field, 1995).

Por su parte, la economía ecológica ve al planeta Tierra como un sistema abierto a la entrada de energía solar. Hace un análisis energético. Centra el análisis en el consumo endosomático –energía empleada para procesos fisiológicos y generación de trabajo, basado en instrucciones genéticas- y uso exosomático – distintos entre grupos, depende de la economía, cultura, política y diferencias sociales, en general a mas riqueza, más dispendio de energía-.

En ese sentido diferencia claramente extracción de lo que es producción sostenible. Uno de sus mayores argumentos radica en que en el crecimiento económico actual existe una mezcla difícilmente separable de crecimiento auténtico y de destrucción (PNUMA, Curso a Distancia de Economía Ecológica, 1995).

De acuerdo a Ortiz (2000), el SIGAP³ genera en término de bienes y servicios provenientes de los bosques, doscientos cincuenta y cinco millones de dólares (U.S. \$ 255,000,000) por año (incluyendo el valor de los bienes maderables, no maderables y productos agropecuarios, así como la valoración de servicios como el turismo, protección del suelo, regulación del flujo superficial de agua y fijación de carbono), de los cuales cuatro millones ochocientos mil (U.S. \$ 4,800,000) corresponden al servicio de regulación del flujo superficial de agua, lo cual equivale al 2% del total (Anexo 1).

2.3.1 Generalidades

Se debe considerar que el desarrollo sostenible no es estático, sino dinámico, por lo que los criterios e indicadores para inducir la sostenibilidad de los sistemas de producción forestal en coníferas no deben ser estáticos y rígidos (Díaz 1998).

Las fallas de mercado se refieren a la incapacidad de los precios de mercado, bajo ciertas condiciones, para reflejar adecuadamente el valor de los bienes o servicios ambientales; las fallas de política se refieren a instancias en las cuales las políticas gubernamentales tienen efectos laterales no intencionales, perversos, o causan una conducta inapropiada en el uso de los recursos (Dixon, et al).

El análisis económico tiende a identificar el problema de la degradación medioambiental como un ejemplo más de los llamados "Fallos del mercado". Existe un conjunto de bienes que por carecer de un mercado en el que intercambiarse, carece asimismo de precio; es el caso de los llamados bienes públicos, los recursos naturales o externalidades (se está en presencia de una externalidad cuando la actividad de una persona repercute sobre el bienestar de otra, sin que se pueda cobrar un precio por ello (Azqueta, 1994).

La valoración se define como la asignación de valores monetarios a bienes y servicios ambientales o a los impactos de los cambios de calidad ambiental;

³ Sistema Guatemalteco de Areas Protegidas

2.3.2 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 o los más pobres (Dixon, et al. 1994).

La mayoría de servicios ambientales que las áreas protegidas generan, por sus características de no exclusividad y no rivalidad en el "consumo" o en el "disfrute", raramente son percibidos y valorados en su justa dimensión (Ortiz, 2000). 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 (Novib / Fundación Solar, 2001).

2.3.3 Definición de servicios ambientales (S.A.)

Existen varias definiciones, coincidentes en los aspectos básicos: Aquellos 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).

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, directos e indirectos, 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 (Echeverría 1999)

La valoración de los servicios ambientales, tiene entre sus principios, desde la concepción ética, tal como lo menciona Azqueta (1994): una postura antropocéntrica no ecocéntrica, es el ser humano el que da valor a la naturaleza, a los recursos naturales y al medio ambiente.

El complejo natural recursos-ambiente⁴ puede ser visto como productor de cuatro clase de flujos de servicio a la economía: Primero, como en la vista 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 provee servicios como medio de vida, en la forma de atmósfera respirable y régimen climático habitable.

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, éste sistema dispersa, transforma, y almacena los residuos que son generados como subproductos de las actividades económicas (Freeman, Haveman, and Kneesse, 1973, citados por Freeman, 1993).

De acuerdo a Freeman (1993) los recursos naturales y atributos ambientales son valiosos valores en la medida que provean de flujos a la gente. Las políticas públicas y las acciones de individuos y firmas pueden conducir a cambios en los flujos de estos servicios, consecuentemente creando beneficios y costos. Debido a las externalidades y la propiedad común y características de los bienes públicos de al menos alguno de estos servicios, las fuerzas de mercado pueden ser confiadas en ninguno para guiarlas a su mas alto valor de uso ni tampoco a precios revelados que reflejen su valor social verdadero⁵.

⁴ Freeman (1993) resuelve la dicotomía entre recursos naturales y ambiente que ha prevalecido en la disciplina económica por largo tiempo y probablemente sin mayor importancia. Por lo tanto reconoce ambos, la variedad de flujos de servicios provistos por recursos naturales y la importancia de una variedad de formas de externalidades.

⁵ Externalidades se originan cuando una variable real (no precio) escogido por un agente económico entra en la función de utilidad o producción de otro agente económico y no existe un requerimiento o incentivo para el primer agente para tomar el efecto en otros entre sus cuentas cuando hago elecciones.

2.3.4 Técnicas de valoración

Existen dos enfoques: los Enfoques de valoración objetiva (EVO) basados en relaciones físicas que describen formalmente las relaciones causa efecto –empleados en ésta investigación- ; 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 (Dixon, et al).

Dixon 1997, recomienda que el análisis de valoración de los servicios ambientales sea hecho comparando las situaciones con y sin proyecto; por lo que las técnicas se basan en el análisis de comparación. es entre escenarios con y sin bosque

Existen múltiples formas de agrupar los métodos para estimación de valores, partiendo de la más general –y probablemente más antigua-, pueden ser agrupados en las siguientes categorías:

Cuadro 1. Métodos de estimación de valores

| | 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 Graduación contingente Actividad contingente Referendo contingente |

Fuente: Adaptado de Mitchell y Carson (1989).

De acuerdo al cuadro 1, 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 basada en las elecciones actuales hechas por las gente quienes están maximizando su utilidad, sujeto a los contrastes relevantes, y quienes están libres de escoger la cantidad de un bien a un precio dado (Freeman, 1993).

2.3.4.1 Costo de oportunidad

Se basa en el concepto de que el costo de utilizar recursos para otros propósitos, usualmente sin precio o fuera del mercado (p.e. preservación de tierra, en vez de cosechar sus árboles para aprovechar la madera) puede aproximarse utilizando el ingreso dejado de percibir por otros usos del recurso. Más que tratar de medir directamente los beneficios logrados por la preservación de estos recursos lo que se trata de hacer es cuantificar cuánto ingreso debe sacrificarse para satisfacer los propósitos de preservación, es pues una manera de medir el costo de preservación. La opción alternativa puede tener también beneficios menos tangibles, tales como un valor de opción, valor de cuasi-opción y valor de existencia que no son fácilmente mesurables (Dixon, et al)

Por ejemplo, para preservar un bosque se concede la propiedad del mismo a favor de una persona, cuando esta persona se plantea la explotación económica óptima de su bosque, no tardará en descubrir que, desde un punto de vista financiero, es probable que lo mejor sea talarlo entero, vender toda la madera, e invertir los beneficios resultantes en cualquier otro lado, olvidándose de su posible repoblación (Reed, 1993, citado por Azqueta, 1994).

Los resultados del análisis financiero de los bosques permiten generar indicadores financieros que pueden ser comparados con el Costo de Oportunidad de la tierra, o la mano de obra, y con el rendimiento financiero de otras actividades productivas accesibles para la empresa forestal (Gómez, 2000).

El proceso de uso y aprovechamiento de los bosques naturales ha sido intenso y discriminado, se obtiene madera y otros productos forestales, y luego los bosques se convierten en tierras para ganadería, cultivos agrícolas básicos y comerciales como banano, café, algodón, caña de azúcar, cítricos y otros. El proceso responde a la demanda del consumidor, las oportunidades de mercados, los efectos de políticas de comercio nacional e internacional, los aspectos legales, las quemadas incontroladas, el proceso migratorio, la demanda por tierras y el crecimiento rural y urbano (Quirós y Gómez, 1998).

2.3.4.2 Costos evitados

De acuerdo a Azqueta (1994) un bien ambiental como el aire o el agua constituyen un insumo productivo en la producción de un bien privado (generación eléctrica p.e.). La calidad de agua influye sobre la productividad de la hidroeléctrica, tanto directa como indirectamente, a través del efecto que tiene sobre la sedimentación. Esto nos brinda los elementos necesarios para analizar los beneficios o costes generados por un cambio en su cantidad o calidad, es decir, su relación con una serie de bienes privados (insumos productivos, mano de obra, etc.) que como tal tienen un mercado.

Se hace necesario, en primer lugar, conocer como afecta el cambio en la calidad del bien público (agua), al rendimiento de los demás factores en la producción del bien privado (hidroeléctrica), por lo que se introduce el concepto de la función: dosis /respuesta. Esta función provee información sobre cómo se ve afectado un determinado receptor (un cultivo, materiales, salud, etc.) por la calidad del medio ambiente (distintos niveles de sustancias contaminantes en el agua, en el aire, en el suelo). Las relaciones dosis /respuesta son proporcionadas por la ciencia básica y tienen una dilatada trayectoria en el campo de la problemática ambiental, por ejemplo, son la base sobre la que se asientan la mayoría de los estudios de impacto ambiental.

2.4 Fundamentos de matemática financiera

De acuerdo a Azqueta (1994), lo normal es utilizar el dinero como denominador común, que ayude a sopesar unas cosas y otras y que, en general no es otro que el dinero, que aunque propone una valoración monetaria, crematística, de algo que es invaluable: valoración monetaria no quiere decir valoración de mercado, es sencillamente un denominador común, para reflejar cambios heterogéneos en el bienestar de la sociedad.

Es importante que los tomadores de decisiones, tanto a nivel nacional como local, conozcan el valor económico potencial que tienen las áreas naturales, las cuales son usualmente bienes públicos sin precios de mercado (López, 1998).

De acuerdo a Quirós y Gómez (1998), la economía forestal contribuye a orientar las decisiones sobre el uso y aprovechamiento del bosque bajo diferentes opciones técnicas de manejo.

Una parte importante de estas decisiones se fundamenta en criterios financieros, que contribuyen a determinar las opciones que generan las mayores ganancias o beneficios, compatibles con la sostenibilidad del bosque.

2.4.1 Aspectos conceptuales

De acuerdo a Gómez (2000), el análisis financiero examina los costos y beneficios a precios de mercado y determina sus relaciones en términos de indicadores que reflejan el punto de vista o interés privado, proporcionando información sobre cuándo se necesitarán los fondos y cuando se espera recibir los ingresos (ex -ante) o cuándo se ejecutaron las actividades productivas y el flujo real de costos e ingresos, durante el período de análisis y el balance final (ex -post). Es una herramienta para generar criterios de decisión en cuanto a la sostenibilidad financiera de los ecosistemas.

El autor anterior señala que para el manejo de bosques es necesario recurrir a los indicadores basados en relaciones de los costos y beneficios actualizados, debido a los plazos largos de los análisis, en los cuales se experimentan cambios importantes en el valor del dinero, a través del tiempo. Estos cambios implican necesariamente la actualización del flujo de costos e ingresos, para calcular los indicadores financieros, como el Valor Actual Neto (VAN), la relación Beneficio /Costo (B/C), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Esperado de la Tierra (VET).

De acuerdo a uno de los autores clásicos de análisis financieros forestales (Gregersen y Contreras, 1980), los análisis financieros consideran los rendimientos monetarios previstos por esas entidades como resultado de las inversiones de sus fondos, proporcionando información sobre cuándo se necesitarán fondos y preverse ingresos; el análisis de eficiencia económica, se ocupa de la rentabilidad, pero en éste caso se trata de la rentabilidad desde el punto de vista de la sociedad, que se refiere al resultado para la sociedad en su conjunto.

2.4.2 Análisis financiero

El caso del manejo de bosques naturales, se caracteriza por ser inversión de recursos, cuyo rendimiento, dependiendo de la especie, del sitio y de los tratamientos silviculturales, el productor tiene que esperar varios años para obtener la producción y los ingresos derivados de su inversión (Díaz 1998).

La principal limitante del análisis financiero es que los bienes y servicios ambientales, por lo general no se intercambian en el mercado, y por lo tanto no tienen precio establecido lo que impide su consideración en el análisis (Gómez, 2000).

Limitaciones del análisis financiero.

Una regla extremadamente valiosa es el enfoque para identificar el retorno global de un proyecto, es preguntarse cual será el impacto "con proyecto" y "sin proyecto" (Gittinger, 1972).

De acuerdo a Quirós y Gómez (1998), Los bienes ambientales no representan un ingreso en efectivo que incrementa o reduce e flujo de caja del productor, por lo tanto, su inclusión daría resultados errados acerca de la capacidad financiera. La valoración de bienes y servicios a través de métodos indirectos o de no mercado, permite complementar el análisis financiero; cuando se explotan los bosques naturales se obtienen productos forestales, pero también se remueve, se altera y se producen efectos (daños o beneficios) indirectos dentro del bosque y fuera del mismo (externalidades). La erosión del suelo y los daños a los árboles padres, a los nichos ecológicos, a la flora y fauna y a la biodiversidad en general, son costos indirectos.

2.4.3 Niveles de análisis financieros

Gómez (2,000) sugiere tres niveles de análisis de menor a mayor complejidad:

- ✓ El análisis del aprovechamiento forestal
- ✓ El análisis del manejo del bosque
- ✓ El análisis de la empresa forestal

Su elección dependerá los objetivos particulares del estudio (madereros o propietarios para el primer caso, investigadores o técnicos en el segundo caso y para el tercero cuando se tienen fines de política y administración forestal); el área involucrada en el caso del aprovechamiento corresponde exclusivamente al área de comportamiento de corta, o para el de manejo del bosque el área total bajo manejo, o bien el que incluya todo el área (alguna no susceptible a manejo) correspondiente a el análisis a nivel de empresa.

2.4.3.1 Métodos de recopilación de datos para análisis financieros

Tiempos y movimientos: es práctico, detallado y confiable, utilizado en programas formales de investigación económica forestal. Se emplea un formulario donde se consignan tiempos y materiales y servicios empleados.

Rendimiento por faena: con menor detalle y precisión que el anterior se utiliza en programas de investigación económica forestal, consiste en anotar en un formulario el rendimiento de la mano de obra y los materiales y servicios empleados al finalizar la jornada o la actividad.

Recuperación de datos: permite recobrar información de una actividad de producción, algún tiempo después de que fue realizada, consiste en entrevistas con informantes clave para reconstruir y recuperar los datos de costos e ingreso del proceso de producción completo. Se recurre a la memoria de los informantes, datos de archivo, informes de trabajo, documentos de contabilidad y escritos. La confiabilidad es menor que los métodos anteriores, pero tiene la ventaja de que requiere menos tiempo y recursos.

2.4.4 Ventajas y limitantes de las técnicas propuestas

Freeman (1993) señala que aunque los valores medidos implican el uso de teoría económica y técnica, las mediciones de los valores deben estar basadas en otros tipos de conocimientos. La ausencia de conocimiento de estas relaciones puede, en algunas ocasiones, ser la mayor barrera para la medición empírica de los valores, es decir existe una marcada dependencia de la técnica económica en algún conocimiento de las relaciones físicas y biológicas que determina la cantidad y calidad del ambiente y flujo de servicios de los recursos naturales (Freeman, 1993).

2.5 Aspectos legales

2.5.1 El tema del agua a nivel regional

De acuerdo a Jouravlev (2001), en América Latina y el Caribe ha emprendido reformas que tienen características comunes, como la aspiración a establecer un sistema administrativo que permita una gestión integrada de los recursos hídrico con una percepción cada vez más afinada de que el agua debería administrarse a nivel de cuenca, mejorando la gestión y el aprovechamiento del agua para enfrentar la creciente competencia por su uso múltiple, en particular debido al incremento de la demanda.

Además, existe un desfase entre la introducción de instrumentos económicos y de mercado y los marcos regulatorios que eviten monopolios y cobros excesivo y la organización de la institucionalidad requerida; el ente responsable de la administración del agua debe ser uno no sectorial.

En lo que se refiere a la aplicación de la ley en la región se afronta una situación bastante crítica (aunque con diferentes connotaciones y matices en cada país). No obstante, resultan puntos comunes que deben ser resueltos: se cuenta con alguna legislación ambiental, la mayoría de la cual es de reciente creación y aún bastante desconocida, incluso en el medio judicial; se cuenta con pocos instrumentos que faciliten a los jueces y magistrados el acceso a los textos de la nueva legislación y a mejores medios para alcanzar su eficacia, paralelamente, se ha constatado que la población empieza a reclamar ante fenómenos de aparente "impunidad ambiental", lo cual hace evidente que debe darse un apoyo a la autoridad judicial para que su conocimiento y práctica coincida al grado de la conciencia y demanda del ciudadano (Herrera y Sobenes, 1997).

2.5.2 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 (15 años después) no se ha emitido (Novib/Fundación Solar, 2001)

De acuerdo al artículo 4, de la Ley Forestal de Guatemala (1996), dentro de la definición de área protegida menciona que "tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, de tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas de los fenómenos geomorfológicos únicos de las fuentes y suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos de las zonas protectoras de los suelos agrícolas, a fin de mantener opciones de desarrollo sostenible".

Así mismo, la zona de recarga hídrica se define como "áreas superficiales, asociadas a una cuenca determinada, que colectan y permiten la infiltración del agua hacia niveles friáticos y/o acuíferos. El valor estratégico de éstas se identifica por el agua de saturación que es extraída eventualmente por el hombre para sus diferentes actividades". Además, en el artículo 69 se menciona que las entidades públicas o privadas que planifiquen la construcción de proyectos hidroeléctrico con capacidad mayor de 10 Mb, deberán presentar el estudio de prefactibilidad al INAB para que dictamine sobre las obligaciones y actividades de repoblación forestal, prioritariamente en la parte alta de la cuenca.

Finalmente el artículo 86, sobre el Empleo del " Fondo Forestal privado menciona que se podrá destinar a la promoción de programas de desarrollo forestal, la creación de masas forestales industriales, manejo de bosques naturales y restauración de cuencas entre otros y será manejado por el INAB.

El desorden del agua se refleja en el ordenamiento jurídico vigente que, sin contar con una ley general, comprende normas en muchas leyes que, a diferentes niveles jerárquicos y con objetivos diversos, regulan aspectos parciales de su aprovechamiento y conservación (FAO 1998, citado por Jouravlev (2001); desde los años cincuentas se conocen por lo menos diez intentos de regular los recursos hídricos del país. 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

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 (Mendez 1996). En 1992 se creó la secretaria de Recursos Hidráulicos (SRH), la cual dependía de la Presidencia de la República, sin embargo fue suprimida y sus funciones trasladadas al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. En el año 2000 fue creado el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a quien le corresponde la administración del uso del agua (Jouravlev, 2001) y a la fecha se halla trabajando en su organización.

La reserva de la Biosfera de la Sierra de las Minas es un área protegida, como tal se define según el Artículo 7, Decreto 4-89, Ley de áreas protegidas: "Son áreas protegidas, incluidas sus respectivas zonas de amortiguamiento, las que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan alta significación por su función o sus valores genéticos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores, de tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos, de las fuentes y suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos de las zonas protectoras de los suelos agrícolas, de tal modo de mantener opciones de desarrollo sostenible.

Además, se le denota un valor importante al tema de agua, según la ley de áreas protegidas (Decreto 4-89), artículo 13: "fuentes de agua: Como programa prioritario del "SIGAP", se crea el subsistema de conservación de los bosques pluviales, de tal manera de asegurar un suministro de agua constante y de aceptable calidad para la comunidad guatemalteca. Dentro de él podrá haber reservas naturales privadas". (

En el título V "De las infracciones y sanciones" de la Ley de áreas protegidas, se mencionan las faltas en materia de vida silvestre y áreas protegidas, llegando las penalizaciones de quinientos hasta tres mil quetzales en el tema de licencias, y de diez a veinte mil en lo relacionado al tráfico de ejemplares de fauna o flora, además de cárcel cinco a diez años (Artículos 81 y 82). Así mismo se sancionará con multas de tres a seis mil quetzales y prisión de cuatro a ocho años a quien facilite o invada tierras de áreas protegidas (artículos 82). Ahora bien, si los delitos son cometidos por empresas autorizada en el ramo, serán sancionados con el doble de multa la primera vez y con cierre la segunda.

2.5.3 Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas

De acuerdo al Decreto 49-90 del Congreso de la República de Guatemala, Sierra de las Minas se declaró como Reserva de la Biosfera en octubre de 1990, siendo responsable de su administración y manejo la Fundación Defensores de la Naturaleza⁶.

⁶ Organización no lucrativa, (octubre 2001)

La RBSM está ubicada en el nororiente de Guatemala, entre los valles del río Polochic y el río Motagua, en cinco departamentos de Guatemala: Alta Verapaz, Baja Verapaz, El Progreso, Izabal y Zacapa, con elevaciones desde 7 hasta 3,015 msnm. Tiene como principales objetivos: conservar sus diversos ecosistemas, biodiversidad, recursos genéticos y bosques; proteger las fuentes de agua y cuencas hidrográficas, Usar sosteniblemente los recursos naturales y preservar los valores escénicos; conocer los ecosistemas y la riqueza biológica y genética; debiendo ser el trabajo realizado en forma conjunta con la población local (Defensores de la Naturaleza, 1997).

De acuerdo al Plan Maestro II (1997), la RBSM está dividida en cuatro zonas de uso que permiten un manejo adecuado y aseguran la protección de los recursos naturales, siendo las siguientes: zona núcleo, zona de usos múltiples o sostenible, zona de recuperación y zona de amortiguamiento. En el II Plan Maestro se realizó la modificación de los límites de zona núcleo en un porcentaje sobre el total original, basándose en:

- a) Existencia de comunidades dentro de zona núcleo, previo a la declaratoria.
- b) Uso actual de la tierra y,
- c) Areas con cobertura forestal fuera de zona núcleo y que presentan buenas características de conservación y sean sitios estratégicos para producción de agua.

Cuadro 2. Areas antiguas y actuales de las zonas de manejo de la RBSM

| Zona de uso | Nombre de la zona | Area de acuerdo a decreto 49-90 | | Area antigua SIG * | | Area actual SIG* | |
|-----------------|-------------------|---------------------------------|-------|--------------------|-------|------------------|-------|
| | | (has) | (%) | (has) | (%) | (has) | (%) |
| Núcleo | Pico Raxón | 105,700 | 44.73 | 101,575 | 42.18 | 103,061 | 42.80 |
| | San Lorenzo | | | 1,746 | 0.73 | | |
| | Total | 105,700 | 44.73 | 103,321 | 42.91 | 103,061 | 42.80 |
| Uso sostenible | Q'eqchi | 34,600 | 14.64 | 29,556 | 12.27 | 18,755 | 7.79 |
| | El mármol | | | 10,056 | 4.18 | 4,606 | 1.92 |
| | Gualán | | | | | 6,339 | 2.63 |
| | Chilascó | | | | | 2,706 | 1.12 |
| | El Progreso | | | | | 6,363 | 2.64 |
| | Total | | | 39,612 | 16.45 | 38,769 | 16.10 |
| Amortiguamiento | Amortiguamiento | 91,800 | 38.85 | 93,693 | 38.91 | 94,796 | 39.37 |
| Recuperación | Río Teculután | 4,200 | 1.78 | 4,177 | 1.73 | 4,177 | 1.73 |
| | TOTAL | 236,300 | 100 | 240,803 | 100 | 240,803 | 100 |

* Fuente: II Plan Maestro, Defensores de la Naturaleza 1997.

Con base en lo anterior se puede establecer que originalmente cubría aproximadamente 236,300 hectáreas, y ha sufrido variaciones de + 4500 hectáreas en total, y una disminución del 1.5% de la zona núcleo (valor permitido, de acuerdo al artículo 4, del Decreto 49-90).

Además, de acuerdo al cuadro siguiente podemos observar que el área boscosa total de la RBSM es de alrededor de tres cuartas partes, contando con más de 600 kms² de bosque nuboso.

Cuadro 3. Usó de la tierra en la Reserva de Biosfera de Sierra de las Minas

| Categoría | Superficie (has) | Porcentaje (%) |
|------------------------------------|------------------|----------------|
| Bosque latifoliado | 117,497 | 48.4% |
| Bosque de coníferas | 28,513 | 11.8% |
| Bosque mixto | 8,281 | 3.4% |
| Otras áreas boscosas | 15,908 | 6.6% |
| Agricultura anual, perenne, pastos | 71,756 | 29.6% |
| Otros (poblados y minas) | 687 | 0.3% |
| Total | 242,642 | 100.0% |

Fuente: Adaptado de II Plan Maestro RBSM

La Sierra de las Minas es importante por su biodiversidad y sus recursos genéticos, abriga por lo menos 885 especies de mamíferos, aves y reptiles lo que representa el 70% de todas las especies de estos grupos registradas para Guatemala. Las aves poseen una representación de más de 400 especies, incluyendo algunas amenazadas como el quetzal (*Pharomacrus moccino moccino*), águila arpía (*Harpia harpyja*), el halcón peregrino (*Falco peregrinis*) y el pavo de cacho (*Oreophasis derbianus*). Entre los felinos que destacan están: el puma (*Felis concolor*), el jaguar (*Panthera onca*), jaguarundi (*Felis yagouaroundi*), ocelote (*Felis pardalis*), y margay (*Felis wiedii*). Otros mamíferos de importancia son: el mono araña (*Ateles geoffroyi*), mono aullador negro (*Alouatta pigra*), mono café aullador (*Alouatta palliata*), huitiztil o cabrito (*Mazama americana*), pecarí de collar (*Tayassu tajacu*) y pecarí de labio blanco (*Tayassu pecari*). Además, la Sierra alberga por lo menos 110 especies de reptiles y anfibios, la mayoría de las cuales se encuentran entre 400 y 2,000 msnm (Defensores de la Naturaleza, 1997)

En la Reserva de Sierra de las Minas nacen 63 ríos, principalmente en zona núcleo, los cuales se agrupan en 52 subcuencas hidrográficas. El riego para la agricultura y ganadería es vital para las fincas que dependen del agua que proviene de la Sierra de las Minas, para cultivos tales como melón, sandía, tabaco, tomate, café, uva, cardamomo, citronela y arroz;

En la actualidad el área de la RBSM es ocupada por varios grupos étnicos que son: Q'eqchi', como grupo mayoritario en el lado norte, y Poqomchi' y Achí en el lado noroeste; en el lado sur, la mayoría es población ladina; Se estima que un 45% de la tierra de la RBSM es pública, 50% es privada y 5% es municipal; Existen un total de 140 comunidades ubicadas dentro de la RBSM, distribuidas principalmente en las zonas de amortiguamiento, uso múltiple y recuperación. El Distrito Polochic es el más poblado, con un total de 110 comunidades de los grupos mayas Q'eqchi' y Poqomchi'.

El uso y los derechos de agua también es motivo de disputas en la RBSM, particularmente en la ladera sur de la Reserva, en el árido valle del Motagua, en donde el agua es cada vez más escasa. Los usuarios del agua en la cuenca baja resienten la pérdida de calidad y cantidad del recurso hídrico causada por la deforestación en la cuenca alta, particularmente cuando ésta es ocasionada por compañías madereras. El uso de excesivas cantidades de agua para riego o agroindustria, así como la contaminación hídrica, también son motivo de conflicto. A nivel administrativo la reserva se divide en tres distritos: Chilascó, Motagua y Polochic, los cuales a su vez se dividen en sectores.

De acuerdo a CINPE (2001), Los principales usos del agua en el Valle del Motagua son, domiciliar, producción de energía hidroeléctrica, industrial, agricultura y ganadería, turismo y recreación y comercial.

La Sierra de las Minas ofrece el servicio ambiental de regular y mantener el ciclo hidrológico en el tiempo y espacio. Asimismo, juega un papel fundamental en el mantenimiento de la calidad de las aguas. Los recursos hídricos en el Valle del Motagua, son no sólo sobre-utilizados sino que se utilizan de manera ineficiente, lo anterior se traduce en una amenaza en el corto, mediano y largo plazo (Cinpe, 2001).

2.6 Estudios de caso

2.6.1 Estudios de valoración económica afines

Han sido diversos los estudios formulados en torno a la determinación del valor de los servicios ambientales, específicamente el hídrico. El nivel de análisis ha sido distinto, de acuerdo a los objetivos planteados en cada caso. En el cuadro 2, se presentan dos estudios de caso referidos a Costa Rica y Ecuador que aterrizan en una cuenca específica

Cuadro 4. Estudios de caso sobre valoración de agua

| Estudio | Valoración del servicio ambiental agua en la cuenca Jatunhuaycu-Antisana, proyecto de agua potable "La Mica-Quito Sur", Ecuador (Ansmann, 2000) | Valoración económica del agua potable del río En Medio, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica (Merayo, 1999) |
|----------------|---|--|
| Problema | La falta de recursos en Ecuador para el funcionamiento y protección de cuencas genera incertidumbre sobre su manejo sustentable en el largo plazo. | La mayoría de las cuencas presentan un deterioro ambiental por causas de la deforestación y erosión de suelo, lo cual reduce las posibilidades de captación hídrica. |
| Justificación | Las tarifas de agua se estiman con base en lo que cuesta captar el agua y traerla hasta el lugar de consumo, pero sin considerar los costos ambientales, como tratamiento y protección de cuencas hidrográficas; el precio del servicio ambiental agua debe contener, los costos de un manejo sostenido para que las fuentes de agua no se agoten. La vegetación del páramo se altera por medio de prácticas ganaderas. El agua no es un recurso ilimitado, sino su escasez o abundancia depende del manejo de sus fuentes Proyecto "La Mica, Quito Sur", situado dentro de la Reserva Ecológica Antisana, sobre la cota de 3,900 m.s.n.m. Tiene una extensión de 20,846 ha. | En Costa Rica, el agua no presenta el costo real que debiera tener en la determinación de tarifas, ya que sólo se han contabilizado los aspectos de recolección, conducción, distribución y tratamiento que cobran las entidades administradores del recurso; no se cobra el costo de captación de agua (infiltración y purificación natural) realizado por las cuencas con cobertura boscosa; el agua es un recurso limitado incluso se ha llegado a considerar que el agua es un bien gratuito. En Guanacaste el agua escasea en verano. |
| Ubicación | Proyecto "La Mica, Quito Sur", situado dentro de la Reserva Ecológica Antisana, sobre la cota de 3,900 m.s.n.m. Tiene una extensión de 20,846 ha. | La cuenca del río En Medio se ubica en la provincia de Guanacaste, Costa Rica, con una extensión de 10,091 ha. |
| Usuarios | 600,000 habitantes de Quito | 14,680 personas |
| Tipo de bosque | Páramos | Pequeños reductos de bosque primario intervenido y secundario (12 a 15 años). |
| Objetivo | Realizar una valoración económica debido a la incertidumbre de las consecuencias futuras de las decisiones actuales basadas en una escasez de datos con respecto a las funciones hídricas del páramo y la irreversibilidad de la pérdida de estos servicios ambientales obligan a una mejor asignación de los recursos naturales. | Determinar el valor económico total del agua potable para uso doméstico producida en la cuenca del Río En Medio, a partir del costo del servicio (recolección, distribución, administración) como el costo de manejo de la cuenca. Así mismo, determinar la voluntad de pago (VDP) de los usuarios del servicio de agua potable, proponiendo una modificación a la tarifa en la zona. |
| Metodología | Determinación de "Costo de mantenimiento", en función de salarios, administración, equipo logístico, investigación y desarrollo de un programa de autofinanciamiento. "Costo de Oportunidad", considerando los ingresos monetarios no recibidos por los propietarios al considerar en | Se aplicó el método de valoración contingente a través del paso de boletas; se realizaron aforos y se determinó el costo de oportunidad de la tierra dedicada a bosque, en función del precio de la tierra. Además, se determinaron los costos de mantenimiento de la cuenca, en función de: i) administración y |

| | | |
|-----------------------|--|---|
| | <p>sus tenencias un manejo sustentable a favor de una empresa, o la sociedad. Se basa en establecimiento de i) tenencia, ii) carga ganadera actual, iii) capacidad de carga potencial –composición botánica y determinación de especies aptas para alimentación de bovinos- y, iv) producción y comercialización.</p> <p>Los costos se subdividen en costos fijos y variables, relacionados al número de cabezas de ganado. Los primeros incluyen costos administrativos, mantenimiento, impuestos y gastos por rodeos anuales. Con los costos de producción y la venta anual se puede averiguar la utilidad anual con respecto al área de estudio. Tasa de interés 5%; se descuenta el riesgo, que equivale a la inversión en el negocio potencial (6%)</p> | <p>vigilancia, ii) programa de incendios, iii) programa de educación ambiental, iv) inversiones en equipo y tierra. Se establecieron los costos de purificación y se determinó la tarifa actual. También se determinó el costo de tratamiento post-servicio (limpieza)</p> <p>Finalmente se determinó a partir de la tarifa actual se determinaron los costos agregados (de producción o captación de agua y costo de mantenimiento de la producción) para generar la nueva tarifa.</p> |
| Técnica de Valoración | <p>Costo de oportunidad –implica la renuncia de los ingresos potenciales que generaría una actividad económica en esas tierras, que deberían ser preservadas y recuperadas -y costo de mantenimiento</p> | <p>Costo de oportunidad –método abreviado- Método de valoración contingente Costo defensivo (tratamiento post-uso)</p> |
| Resultados | <p>Con base en los costos de mantenimiento y de oportunidad del área de influencia de producción de agua potable se estimó que alcanzan U.S. \$ 12.93/ha y US \$ 0.01/ m³. El incremento en la tarifa por familia asciende mensualmente a U.S. \$ 0.07</p> | <p>Los costos por metro cúbico son: U.S. \$ 0.12 por producción hídrica, U.S.\$ 0.016 por mantenimiento de la producción. La tarifa actual es de U.S. \$ 0.24, por lo que el total es de U.S.\$ 0.377. Los costos de limpieza y fondo de reserva ascienden a US \$ 0.2513. La voluntad de pago es menor que los costos (U.S. \$ 0.0289/m³)</p> |
| Lecciones aprendidas | <p>La técnica de costo de oportunidad ofrece un mecanismo ágil para determinar el valor del servicio ambiental agua. El valor del pago de servicios ambientales, es relativamente bajo, comparado con la garantía del abastecimiento de agua en el mediano plazo. La escasez de agua obliga a la valoración económica para preservar coberturas forestales.</p> | <p>El costo de oportunidad es una técnica apropiada para estimar el costo de producción hídrico, y en la medida que se trabaje con más detalle, el valor será más preciso. Los costos totales del servicio de agua potable (producción, mantenimiento y purificación post-servicio) representan valores altos que la sociedad no está consciente de pagar.</p> |

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización de la zona de estudio

3.1.1 La subcuenca Jones

Se localiza en el lado sur de la Sierra de las Minas, en el lado Noreste del municipio de Río Hondo, departamento de Zacapa, drenando al río Motagua. Su ubicación se encuentra entre las siguientes coordenadas: entre 15° 03'10" y 15° 11'00" latitud Norte y 89° 29'50" y 89° 36'15" oeste. Tiene una extensión de 94.6 kilómetros cuadrados. Las dimensiones promedio son: ancho 6.4 km. (con un mínimo de 1.9 km. y máximo de 10.9 km.) y largo 9.9 km. (mínimo de 8.6 Km. y máximo 11.3 km.). La forma de la cuenca es ovalada -coeficiente de Gravelius =1.24 - (Tragsa, 1998). La elevación de la cuenca oscila entre 200 y 2,400 msnm.

La subcuenca Jones está conformada por cinco microcuencas:

Río Cañas

Río Colorado

Río Blanco

Río La Lima

Quebrada Los Jutes

En total, abastece a 32 número de tomas, las cuales en época de operación emplean entre 2.1 y 11.7 m³s⁻¹, lo que implica en época de verano el 100% de uso del agua total con fines de riego y consumo humano (ver anexo 2, Nombre de las tomas en uso de la cuenca Jones).

3.1.1.1 Condiciones climáticas.

Debido a condiciones de uso, el área se divide en tres zonas: parte alta (zona núcleo, bosque de latifoliadas), media (zonas de usos múltiples y amortiguamiento, bosque de coníferas) y baja (zona sin protección, área bajo riego y poblaciones urbanas).

La parte alta existe Bosque Pluvial Subtropical (BPS), los suelos son de vocación forestal, presenta una precipitación anual promedio de 900 mm / año. Las especies predominantes, de acuerdo al inventario forestal realizado en el presente estudio se detallan en la figura 8.

La parte media es la zona usos múltiples, siendo apta para el manejo forestal, las principales especies son Pinus oocarpa, Pinus maximinoii y Quercus sp., presenta una precipitación de 650-750 mm anuales.

En la parte baja se presenta el Monte Espinoso Sub-tropical, localizándose en el árido valle del Motagua, con la presencia de arbustos y árboles espinosos, siendo los más comunes: subín, zarza, orotoguaje, yaxe, zapotón, aripín, etc. Su topografía predominante es plana, hallándose alrededor de los 200 msnm, presenta una precipitación anual promedio de 400-600 mm anuales.

3.1.1.2 Condiciones socioeconómicas

En la subcuenca se localizan seis comunidades: Jesús María, Llano verde, Mal Paso, La Espinilla, Jones y Cajón de Jones; además, debido a condiciones de servicio hidrológico (abastecimiento de agua) y ubicación de ruta de acceso también se incluye: Las Delicias, Las Pozas, Llano Largo, Jumuzna, La Pepesca, El Petón, y Pata Galana. Las vías de acceso son la carretera asfaltada CA9 y caminos de terracería. La entrada principal conduce de la cinta asfáltica hasta llegar al Cajón de Jones, teniendo una extensión de 17 kilómetros de longitud (14 Km. hasta aldea Jones). La carga humana de la cuenca es de 26 personas / kilómetro cuadrado.

Cuadro 5. Población por comunidad de la Subcuenca Jones

| Localidad | Población |
|----------------|-----------|
| Cajón de Jones | 151 |
| Espinilla | 527 |
| Jesús María | 275 |
| Jones | 883 |
| Llano Verde | 459 |
| Mal Paso | 346 |
| Sumatoria | 2641 |

Fuente: Turcios (2001)

De acuerdo a Defensores de la Naturaleza (1998) la problemática de la subcuenca es la siguiente:

- ✓ Erosión debido al sobreuso de suelos son frágiles, poco profundos, con pendiente pronunciada y vocación forestal.

- ✓ Los incendios forestales son una práctica recurrente año con año, resultando en una pérdida de bosque, agudizado por problemas sanitarios con la plantación de pino (gorgojo).
- ✓ Disminución del caudal del río durante verano, lo cual afecta la producción de pasto con incremento en la leche y sus derivados.
- ✓ Contaminación debido al mal manejo de residuos sólidos
- ✓ Limitadas fuentes de generación de ingreso, debido a la baja producción agrícola y epidemias de ganado
- ✓ Mal estado de servicios básicos: vías de acceso, comunicaciones y educación, drenaje, conducción de agua potable y alumbrado público.

3.2 *Recolección y análisis de la información*

Esta sección se divide en dos fases, debido a que los productos esperados (tarifas) requieren ambos componentes:

1. Información biofísica
2. Aplicación de métodos y técnicas de valoración de servicios ambientales

Las fases a su vez se subdividen entre los dos objetivos del estudio, con el propósito de facilitar al lector la comprensión de los métodos y materiales utilizados. Una síntesis de los insumos requeridos para el análisis, los métodos aplicados y los materiales empleados se detallan en el cuadro 6 y se desarrollan en los acápite siguientes.

Cuadro 6. Síntesis de métodos y materiales empleados por objetivo del estudio

| Objetivo | Información requerida | Método / Técnica de recopilación | Materiales empleados |
|---|---|---|---|
| FASE I : Información biofísica | | | |
| Tarifa del metro cúbico de agua (costo de oportunidad + costo de mantenimiento) | Modelo de elevación digital | Digitalización de mapas de curvas de nivel, ríos y caminos | Sistemas de Información geográfica, fotos aéreas, hojas cartográficas |
| | Mapa de uso del suelo | Mapa del uso del suelo, delimitación de la subcuenca | Sistemas de Información geográfica, fotos aéreas, hojas cartográficas |
| | Estimación de caudal total de la Subcuenca Jones | Aforo de caudales en campo con molinete | Molinete, personal de campo, libreta de campo, datos históricos. |
| | Inventario forestal | Determinación del universo y tamaño de muestra, levantamiento de parcelas, análisis de información | Mapa de uso del suelo, entrevistas con madereros, personal de campo, equipo de mensura forestal, boleta de levantamiento de información |
| | Precio de la madera en pie | Entrevistas y recopilación información secundaria | Tabla de precio de madera en pie actualizada y costos de transporte |
| | Costos e ingresos de ganadería | Entrevistas y recopilación información secundaria | Formas de recopilación de información secundaria |
| | Diseño del embalse con base en el caudal de la Microcuenca Colorado | Medición de caudales con vertedero, medición directa de sedimentos atrapados | Intercambio de información con proyecto hidroeléctrico: vertedero construido con fines de aforo. |
| | Tarifa a hidroeléctrica (costos evitados por sedimentación) | Aplicación del método USLE con Arc View, empleando K, R, Ls y C; el factor de cobertura "C" se varió para cobertura forestal y pasto natural. | SIG: Arc View. Tablas del factor C (tipo de cobertura) |
| | Costos de dragado | Recopilación información secundaria; consulta a expertos | Formas, medios de comunicación electrónicos |

FASE II : Aplicación de métodos y técnicas de valoración económica

| | | | |
|--|--|---|--|
| | <p>Costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque</p> | <p>Estimación de la rentabilidad del uso del suelo a ganadería (tala total y parcial del bosque de pino). Escenario 1 y 2</p> | <p>Proyección financiera a 20 años plazo en hoja electrónica a partir del volumen del bosque y ficha ganadera</p> |
| <p>Tarifa del metro cúbico de agua</p> | <p>Ingresos por venta del servicio ambiental de regulación hídrica, y</p> | <p>Estimación de los ingresos por venta de servicios ambientales (producción hídrica primaria)</p> | <p>Proyección financiera a 20 años plazo a partir del caudal mínimo reportado para un año seco (2001).</p> |
| | <p>Costo de protección del bosque</p> | <p>Determinación de los costos de protección de la masa boscosa actual</p> | <p>Simulación a 20 años plazo de los costos de planificación, administración y conservación del bosque actual.</p> |
| | <p>Cálculo del precio del agua</p> | <p>Estimación del precio del agua que compense los costos de oportunidad y protección del bosque</p> | <p>Costo de oportunidad + costo de protección, se integra en un proceso iterativo en una hoja de cálculo.</p> |
| | <p>Definición de la relación dosis / respuesta.</p> | <p>Determinación de la relación en la microfrecuencia colorado y definición de niveles de dosis</p> | <p>Uso de la tierra actual vía SIG</p> |
| <p>Tarifa a hidroeléctrica (costos evitados por sedimentación)</p> | <p>La respuesta (erosión y sedimentación) a los dos niveles de la dosis (cobertura forestal)</p> | <p>Cálculo de la respuesta (erosión y sedimentación) a los dos niveles de la dosis (cobertura forestal)</p> | <p>Determinación de erosión a través de ArcView; definición de un factor de ajuste erosión/ sedimentación y pronóstico de la sedimentación del embalse</p> |
| | <p>Cálculo del valor del servicio forestal de protección de la "calidad de agua"</p> | <p>Estimación de los costos asociados a la sedimentación del embalse</p> | <p>Costos investigados de dragado empleando una hoja de cálculo (Excel).</p> |

3.2.1 Fase I: Información biofísica

3.2.1.1 Modelo de elevación digital

El DEM7 de la subcuenca se desarrolló a partir de: hojas cartográficas de Río Hondo, Pueblo Viejo y Gualán, Guatemala, a escala 1:50,000; los pasos realizados fueron los siguientes:

Generación de archivos en formato *.tif a partir del escánear del área de la subcuenca.

Digitalización de curvas a nivel, empleando el programa R2V para Windows, versión 4.02.89; los archivos fueron georeferenciados a las coordenadas de la zona.

Digitalización de archivos independientes de caminos y ríos de la subcuenca.

Exportación de datos a Arc View versión 3.2., en formato *.shp

En el programa Arc View se procedió a generar el archivo *.tin, a partir de la capa de curvas a nivel y ríos, empleando la extensión 3D Analyst.

Con base en la hoja cartográfica e información de cortes anteriores, se rectificó el límite de la cuenca a la altura del parte aguas.

Se convirtió la capa generada a un archivo TIN, y éste a formato grid para el marco de la cuenca (multiplicación binaria), con tamaño de celda de 20 metros, lo cual permite asignar un valor de altitud a cada uno de los píxeles, es decir, el modelo de elevación digital.

3.2.1.2 Mapa de uso del suelo

La generación del mapa de uso del suelo se realizó a partir de seis fotografías aéreas de la subcuenca del año 2000, a escala 1:20,000; las imágenes generadas fueron corregidas a partir del modelo de elevación digital (acápite anterior) convirtiendo las imágenes reales, considerando las depresiones de la subcuenca. Los pasos realizados fueron los siguientes:

- i. Las imágenes de las fotografías se escánearon, generando archivos *.tiff.
- ii. La ortorectificación de las fotografías aéreas se realizó con el programa Airvis, en el laboratorio de sistemas de información geográfica de CATIE; para ello se contrastaron puntos en las fotografías aéreas y en las capas de caminos y ríos, que luego generaron ortofotos sobre la base del modelo de elevación digital.
- iii. Las seis ortofotos se unieron, generando el mosaico para la subcuenca.

⁷ DEM = Digital elevation model, por sus siglas en inglés

- iv. En el programa Arc View 3.02, sobre la base del mosaico de las ortofotos se digitalizaron los polígonos correspondientes a cada uno de los usos de la tierra, asignando etiquetas agrupadas en las categorías de uso del suelo -y la asignación del respectivo Id (identificación del polígono)-, de acuerdo a los objetivos del estudio.
- v. La información generada se verificó con puntos establecidos durante los recorridos de campo, así como por las áreas establecidas durante el levantamiento de parcelas del inventario forestal.
- vi. El archivo generado fue cortado con el marco de la cuenca, para tener el archivo forma (*.shp) correspondiente, siendo el empleado para fines de presentación y análisis.

3.2.1.3 Estimación del caudal de la subcuenca Jones

El objetivo de la medición consistía en determinar el caudal de agua mínimo de la subcuenca Jones. Se realizaron diez lecturas, con una frecuencia de alrededor de 15 días, con una duración de entre 2 y 3 días por lectura –de acuerdo al número de tomas habilitadas en el momento de la toma de datos- distribuidas de acuerdo al siguiente calendario:

Cuadro 7. Fechas de medición del caudal

| No. De lectura | Fecha | Estación |
|----------------|----------------------|----------|
| 1 | 14, 15 y 16 de marzo | Seca |
| 2 | 28, 29 y 30 de marzo | Seca |
| 3 | 9, 10 y 11 de abril | Seca |
| 4 | 23, 24 y 25 de abril | Seca |
| 5 | 9, 10 y 11 de mayo | Seca |
| 6 | 9 y 10 de junio | Lluviosa |
| 7 | 25 y 26 de junio | Lluviosa |
| 8 | 9 y 10 de julio | Lluviosa |
| 9 | 23 y 24 de julio | Lluviosa |
| 10 | 5 y 6 de agosto | Lluviosa |

El método empleado fue la determinación del caudal total, a través de la sumatoria de las derivaciones de agua (llamados por las personas del lugar "tomas"), y el aporte final del río Jones hacia el río Motagua, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Q_T = \sum Q_i + Q_j$$

Donde,

Q_T = Caudal total de la Subcuenca Jones

Q_i = Caudal de las tomas individuales derivados de los afluentes o río Jones.

Q_j = Caudal final del río Jones aportado al río Motagua.

El método se seleccionó debido a que durante el curso del río Jones y sus afluentes (ríos: Blanco, La Lima, Cañas y Colorado), existen corrientes subsuperficiales que aportan agua en distintos sitios, además, porque es el caudal real empleado de agua en la subcuenca, descontando pérdidas considerables debido a evaporación (altas temperaturas) e infiltración (canales de tierra).

El aforo del caudal de cada canal derivado se realizó con un molinete, marca General Oceanics, modelo 3040 (ver especificaciones anexo 3). El instrumento y manual respectivo, fueron proporcionados por "**Fundación Defensores de la Naturaleza**".

El procedimiento del aforo consistió de la determinación del área del canal en el sitio de aforo (altura y ancho), así como definición de la profundidad a la cual se ubicaría el molinete. El aparato se introducía dentro del canal de agua durante 30 segundos y se determinaba el número de revoluciones del rotor en la pantalla del odómetro respectivo. El procedimiento se repetía en dos ocasiones para poder recoger la variación permanente de la velocidad debido a fuerzas externas (rugosidad (superficie del perímetro mojado), forma del canal (pérdidas de energía), incremento de escorrentía, obstáculos, etc.). La información generada se procesaba, aplicando el procedimiento citado en el manual respectivo.

La cuenca tiene un total de 32 derivaciones de agua empleadas para riego (ver anexo 2); las tomas aforadas fueron aquellas que presentaron circulación de agua hacia terrenos bajo riego (no se contabilizaron aquellas tomas que eran derivadas en un punto de los ríos, pero posteriormente volvían al cauce de donde habían surgido originalmente).

El método de cálculo del caudal expresa el resultado en metros cúbicos por segundo.

3.2.1.4 Inventario forestal

El inventario se realizó de acuerdo al tipo de bosque: latifoliado y coníferas. El área del bosque inventariado se estimó que era el suelo que tenía "costo de oportunidad", por lo que se crearon dos estratos dentro de la cobertura forestal de coníferas y latifoliadas:

Area con condiciones de suelo con costo de oportunidad

Area con condiciones de suelo que carecen de costo de oportunidad

La diferenciación se basa en viabilidad técnica y rentabilidad económica. En el primer caso, se excluyeron las unidades de suelo cubiertas con bosque, que presentaban una pendiente mayor del 55% y suelos pedregosos, lo cual no permite la siembra de cultivos agrícolas ni mucho menos pasto. En el segundo caso –rentabilidad económica- se eliminaron las áreas con mal acceso (debido a topografía o cauces del río), puesto que los costos de transporte de la producción superan a los beneficios obtenidos por la venta de los productos.

El objetivo del inventario forestal fue "comercial", es decir, se contabilizaron las áreas con especies de valor en el mercado.

Tamaño de muestra

Las implicaciones de la decisión acerca del tamaño de la muestra seleccionada de la población son obvias: dinero (Scheaffer y Mendehall, 1986);

Para la determinación del número de parcelas se empleó la fórmula que permite estimar el error de muestreo (límite de 15%) a partir de los cambios por la inclusión de una nueva parcela.

Para el efecto se determinó la desviación estándar ($S = \sqrt{\frac{\sum Y_i^2 + \frac{\sum Y_i^2}{n}}{n-1}}$), seguidamente

el error estándar ($S_y = \frac{S}{\sqrt{n}}$), para finalmente con el empleo de una tabla de "t" al 5% se

llevó el computo del error de muestreo ($\%E = t_{.05} * S_y$)

Debido a ello, se realizó el levantamiento determinando el error de muestreo permanentemente hasta considerar que era aceptable el resultado.

Unidad de muestreo

La definición de las unidades de muestreo se realizó con el empleo de Arc View, definiendo cuadrículas de 1 ha superficial. A cada celda se le asignó un número correspondiente a su ubicación y luego se seleccionaron al azar el número de parcelas definidas.

Tamaño y forma de parcela

Cada unidad muestral se denominó conglomerado, y represento el conjunto de tres parcelas de forma circular, que distaban de los centros 50 metros; cada parcela circular tenía una extensión de 1,000 metros cuadrados, lo cual totalizaba 3,000 metros cuadrados por unidad muestral. El radio en terrenos planos correspondió a 17.5 metros lineales y en terrenos con pendiente se realizaba el ajuste correspondiente.

Levantamiento de información

El personal promedio, encargado de la toma de datos en el bosque consistió de: un coordinador –que ubicaba las parcelas y tomaba los datos, dos baquiadores –quienes tomaban el diámetro de los árboles- y dos operarios que se encargaban de delimitar la parcela con estacas.

El procedimiento realizado fue el siguiente:

Ubicación de la parcela en el campo y definición del radio de la parcela (17.5 metros lineales para sitios planos, ampliado de acuerdo al grado de pendiente).

Trazado de la primera parcela, colocando cuatro estacas con la distancia definida en forma de equis.

Llenado de la información general de la boleta

Medición del diámetro de los árboles presentes en la primera parcela, mencionando el D.A.P. (diámetro a la altura del pecho) y la especie, iniciando en un punto y continuando en dirección a las agujas del reloj.

Paralelamente a la toma de datos, se definía y consignaban los datos del "árbol tipo" de la parcela (representativo en altura y diámetro). El árbol seleccionado, se barrenaba con el propósito de determinar la edad, a partir del conteo de los "anillos"⁸ más la adición de dos años (tiempo inicial de crecimiento, que se asume no estaba representado por los anillos). Finalmente, se medía el ancho de la corteza.

El siguiente paso, consistía en medir 50 metros desde el centro de la parcela recién medida, y el punto donde llegaba la cinta métrica era el centro de la siguiente parcela.

Se repetían los pasos de "d" hasta "f" para la segunda parcela.

Se tomaban los datos de la tercera parcela (paso anterior) y se daba por concluido el levantamiento de información para el conglomerado.

Las herramientas empleadas durante la etapa de campo del inventario forestal fueron: dos forsículas, cinta métrica, dos clinómetros, un barreno para el caso de las coníferas, medidor de corteza, boleta y tabla de madera.

Procesamiento de información

La información proveniente de las papeletas fue vaciada a una aplicación construida en Excel para Windows, versión 2000. Se aplicó una fórmula (basada en el cilindro) para conversión de diámetro y altura de los árboles en volumen, de acuerdo a la tabla de crecimiento.

3.2.1.5 El precio de la madera

Los precios de la madera se obtuvieron en base al listado publicado por PAFG (Proyecto Agroforestal para Guatemala) y cotizaciones con aserraderos de la zona.

⁸ Formación anual de una capa vascular que transportaba los nutrientes y oxígeno en el árbol -vía floema y xilema-.

3.2.1.6 Costos e ingresos de ganadería

En el área se determinó el tipo de explotación ganadera (extensiva); los indicadores técnicos se establecieron a través de entrevistas con pobladores (peso de animales, tipo de pasto, plan profiláctico, medio de transporte, etc.). La información fue analizada y se construyó la ficha ganadera "típica", a través de la validación con un experto en la materia.

3.2.1.7 Embalse hipotético en la microcuenca Colorado

Para la estimación de una tarifa para una empresa hidroeléctrica se escogió una microcuenca que reúne los requerimientos para la instalación de una planta, en cuanto a caudal, acceso, pendiente, y sobre todo calidad de agua, etc; al respecto se siguió la orientación de expertos en la materia que están conduciendo un estudio de factibilidad en Sierra de las Minas. El área seleccionada es la microcuenca del río Colorado –uno de los cuatro afluentes del río Jones-.

Los datos necesarios para el cálculo de los costos evitados son:

- ✓ Acumulación de sedimentos en el embalse (con y sin cobertura forestal)
- ✓ Estimación de los costos de limpieza del embalse hipotético

El diseño del embalse hipotético se construyó con base en las mediciones de caudal del río Colorado, por alrededor de nueve meses: del 24 de enero al 3 de noviembre del año 2001 (obtenidas vía intercambio de información); así mismo, se consideró el patrón de lluvias del presente año, en relación a un análisis histórico de 20 años para la subcuenca; la información fue proporcionada por un especialista en construcción de plantas hidroeléctricas. El método de medición del caudal fue a través de la construcción de un vertedero

Los principios del diseño del embalse hipotético son:

- ✓ Las dimensiones son similares al vertedero construido para aforar el río –lo cual permite extrapolar los datos de sedimentación acumulada-;
- ✓ El diseño es construido con el propósito de garantizar la energía primaria, que de acuerdo a Solís (2001) es la máxima potencia que una planta puede producir en el 100% del tiempo de operación, y se calculara para un período crítico, de caudales mínimos del período de registro del río;

- ✓ El objetivo de la construcción está dirigido a la producción de generación eléctrica diaria (de 4 a 6 horas, según el período pico de demanda), con el propósito de maximizar ganancias.

3.2.1.8 Erosion y sus efectos en la sedimentación del embalse

El estudio contempla la diferencia en la acumulación de sedimentos en el embalse debido a un cambio en la cobertura del suelo (de bosque a pasto), por ende se levantó información para el cálculo de:

- ✓ Sedimentación actual (con cobertura forestal)
- ✓ Sedimentación simulada (sin cobertura forestal)

La sedimentación **actual** de la cuenca se obtuvo a través de una medición directa. El método usado fue la cubicación del volumen de sedimentos acumulados en el vertedero ubicado para el aforo del Río Colorado, el cual tiene características similares (dimensiones, ubicación, caudal, etc.) al embalse hipotético.

La sedimentación simulada se determinó a través de un método clásico para el cálculo de erosión potencial a través de SIG, afinado por un factor de ajuste⁹, que relaciona la erosión potencial de la microcuenca y la acumulación de sedimentos en el embalse.

Las ventajas del cálculo de sedimentación del embalse, a través de los métodos aplicados en el estudio fueron que:

Permite eliminar el "sesgo" de los supuestos en los modelos de transporte de sedimentos y acumulación de sedimentos en el embalse, debido a que de una manera directa se mide la sedimentación real.

Facilita los cálculos, permitiendo replicar la metodología para condiciones similares (especialmente en Sierra de las Minas).

Emplea como insumo el cálculo de la erosión potencial, a través del método clásico de determinación vía SIG.

⁹ El factor se obtuvo con los datos generados en el estudio, teniendo la ventaja de poder replicar el proceso en condiciones similares de manera abreviada. Con el cálculo de la erosión actual, se puede predecir la acumulación de sedimentos "simulada"

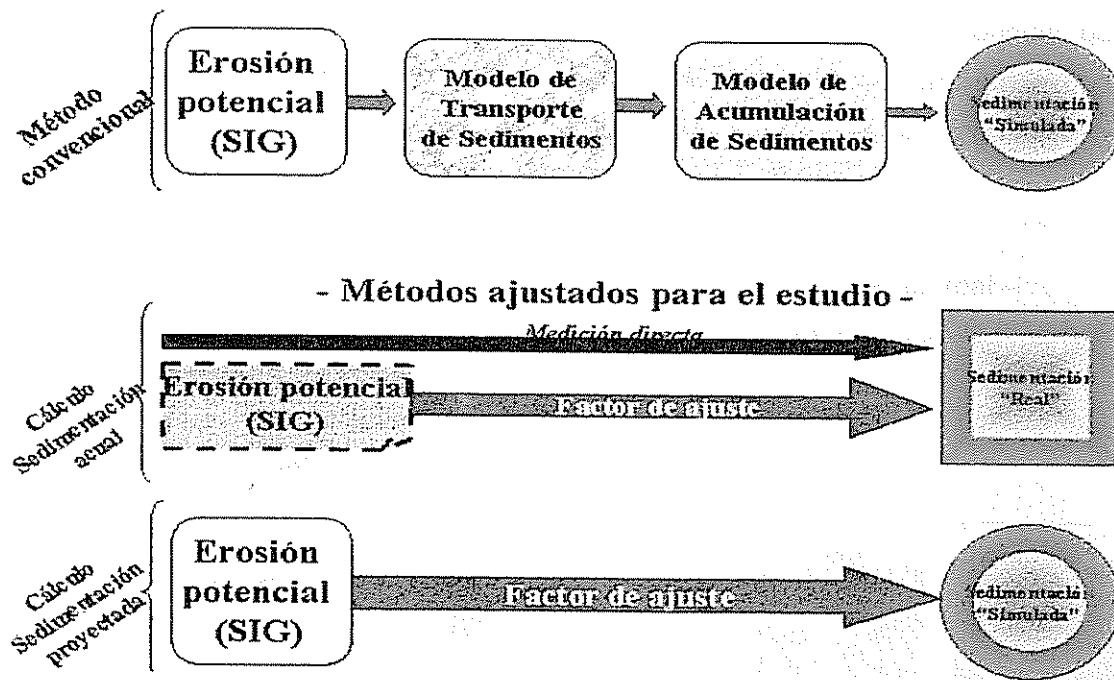


Figura 1. Relación entre métodos para cálculo de sedimentación

3.2.1.9 Cálculo de la sedimentación actual –con cobertura forestal-

La sedimentación en metros cúbicos, se obtuvo a través de la medición de los sedimentos depositados en el fondo del vertederero. El procedimiento seguido fue la determinación de la altura de la lámina de sedimentos acumulada durante ocho meses, multiplicada por el ancho y largo del vertedero. El volumen de sedimentos en el embalse hipotético, se determinó tomando como base lo acumulado en el vertedero, sumado a una proyección de los cuatro meses restantes. El cálculo se realizó multiplicando el valor obtenido por 1.5, debido a que para el año tiene doce meses, de los cuales fueron medidos cuatro (es decir, para ajustar al año, el factor se obtuvo a partir de 12 meses al año / 8 meses computados = 1.5). No se discriminó entre época de verano e invierno, debido a que los cuatro meses sin medida directa se distribuyen en igual proporción entre época seca y lluviosa (dos meses para cada época).

3.2.1.10 Cálculo de la sedimentación simulada –sin cobertura forestal-

El valor se obtuvo a través del método abreviado que se aplicó al estudio, mezclando datos reales con métodos de determinación vía SIG (ver figura 1). El proceso consistió en los siguientes pasos:

Estimación de erosión para la situación actual y dos escenarios hipotéticos; el primero que permita estimar la tendencia del uso de la tierra y el segundo que asume la corta permanente del bosque (creando el inverso de la condición sin bosque, para poder valorar el aporte de éste).

Determinación del factor de ajuste —entre erosión potencial y sedimentación real —

Estimación de la sedimentación acumulada que debe ser extraída el embalse a partir de la definición de una matriz de indicadores técnicos.

Estimación de erosión potencial —con y sin cobertura forestal

El cálculo de la erosión se efectuó a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)¹⁰, método desarrollado por Wischmeier y Smith (1978). La figura 2 presenta el arreglo de mapas empleado para estimar la pérdida de suelo de la microcuenca Colorado.

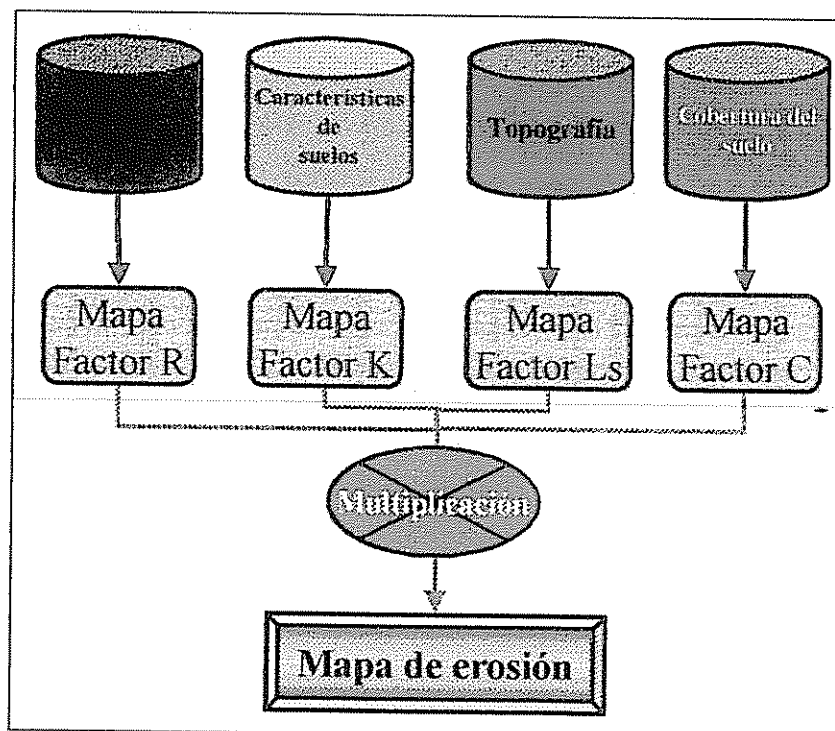


Figura 2. Estimación de erosión, método RUSLE

La tasa de erosión dada para un sitio es determinada por la forma particular en la cual los niveles de variables físicas y de manejo están combinadas, siendo estas: intensidad de lluvia, características del suelo, inclinación y longitud de pendiente y cobertura vegetal. El sitio de trabajo fue el laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de CATIE.

¹⁰ por sus siglas en inglés USLE, Universal Soil loss equation

3.2.1.10.1.1 Factor R

El factor de erosión pluvial, que mide la energía cinética de la lluvia sobre la superficie del suelo se obtuvo del mapa del factor R generado por el Proyecto Asistencia Técnica y Generación de información (CATIE, 2001) para Guatemala, a escala 1:250,000

El proceso de recorte de la microcuenca Colorado, consistió en multiplicar el marco por el mapa de Guatemala en el programa ArcView, y luego eliminar todos los valores iguales a 0 con el programa Idrisi; finalmente se redujo la escala del mapa.

3.2.1.10.1.2 Factor K

El factor de características del suelo se obtuvo del mapa del factor K generado por el proyecto CATIE/Esprede (2001) para Guatemala, a escala 1:250,000. El proceso de recorte de la microcuenca Colorado, consistió en multiplicar el marco por el mapa de Guatemala en el programa ArcView, y luego eliminar todos los valores iguales a 0 con el programa Idrisi; finalmente se redujo el tamaño de la celda (con fines de reducción de la escala del mapa).

La información se obtuvo a partir del mapa del factor K generado por el Proyecto Asistencia Técnica y Generación de información (CATIE, 2001) para Guatemala, a escala 1:250,000. Los datos se obtuvieron a partir del mapa de serie de suelos, de donde se determinaron los parámetros que definen el factor K (textura, contenido de materia orgánica y permeabilidad).

3.2.1.10.1.3 Factor Ls

Con base en el método diseñado para determinar el factor Ls en ArcView; para el cálculo del factor L, se tomó una longitud de pendiente igual a 120 m, que corresponde al tamaño de la cuadrícula (píxel) utilizada en el archivo grid. A partir del modelo de elevación digital fue derivada la pendiente. Ambos datos se cruzaron para el obtener el mapa de Ls, siguiente los siguientes pasos:

Se tomó como base el modelo de elevación digital

Se convirtió a grid, empleando como tamaño de celda 20 metros.

Se activo la extensión Hydro, empleando el menú con el mismo nombre; se aplicaron los comandos: fill, flow direction y accumulation flow.

Se derivó la pendiente (menú Surface); el resultado que originalmente estaba dado en grados se cambio a radianes a través de la opción calculate ($P * \pi / 180$).

Se selecciona en el mapa de flow accumulation $> \text{ó} = 8$ y se crea el mapa negativo respectivo.

Se genera el positivo del paso anterior y se reclasifica en 9 valores, denominándolo Nueva Aum Flujo.

Se aplica la formula para el cálculo del factor Ls: $((\text{Nueva Aum Flujo} * 20/22.13).Pow(0.4)) * (((\text{Pendiente en grados}/180 \text{ sen})/(0.0896)).Pow(1.3))$.

3.2.1.10.1.4 Factor C

El factor de cobertura, se basa en valores generados por distintos autores (Wischmeier, Roose, Callsite, entre otros). Los valores oscilan entre 0 y 1. El principio de selección de los valores respondió al objetivo del análisis: simular un cambio de uso del suelo, de cobertura forestal hacia pasto con árboles distribuidos al azar. Por ende, los valores empleados tienen tendencia a resaltar dicha variación.

Cuadro 8. Valores del factor C de acuerdo a diferentes usos en la microcuenca Colorado

| Tipo de uso de la Tierra | Factor C | Razón |
|-----------------------------------|----------|--|
| Bosque latifoliado | 0.001 | El rango oscila entre 0.0001 y 0.001, con una cobertura mayor del 75% del dosel. El bosques no ha sido disturbado, la infiltración y contenido de materia orgánica es alta y la mayor parte del suelo está cubierto por una capa de hojas caída y mulch. |
| Bosque coníferas | 0.006 | Es el punto medio del rango de 0.003 a 0.009 que tiene entre 40 y 20% de área cubierta por el dosel del bosque. El área ha sido empleada para pastoreo o quemada. |
| Hortalizas | 0.49 | Índice generalmente aceptado para hortalizas |
| Pasto natural | 0.09 | Cobertura de alrededor del 25% de árboles y con 40% como mínimo de suelo con cobertura (pasto) |
| Escenario 1: situación sin bosque | 0.08 | Se estima que los suelos son afectados en alta proporción debido a la tala del bosque. |

3.2.1.10.1.5 Factor P

En el estudio no fue considerada la variable "prácticas de cultivo utilizadas" debido a que i) el bosque no está siendo manejado en la situación actual –con cobertura forestal–, y ii) en el caso del escenario que simula la pérdida de cobertura forestal la alternativa principal

consiste en la introducción de ganado como se realiza actualmente (sin prácticas de manejo del pasto).

Con todos los requerimientos de información necesarios (mapas: R, K, Ls y variable C) se integró la información a través de multiplicación binaria, empleando la herramienta del menú Análisis, Map calculator; finalmente se grabaron los datos con la opción del menú Theme: save data set. Media vez generado el mapa de erosión por unidad de área, se realizó una sumatoria sobre la cantidad total de pérdida de suelo, expresada en Toneladas / año.

Determinación de la erosión

Con los mapas anteriores se procedió a aplicar la ecuación universal de pérdida de suelo, la cual consiste en la multiplicación de los factores (Ls, K, R y C).

3.2.1.10.1.6 Determinación del factor de ajuste

Para la determinación del factor se aplicó la siguiente ecuación, que establece el método de ajuste:

$$\frac{S_r}{E_a} = \frac{S_e}{E_p}$$

Donde,

S_r = Sedimentación real medida por la trampa ubicada en el vertedero

E_a = Erosión actual de la microcuenca (método RUSLE)

S_e = Sedimentación esperada en el embalse

E_p = Erosión potencial de la microcuenca (Método RUSLE)

En la igualdad anterior para determinar la Sedimentación esperada (S_e), obtenemos la formula aplicada en el cálculo de la sedimentación del embalse:

$$S_e = \frac{S_r * E_a}{E_p}$$

La aplicación de éste método indirecto permite eliminar el sesgo ocasionado por la determinación de la tasa de transporte de sedimentos y la capacidad de transporte, así como también la acumulación de sólidos sedimentables en base a las características del embalse.

Las bases para el cálculo del factor de ajuste fueron: la estimación de la pérdida de suelo de la Microcuenca –acápite anterior- y el cálculo de la tasa de sedimentación "real" del embalse hipotético (a partir de la medición en el vertedero).

El factor de ajuste se lee como: "la proporción de la erosión de la microcuenca que se sedimenta en el embalse".

3.2.1.10.1.7 Estimación de la sedimentación simulada

Los mapas empleados para el cálculo de la pérdida de suelo actual fueron los mismos que se emplearon para determinar la pérdida de suelo proyectada, con excepción de la variación del factor de cobertura "C". En ese caso fueron creadas tres capas de mapas para proyectar igual arreglo de factores: Situación actual y dos escenarios proyectados.

Con dicho cambio, se procedió a la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS), multiplicando los mapas respectivos, para luego totalizar los valores determinados a nivel de microcuenca expresados en toneladas.

3.2.1.11 Determinación de costos de dragado

El efecto económico del dragado se estableció en tres aspectos: costos de limpieza, pérdida de potencia y pérdida de energía.

La información empleada para el cálculo de limpieza fue tomada a partir de revisión bibliográfica (Reyes y Córdoba, 1999; Gutiérrez, O, 2001, Arenal xx 19xx), validados por una consulta telefónica al ICE (Instituto Costarricense de Electricidad); las pérdidas de energía y potencia se contabilizaron a partir de consultas con la empresa que realiza actualmente el estudio de factibilidad de la hidroeléctrica en río Colorado y entrevistas vía e-mail con el Mercado de mayoristas de energía eléctrica de Guatemala (precios spot).

3.2.2 Fase II: aplicación de métodos y técnicas de valoración económica

3.2.2.1 Costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque

De acuerdo a Merayo (1999), 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.

El análisis se basó en la estrecha relación que guarda el bosque de la subcuenca con el caudal de estiaje (Brown et. al. 1996); siendo la época en que el agua tiene mayor demanda debido a su empleo por los usuarios de riego y consumo humano.

La estimación del precio del costo de oportunidad del suelo se decidió presentarlo en un rango de valores (mínimo y máximo) para que exista mayor flexibilidad al momento de la negociación, razón por lo cual se construyeron dos proyecciones financieras que difirieron solamente en el área de bosque que era sustituida. Cada proyección representa el "costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque"; De acuerdo al tamaño de la superficie sometida al cambio de uso del suelo, se diseñaron dos variantes; en el primer caso se sustituyen 1708 ha correspondientes a la categoría de Bosque de Pino, y en el segundo a las anteriores se adicionan 1817 has del bosque de pino protector (3535 has en total). En el caso de bosque latifoliado, no fue sujeto a cambio de uso debido a las siguientes razones: i) no existe un mercado para las especies de frondosas, ii) la distancia de la zona hasta los caminos, hace no rentable su corte y transporte hacia el aserradero –lo cual aplica en el 7% del total de especies -. Por ende su costo de oportunidad se basó en el pago por incentivos forestales para extensiones mayores (INAB, 2001)

La proyección del costo de oportunidad se basó en el uso alternativo que tienen los bosques actualmente: ganadería extensiva. El proceso de cambio inicia con la venta de la madera en pie –con la tala consecuente por parte del comprador- y la compra de ganado vacuno que es liberado en el área y reunido al finalizar el período de engorde (18 meses), destinándolo a la venta.

La técnica de costo de oportunidad emplea precios de mercado (Dixon, et al 19), y en éste caso, se refiere a la sustitución del bosque con pasto de corte. La técnica fue "Adaptada" para eliminar el sesgo derivado del salto de una cobertura a otra, sin considerar la interfase entre ambas. Por tal razón, se consideró que para la sustitución el primer paso consistía en la corta y venta del bosque comercial, así como en el valor derivado del pago por servicios ambientales del bosque no comercial (Pinfor, Ley Forestal Guatemala).

Construcción de la proyección financiera

La proyección financiera contiene dos secciones: información de crecimiento, rendimiento físico del bosque, así como las operaciones, rendimientos, costos y precios de la madera (Quirós, D y Gómez, M, 1998); y la información financiera de ganado de engorde en un sistema extensivo.

Los costos y beneficios por actividad, han sido la base para determinar los costos y beneficios del período de análisis (VAN a 20 años plazo). El instrumento empleado para los cálculos fueron planillas electrónicas en el programa Excel 2000, con precios en dólares. La fuente de indicadores técnicos fue referenciada directamente con los resultados de la proyección, permitiendo tener control de las matrices de precio e indicadores de una manera ágil.

Tipo de análisis financiero

Debido a que el enfoque es a nivel de cuenca, para fines de determinación del precio del bosque en pie se escogió el nivel de análisis a nivel de empresa, incluyendo el área bajo manejo y el área no susceptible de manejo.

Los costos estimados incluyeron los del aprovechamiento de la madera, beneficios incrementales para llevar ciertos compartimientos a edad aceptable de corta, así como los costos de administración, asesoría legal, asistencia técnica, regulación y control, así como beneficios derivados de las acciones administrativas (Pago de Pinfor¹¹).

Periodo de análisis

La duración de la serie de tiempo se definió de manera que se realizaran dos aprovechamientos forestales para la proyección de venta de madera e introducción de

¹¹ Incentivo forestal creado por la ley forestal y aplicable en la zona

ganadería (de acuerdo al DAP mínimo de corta). Con base en lo anterior, el ciclo de corta se calculó de acuerdo al incremento medio anual en diámetro.

Supuestos del modelo

- ✓ La venta del bosque comercial, en función de las categorías de manejo de la subcuenca (Decreto 49-90 de la República de Guatemala) se basa en las limitaciones de uso: la zona de protección no se maneja (bosques de latifoliadas), en la zona de amortiguamiento se permite y se simula la extracción de madera; La única excepción es el suelo con cobertura forestal localizado en la zona de usos múltiples, el cual por tener áreas comerciales se simula que se tala.
- ✓ Se asume una relación directamente proporcional, entre la cobertura forestal de las zonas de recarga y captación hídrica, y la producción anual mínima de agua en la subcuenca.
- ✓ La corta y venta del bosque de coníferas comercial se realiza en un periodo de corta total de años de duración, extrayendo las especies con un DAP mayor de 35 centímetros; el sistema aplicado es un comportamiento de corta, con alrededor de 300 ha/año, debido a razones de manejo.
- ✓ La venta de la madera se realiza en pie, en el sitio donde se encuentra.
- ✓ En la medida en que se corta el bosque, se introduce el ganado de engorde para aprovechar inmediatamente el terreno disponible.

3.2.2.2 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 contabilizaron en una proyección financiera. La información se obtuvo a partir de entrevistas con técnicos del área y revisión de fuentes secundarias. El período de análisis fue de 20 años, durante los cuales en los primeros se hacen las inversiones mayores (compra de equipo y construcción de instalaciones de control); la razón de la duración es que se puede igual con la proyección financiera del costo de oportunidad.

En la planilla electrónica se consideró el rubro de ingresos a partir de la venta de los servicios ambientales que el bosque brinda al ser considerado; con base a consulta con expertos se definió el peso del servicio de regulación hídrica entre el total de servicios ambientales (peso = 1).

Además, a partir de las mediciones de caudal de la cuenca, se construyó una función y se determinó el caudal mínimo durante el período de análisis (el cual se ubica en un año seco). Con base en el sistema de generación y venta de energía eléctrica, se adoptó el término de Producción Hídrica Primaria Anual, el cual se obtuvo a través de la determinación del caudal mínimo diario multiplicándolo por los 365 días del año.

3.2.2.3 Cálculo del precio de la unidad de agua

La información obtenida en ambas proyecciones financieras se empleó como fuente para determinar el precio del metro cúbico de agua. El costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque tiene una duración mayor de un año (en éste caso se proyectaron 20 años), y en la misma medida de tiempo se proyectaron los costos de protección del bosque, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Costo de oportunidad del suelo con bosque} + \text{Costo de protección} = \text{tarifa del agua}$$

Dado que los costos fueron determinados para una serie tiempo, el beneficio actualizado corresponde al VAN¹²; por lo tanto el precio de la unidad de agua (US \$ m³ ha⁻¹) debe compensar ambos costos, durante el mismo período de tiempo.

El procedimiento consistió en incluir dentro de la proyección de "Protección del bosque" en la parte correspondiente a ingresos, una casilla que al ser multiplicada por el volumen de agua regulado (producción hídrica primaria anual), diera como resultado los ingresos del escenario. Esta última variable se determinó (ver acápite anterior) y quedó como incógnita el "precio", constante de la unidad de agua para el período. Finalmente, a través de un proceso iterativo se ingresaron datos a la casilla de precio, de manera que el VAN de ese escenario fuera igual al VAN del escenario anterior, es decir, que el precio del agua compensara el costo de oportunidad y el costo de protección del bosque.

3.2.2.4 Determinación de la relación dosis / respuesta

Con base en Lee (1980), la cobertura forestal tiene una relación directa con la pérdida de suelos. La relación dosis / respuesta se halla representada por la superficie de cobertura forestal y su incidencia en la sedimentación de un embalse hipotético aguas abajo representa la respuesta.

¹² Calculado a una tasa de descuento del 12% anual

Actualmente la amplia cobertura forestal de la microcuenca Colorado (90%) provee de agua con poco contenido de sedimentos, por lo que en el punto de salida de la microcuenca se están haciendo los estudios para la construcción de una hidroeléctrica.

El análisis se construye alrededor de la **calidad del agua**, debido a que tiene una relación directa entre la sedimentación y los costos asociados al dragado; no se desprecia el impacto de las variaciones del caudal ocasionadas por la pérdida de la cobertura forestal, que repercuten en la potencia y energía eléctrica generada por la planta; sin embargo, se excluyen del análisis por incluirse implícitamente en el atributo evaluado (calidad).

La técnica de valoración empleada se denomina "costos evitados" y estima los costos en que incurriría la empresa hidroeléctrica por concepto de dragado, debido a la tala del bosque. Para el efecto, emplea precios de mercado haciendo más robusta su aplicación (Dixon, et al). Los costos ocasionados por la sedimentación del embalse son calculados en dólares por hectárea.

La aplicación de la técnica de valoración se adaptó a las condiciones de la microcuenca del río Colorado; para su realización se adaptaron las aplicaciones en condiciones de valoración similares de Dixon et al (1990), Reyes y Córdoba (1999) y Echeverría (1997).

La información empleada para la aplicación del método de valoración fue el diseño de un embalse hipotético –en el sitio considerado para la realización de un estudio de factibilidad para la implementación de una hidroeléctrica- y la sedimentación debido a la tala del bosque a través de la aplicación del método de la USLE ajustado por un factor de corrección.

3.2.2.5 Respuesta simulada (sedimentación) a distintos niveles de dosis (cobertura forestal)

El análisis se realizó de manera estática, basado en dos principios:

1. Nivel de referencia

Conservación de la cobertura forestal de la microcuenca Colorado –*tal como se encuentra actualmente*- lo cual guarda una relación directamente proporcional con una buena calidad de agua para usos hidroeléctricos (tasa de sedimentación baja).

2. Cambios de uso del suelo

Sustitución de la cobertura forestal por pastoreo extensivo, lo cual tiene una relación inversamente proporcional con la calidad de agua para fines hidroeléctricos (alta tasa de sedimentación). Esta modalidad comprendió dos niveles de dosis: tendencia del uso del suelo (pérdida de cobertura forestal en 45 años, basado en la tasa de deforestación actual) y sustitución completa del bosque; ambas ocasionan un incremento del volumen de sedimentos acumulados en el embalse.

3.2.2.6 Valor de la unidad de bosque por la protección de la calidad del agua

Para calcular la pérdida de ingresos de la hidroeléctrica ocasionados por la sedimentación del embalse hipotético, se estiman los costos ocasionados por la limpieza del embalse (mano de obra, costos de transporte, equipo, etc) y los ingresos dejados de percibir debido a una paralización de la planta, cuando se ha llenado de sedimentos un 30% de su volumen útil –y se ha sobrepasado el volumen muerto- (visto como costos). El proceso de dragado es necesario para reponer la potencia máxima de la planta, así como la producción de energía óptima, así como disminuye la depreciación de la maquinaria (tubería y turbinas).

Finalmente se proponen algunos elementos para sentar las bases de una política de pago de servicios ambientales, de acuerdo a las condiciones de la zona, las características del usuario del servicio (hidroeléctrica) y experiencias de otros países en vías de desarrollo.

4 RESULTAODOS

4.1 Valoración del servicio ambiental de regulación hídrica

El bosque brinda beneficios en términos de cantidad y calidad de agua. El primer caso se refiere al efecto de "regulación" entre la variación de caudales máximos y mínimos debido a la presencia de cobertura forestal asociada con parámetros de calidad dados. Los efectos del déficit o exceso hídrico tienen impactos negativos en la subcuenca, ocasionando sequía o inundación respectivamente (Solís, 2001). La función del bosque nuboso es estratégica para la economía de la zona¹³ que depende del agua que se capta en la parte alta de la subcuenca (zona núcleo). En Sierra de las Minas, durante la época de verano la disponibilidad de agua es el factor limitante de la producción agrícola y pone en riesgo la sobrevivencia de animales en el árido valle del Motagua. El servicio ambiental de "regulación hídrica" mantiene un caudal mínimo en la cuenca durante el verano (río Jones y sus cuatro afluentes, ríos: Blanco, Colorado, Lima y Cañas).

El servicio ambiental de "regulación hídrica" tiene mercado potencial, debido a que presenta la característica de escasez, reflejado en la demanda de agua que existe durante la época de verano en la subcuenca Jones.

El agua ha sido considerada como un bien "libre" que existe en cantidades infinitas cuyo precio tiende a cero (Echeverría 1999). Sin embargo, la presión demográfica ha puesto de manifiesto la "escasez" del líquido. En el mercado, los bienes tienen precio de acuerdo a su grado de escasez; en el caso del agua, su precio se basa en la escasez durante la época seca. El suministro del líquido depende del manejo de sus fuentes (Ansmann, 2000).

Esta sección del estudio se dirige a valorar el agua, a partir de la "cantidad mínima" en época de estiaje, en función del bosque. La valoración del agua es información clave que permite ordenar el proceso de toma de decisiones en la asignación del recurso hídrico;

¹³ El agua captada en la subcuenca Jones, abastece a las comunidades que se ubican dentro del límite del parte aguas (6), así como a comunidades vecinas (8).

además, propicia la creación de un mecanismo de pago por el servicio ambiental del bosque, que genere fondos para la protección de la zona de recarga y captación hídrica¹⁴.

La valoración se sustenta en la relación bosque / agua; en el caso de la subcuenca, se ha comprobado que la cobertura forestal (bosque nuboso y de coníferas), actúa como "regulador" disminuyendo la descarga de los ríos durante el invierno y liberando el agua acumulada durante el verano (Brown, et al 1996).

El producto final es el precio (costo total) del metro cúbico de agua (US \$ / m³), con referencia a la producción primaria hídrica¹⁵, basado en: i) el costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque (venta de madera y ganadería), y ii) el costo de protección del bosque, preservándolo. El período de análisis es de 20 años, tiempo durante el cual se pueden contabilizar las variaciones anuales en términos de inversiones y cambios de uso del suelo.

4.1.1 Características de la subcuenca Jones

4.1.1.1 Uso del suelo

De acuerdo a la fotointerpretación de fotografías del año 2000, se definió el uso actual de la tierra a nivel de la Subcuenca Jones:

¹⁴ Recarga hídrica se refiere a la parte alta y media alta de la cuenca que presenta mayor precipitación, pendiente moderada y suelos profundos con alto contenido de materia orgánica, reciben e infiltran la mayor cantidad de agua –latifoliadas -; la zona de captación se sitúa inmediatamente debajo de la zona anterior, y es la superficie donde el agua se conduce hasta llegar a los cauces de la cuenca, infiltrándose el agua durante el recorrido –coníferas-

¹⁵ Término adaptado de la generación eléctrica; consiste en la descarga mínima que se puede garantizar durante todo el año; además de la producción primaria, en época lluviosa existe una producción secundaria, que es el excedente entre el caudal total menos el caudal mínimo.

Cuadro 9 . Uso de la tierra de la subcuenca Jones

| CATEGORIA | Area (ha) | Porcentaje |
|--------------------|-----------|------------|
| Bosque de pino | 3557 | 37% |
| Pastoreo extensivo | 2330 | 24% |
| Bosque latifoliado | 1447 | 15% |
| Area agrícola | 736 | 8% |
| Pasto bajo riego | 417 | 4% |
| Bosque seco | 409 | 4% |
| Suelo degradado | 277 | 3% |
| Bosque de galería | 190 | 2% |
| Area urbana | 170 | 2% |
| Total | 9533 | 100% |

Fuente: Elaboración propia

El cuadro anterior muestra que la cobertura forestal representa alrededor de la mitad de la superficie -54%- (bosques de pino, latifoliado y de galería); la actividad productiva conducida por los pobladores es el pastoreo extensivo que ocupa alrededor de la cuarta parte del área (24%), esto implica que el área dedicada a pastoreo aumenta, con base en una disminución de la cobertura forestal; además debido a fenómenos naturales adversos se ha perdido el 3% del suelo aluvial fértil ubicado en los márgenes de los ríos.

El siguiente mapa presenta la distribución de los usos de la tierra en la subcuenca, y la delimitación de las zonas de manejo (de arriba abajo: zona núcleo, zona de usos múltiples y zona de amortiguamiento), de acuerdo a la Declaratoria de Sierra de las Minas

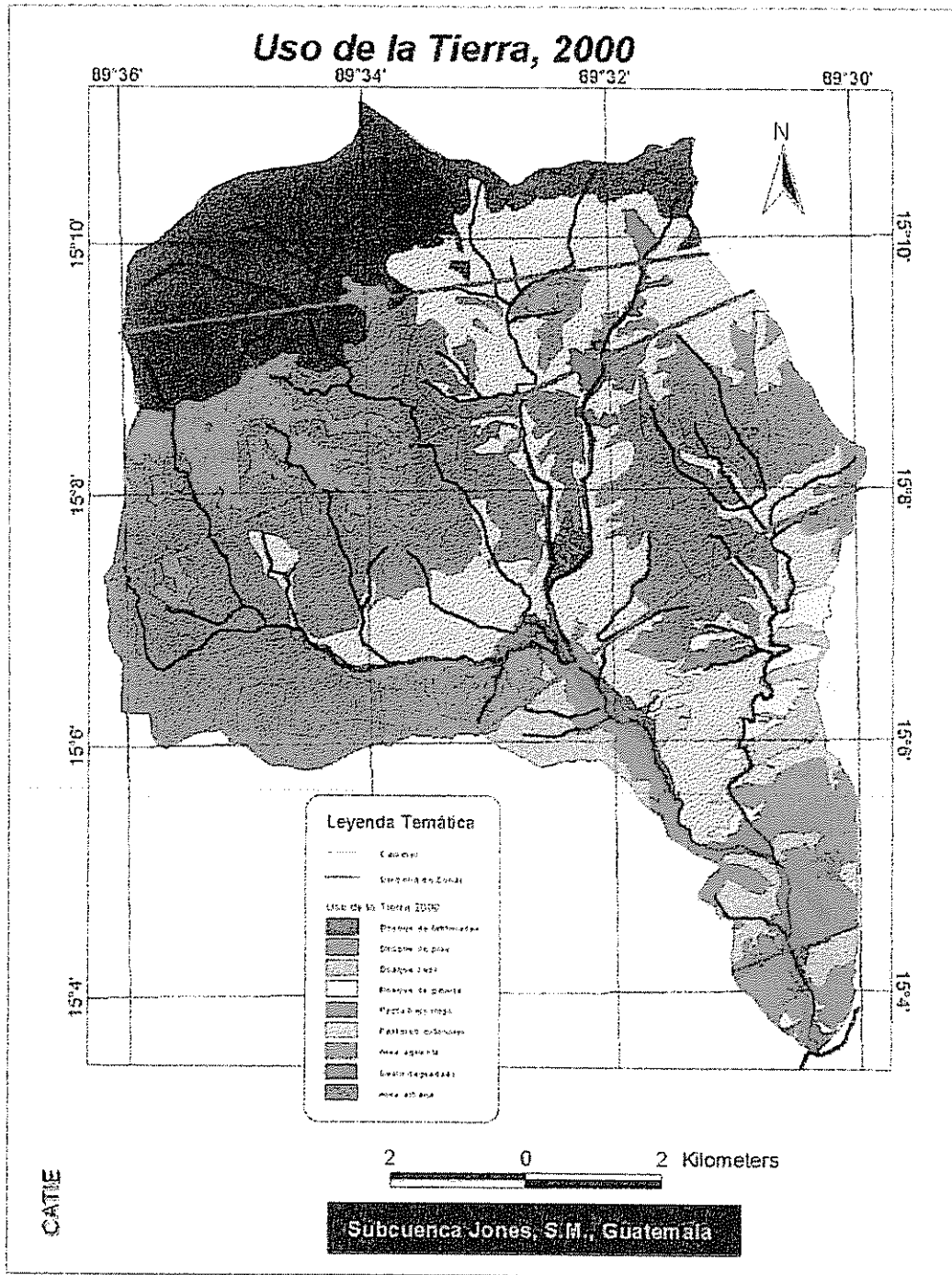


Figura 3. Uso de la tierra 2000, subcuenca Jones

A continuación se presenta un análisis comparativo entre el resultado del uso de la tierra del presente estudio y fotointerpretación del año de 1995 (Brown, et al. 1996):

Cuadro 10. Cambios en el uso de la tierra para un período de 5 años, subcuenca Jones

| Categoría | 1995 | 2000 | Variación | % |
|-----------------------|-------|-------|-----------|------|
| Bosque | 5,630 | 5194 | -436 | -8% |
| Pastoreo | 1,938 | 2330 | 392 | 20% |
| Agricultura | 271 | 736 | 465 | 172% |
| Area urbana | 32 | 137 | 105 | 328% |
| Pasto con riego | 472 | 409 | -63 | -13% |
| Suelo degradado | | 190 | 190 | |
| Matorral /bosque seco | 1,064 | 411 | -653 | -61% |
| Total | 9,407 | 9,407 | | |

Como se puede apreciar el bosque se ha reducido a una tasa de deforestación del 2% anual, en el período analizado (87 ha/año). En su lugar surge pastoreo extensivo, agricultura migratoria; además, existe un crecimiento de los centros poblados y pérdida de suelo fértil debido al Huracán Mitch¹⁶.

Los datos reflejan la tendencia hacia la pérdida de cobertura forestal, en busca de alternativas de producción que generen ingresos económicos a los pobladores que habitan la subcuenca, debiéndose identificar alternativas productivas que la conserven (p.e. servicios ambientales).

4.1.1.2 Relación bosque / agua

Ante el impacto de la lluvia en el suelo, el bosque cumple una función reguladora, pues presenta un área de cobertura foliar elevada que evita que las gotas impacten directamente el suelo, disminuyendo además la velocidad de llegada, favoreciendo la infiltración debido a la capa de materia orgánica existente en el suelo.

¹⁶ Fenómeno climatológico que afecto seriamente la subcuenca debido a un período de lluvias intensas que ocasionaron aumento de los caudales y destrucción de los cauces de los ríos en el año 1998.

Pese a las condiciones de la subcuenca que favorecen una rápida escorrentía (pendientes pronunciadas en tramos largos y suelo poco profundo), el caudal se ve regulado por efecto de la cobertura forestal, manteniendo la descarga de estiaje. La pérdida del bosque ha conducido a la disminución del caudal durante el verano durante los últimos años; éste fenómeno es reconocido por usuarios del agua.

Brown et al (1996) determinó a través de un modelo econométrico, que una disminución del 20% de la cobertura forestal en la subcuenca, implica una reducción del área irrigable en 88 has, es decir una pérdida de caudal de alrededor de 0.3 m³/s para la subcuenca Jones.

Aparte del problema de déficit hídrico, la pérdida del bosque debido a su efecto "regulador" de caudal, favorece los excesos hídricos, favoreciendo que en épocas de crecidas del río se presenten inundaciones. En un estudio dirigido por PROMA (Méndez, 2001), se cuantificaron los daños ocasionados durante el Huracán Mitch, los cuales se maximizaron en aquellas zonas con escasa cobertura forestal.

4.1.2 Método de Valoración

La valoración del recurso hídrico tiene dos componentes: el costo de oportunidad y el costo de protección de los bosques, a través de un análisis dinámico (20 años plazo). En el primer caso se aplica la técnica de "costo de oportunidad", y emplea precios de mercado (Dixon, et al. 1999). El costo de protección se refiere a las acciones a nivel de cuenca que garanticen la existencia de la cobertura forestal. La estimación del precio del metro cúbico se presenta en un rango de valores: mínimo y máximo.

Los resultados se presentan clasificados en la construcción e igualación de dos proyecciones financieras:

1. La **primera proyección** representa el "costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque", e incluye dos escenarios dependiendo del tamaño de la superficie del suelo que cambia de uso (hacia venta de árboles e introducción de ganadería extensiva); ésta proyección representa el rango de dinero –a partir de los

escenarios- que el propietario¹⁷ del bosque deja de percibir por proteger la cobertura forestal.

2. La **segunda proyección** representa los costos de "protección del bosque". Además, incluye como ingreso la venta del servicio ambiental de regulación hídrica; se consigna la *cantidad* de producción hídrica primaria que produce, dejando como incógnita el *precio* de la unidad de agua (m³).
3. La igualación del VAN de ambas proyecciones, permite despejar la variable dependiente: el precio del metro cúbico de agua, contemplando el costo de oportunidad y el costo de protección del bosque.

A continuación se presenta la definición y simulación de ambas variantes (acápites 4.1.3 y 4.1.4 respectivamente) lo cual permite estimar el precio del metro cúbico de agua (acápites 4.1.5.).

4.1.2.1 Definición de las proyecciones de uso del suelo

Las proyecciones de uso del suelo se construyeron para simular los efectos del cambio de uso en el bosque de pino¹⁸ y la protección del bosque con fines de venta de servicios ambientales (hídrico). La duración de la serie de tiempo permite que se realicen dos aprovechamientos forestales para la proyección de venta de madera e introducción de ganadería (de acuerdo al DAP mínimo de corta).

El producto intermedio de ambas proyecciones consiste en la determinación del VAN respectivo, a una tasa de actualización del 12%¹⁹. La distribución del uso de suelo proyectada se presenta en la siguiente figura:

¹⁷ El término se emplea para representar el ente que deja de percibir los beneficios, en el caso de la Subcuenca el área se localiza en una zona de Reserva de la Biosfera con un régimen de tenencia distinto.

¹⁸ El bosque de latifoliadas no se sustituye debido a que no es viable eliminarlo para introducir ganadería, debido a que las especies no se pueden vender en el mercado (ver acápite 4.1.3.1.).

¹⁹ La tasa de descuento no tiene influencia en la determinación del precio del agua debido a que se aplica la misma para las dos proyecciones igualadas, igualando los VAN de cada una de ellas.

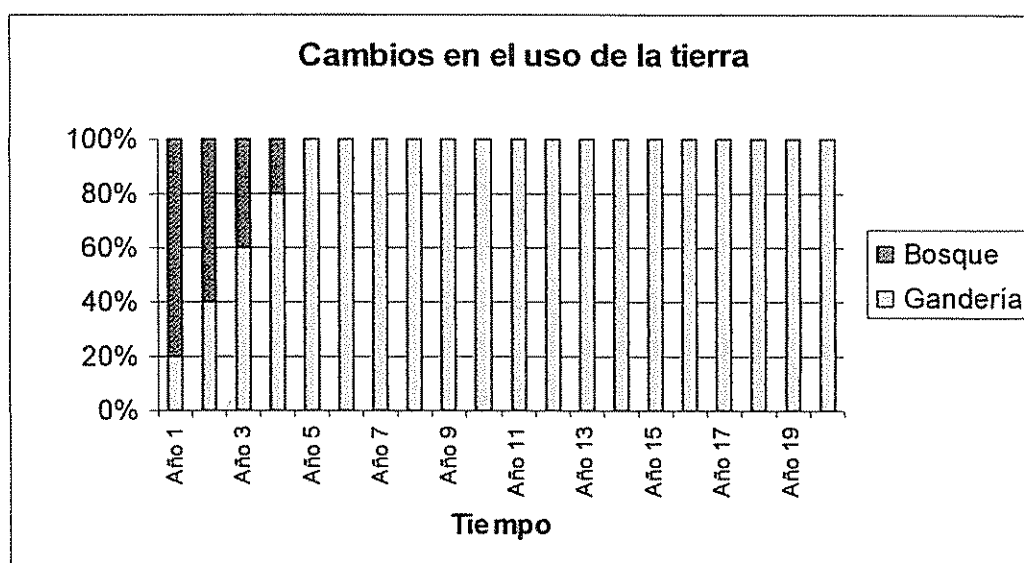


Figura 4. Sustitución del bosque por ganadería

La gráfica muestra el cambio de uso del suelo, de bosque a ganadería extensiva durante el período de análisis. El área de bosque para corta se dividió en 5 lotes de aproximadamente 300 has –debido a criterios de eficiencia económica y de manejo técnico -; En el primer año se sustituye el 20% del área, en el segundo el 40%, y así sucesivamente hasta llegar al cuarto año con el 100% del área sustituida; seguidamente se presenta un período de cinco años para alcanzar el diámetro mínimo de corta para realizar un segundo aprovechamiento con una duración igual a la anterior; a partir del sexto hasta el veintavo año, el 100% del área se emplea con fines de ganadería extensiva.

4.1.2.2 Proyección 1: Uso alternativo del suelo –costo de oportunidad-

Se basa en el uso alternativo que tienen los bosques actualmente: ganadería extensiva. El proceso de cambio inicia con la venta de la madera en pie –con la tala consecuente por parte del comprador- y la compra de ganado vacuno que es liberado en el área y reunido al finalizar el período de engorde (18 meses), destinándolo a la venta.

De acuerdo al tamaño de la superficie sometida al cambio de uso del suelo, se diseñaron dos variantes; en el primer caso se sustituyen 1708 ha correspondientes a la categoría de Bosque de Pino, y en el segundo a las anteriores se adicionan 1817 has del bosque de pino protector (3535 has en total).

El costo de oportunidad aplicado para cada una de las categorías de uso del suelo, se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 11. Costo de oportunidad del suelo de acuerdo a la categoría de uso original

| Categoría | Costo de oportunidad | |
|----------------------------------|---|---|
| | Escenario 1 | Escenario 2 |
| Bosque de latifoliadas protector | Incentivos Forestales | Incentivos Forestales ²⁰ |
| Bosque de latifoliadas | Incentivos Forestales | Incentivos Forestales |
| Bosque de pino protector | Venta de madera y sustitución con ganadería | Incentivos Forestales |
| Bosque de pino | Venta de madera y sustitución con ganadería | Venta de madera y sustitución con ganadería |

Como se puede apreciar, la variación entre ambos escenarios radica en la categoría: "Bosque de pino protector"; para dicha categoría el costo de oportunidad en el escenario 1 está determinado por la sustitución del bosque (venta de madera y ganadería), mientras en el escenario 2 el bosque es conservado (incentivos forestales). La razón del cambio se debe a que la categoría "bosque de pino protector" generalmente no se corta durante un aprovechamiento forestal debido a restricciones de pendiente (mayor 55%) y tipo de suelo (superficiales), así como por motivos legales.

Por lo tanto, en el primer escenario se asume una "tala máxima" en que se tala éste tipo de bosque (pese a los impactos ambientales que conlleva) y en el segundo escenario corresponde a "tala mínima", conservando el bosque de pino protector (en ambos casos, el uso de suelo cambia para la categoría "Bosque de pino").

Por otro lado, las categorías de bosque latifoliado y bosque latifoliado protector no son sujetas a cambio de uso del suelo debido a las siguientes razones: i) no existe un mercado para las especies de frondosas, ii) la distancia de la zona hasta los caminos, hace no rentable su corte y transporte hacia el aserradero –lo cual aplica en el 7% del total de especies -. Por ende su costo de oportunidad se basó en el pago por incentivos forestales para extensiones mayores (INAB, 2001)

²⁰ Corresponde al incentivo decretado por el gobierno de Guatemala para promover la protección y conservación de los bosques

4.1.2.3 Proyección 2: Protección del bosque

Esta proyección simula la conservación del bosque a través de la planificación, administración y operación de labores de mantenimiento. Los ingresos provienen de la venta de servicios ambientales, los cuales generalmente están representados por:

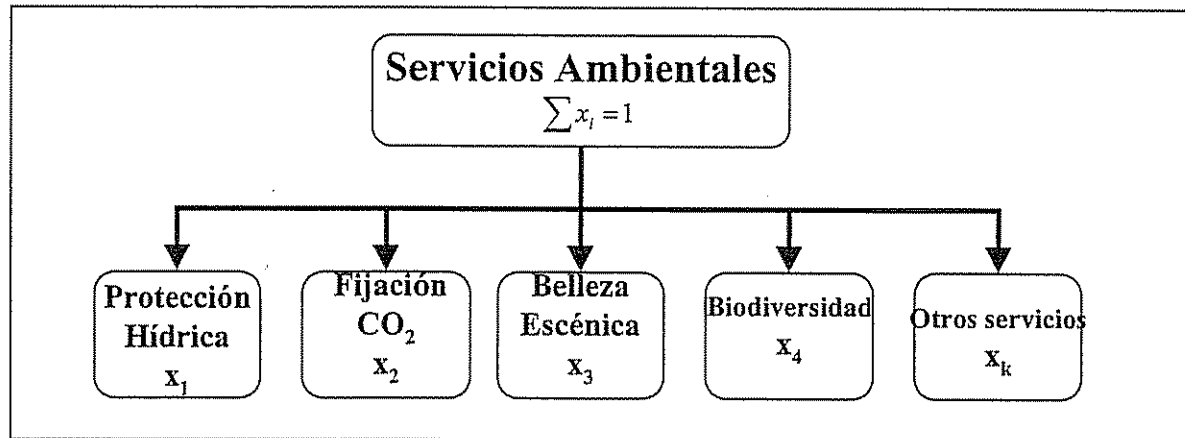


Figura 5. El bosque como productor de servicios ambientales

La determinación del valor del servicio de regulación hídrica se hace considerando que la sociedad es quien identifica para cada ecosistema, la importancia que se le debe asignar a cada uno de los servicios ambientales, de acuerdo a los usos que demanden.

El servicio de "regulación hídrica", se estima a partir del valor total de los servicios ambientales (VS), multiplicado por el peso del servicio hídrico entre el total de servicios (α); lo anterior se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$VR = \alpha * VS$$

Donde,

VR = Valor del servicio ambiental de "regulación hídrica" a partir de la producción primaria

α = Peso al valor de la función hídrica como servicio ambiental

VS = Valor total de los servicios ambientales del bosque

En el caso de la subcuenca, los ingresos corresponden exclusivamente a la venta del servicio de regulación hídrica, debido que es el único que presenta demanda potencial, condicionado por la escasez durante verano ($\alpha = 1$); sin embargo, es importante mencionar que también existe demanda para proteger la biodiversidad. La ecuación queda de la siguiente manera:

$$VR = VS$$

4.1.2.4 Simulación de las proyecciones financieras

4.1.2.5 Proyección 1: Uso alternativo del suelo

Los cálculos de la proyección financiera 1, venta de madera e introducción de ganadería se basan en el inventario forestal de la subcuenca (2001), realizado para el efecto.

Inventario forestal

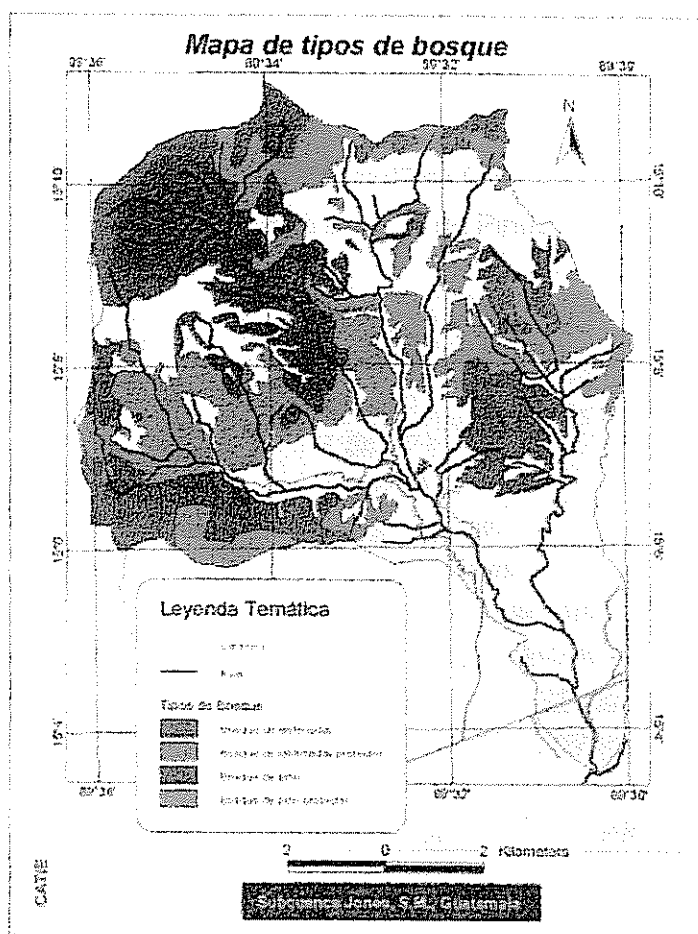
La cobertura forestal de la cuenca está distribuida cuantitativamente de la siguiente forma:

Cuadro 12. Distribución de bosque de acuerdo a tipo y función

| CATEGORIA | Area (ha) | % individual | % rubro |
|---------------------|-----------|--------------|---------|
| Bosque de pino | 1,708 | 34% | |
| Pino protector | 1,817 | 36% | 70% |
| Frondosas | 1,108 | 22% | |
| Frondosas protector | 371 | 7% | 30% |
| Total | 5,004 | 100% | 100% |

El cuadro anterior refleja que existen dos tipos de bosque: latifoliadas (30%) y pino (70%). Ambas se hallan clasificadas entre bosque comercial y bosque protector (de acuerdo a pendiente y tipo de suelo). La mayor parte del bosque corresponde al estrato de pino, distribuido equitativamente entre pino protector y pino comercial.

El inventario forestal se realizó para las categorías de "bosque de pino" y "frondosas", debido a que son las superficies técnicamente aprovechables (además de que el realizarlo para las áreas de protección, requería una inversión doble en tiempo y presupuesto); los resultados reflejan una alta homogeneidad del bosque.



La figura 6 representa la distribución espacial de los tipos de bosque en la subcuenca. Como se puede apreciar el bosque de latifoliadas se localiza en la parte alta de la cuenca, seguido por el bosque de coníferas (pino). Además, debido a la presión del uso del suelo, existen áreas que han sido deforestadas y dedicadas a pastoreo extensivo y agricultura entre el bosque de latifoliadas y coníferas (parte alta, río Blanco y río la Lima como se puede apreciar en el mapa).

Figura 6. Distribución y tipos de bosque de la subcuenca Jones (2000)

1.1.1.1.1. Bosque de pino

La distribución por especie, del estrato de coníferas comercial es la siguiente:

Cuadro 13. Distribución del estrato de coníferas por especie

| ESPECIE | Por 1.0 ha | | Por estrato comercial | | % |
|---------------|------------|------------|-----------------------|----------------|-------------|
| | Frec. | Volumen | Frec. | Volumen | |
| Pinus oocarpa | 266 | 128 | 401,702 | 193,664 | 93% |
| Quercus sp. | 30 | 10 | 44,785 | 15,393 | 7% |
| Total | 295 | 138 | 446,486 | 209,057 | 100% |

Con base en el cuadro anterior, el estrato se denomina "bosque de pino" debido a que es la especie que domina el estrato (93%). A continuación se presentan los resultados de la especie en la superficie que ocupa la categoría comercial: "bosque de pino" (1,708 has). La composición del bosque de Quercus se presenta en el anexo 4, debido a que no representa ingresos considerables por venta. La distribución en términos de diámetro a la altura del pecho, para la especie de Pinus oocarpa son los siguientes:

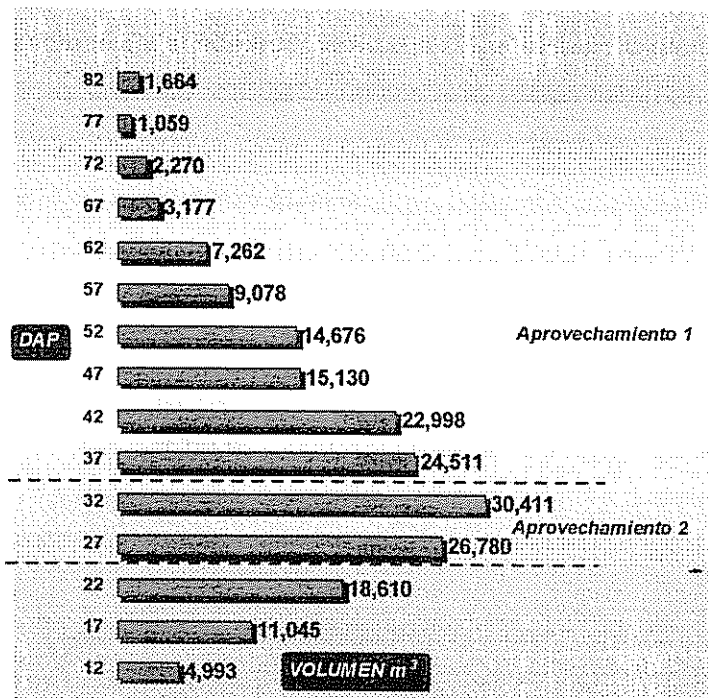


Figura 7. Distribución del bosque de pino por clase diamétrica

De acuerdo a la figura anterior se puede observar que el bosque se concentra en diámetros pequeños (menores de 35 centímetros de DAP²¹). Son árboles jóvenes, con una edad promedio de 22 años, debido a que el bosque de coníferas ha sido sujeto de un aprovechamiento forestal.

De acuerdo al anexo 5, la frecuencia acumulada refleja que el 80% del volumen se encuentra hasta un DAP de 42 centímetros, así como el 47% se halla hasta un DAP de 32 centímetros. Por tal razón, se consideró un DAP mínimo de corta de 35 centímetros, que permitiera la realización de dos aprovechamientos durante los 20 años de la serie de tiempo proyectada, con una periodicidad del ciclo de corta de 10 años.

²¹ Diámetro a la altura del pecho

En relación al mercado, las coníferas tienen un mercado potencial amplio, localizándose la subcuenca en una zona de aserraderos industriales, capaces de absorber la oferta maderera de la subcuenca sin afectar los precios actuales.

1.1.1.1.2. Bosque de latifoliadas

El bosque latifoliado de la subcuenca está constituido por un total de 28 especies identificadas. El volumen total del bosque de latifoliadas asciende a 205,311 metros cúbicos (6% mayor que el de coníferas); Los datos de volumen se presentan en el anexo 5. La composición por especie, de las especies que serían factibles de corta por estar presentes en a lo largo de toda la clase diamétrica son 16 (97% del volumen total) y su proporción se muestra en el siguiente gráfico:

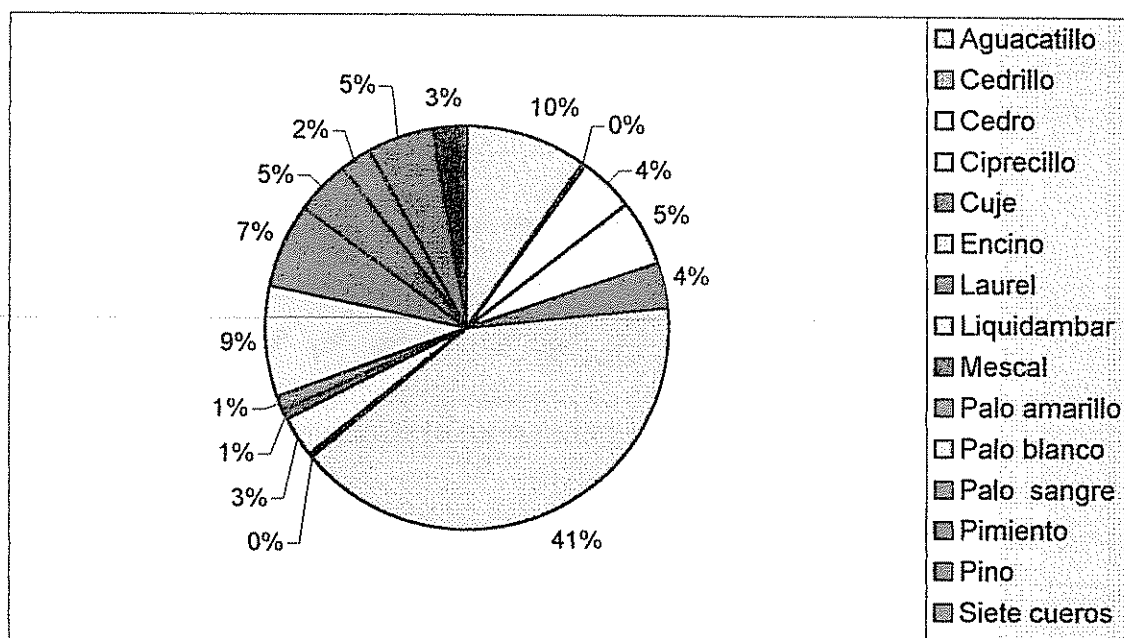


Figura 8. Composición del bosque de latifoliadas por especie (nombre común)

De acuerdo a la gráfica anterior se observa que los árboles con mayor presencia en el bosque de latifoliadas son: encino, aguacatillo, palo blanco y palo sangre. Para las condiciones actuales de comercialización a nivel de Guatemala, la mayoría de las especies no son comercializadas en el sector maderero, por lo cual no tienen un precio de mercado establecido (y las que sí, sería muy costosa su extracción). En éste caso, el costo de oportunidad del bosque de Latifoliadas se contabilizó a partir del pago por incentivos forestales en Guatemala

Ingresos

Los rubros de ingresos contabilizados son los siguientes: venta de madera (durante los dos periodos de corta, con una duración de 5 años cada uno), la venta del ganado luego del proceso de engorde, y finalmente el valor del capital natural representado por el bosque remanente al cabo del periodo de análisis (20º. Año).

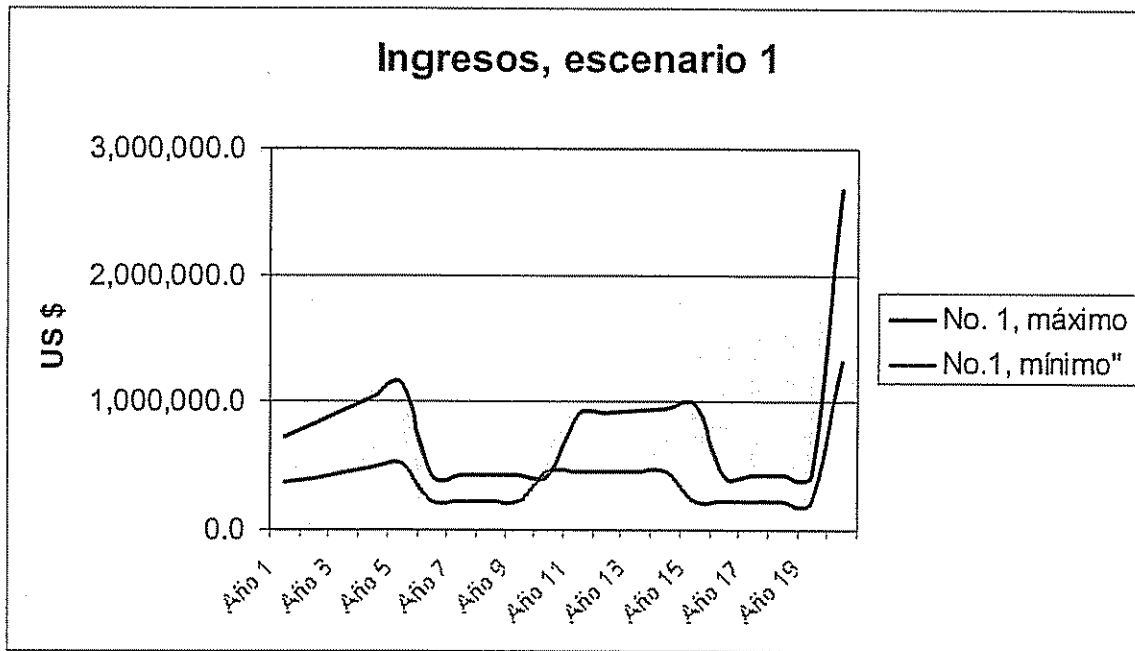


Figura 9. Comportamiento de la curva de ingresos, proyección 1

La curva de ingresos tiene un comportamiento similar durante todo el periodo para ambos escenarios: corta máxima y mínima (dado que el cambio es solamente la superficie sustituida).

En la curva de ingresos las dos primeras alzas se deben a la venta de madera en pie, relativamente uniforme (aumentado únicamente por la tasa de crecimiento del bosque, 4% anual) y luego se introduce ganadería con un ingreso constante (US \$ 100 /ha/año). Al cabo del periodo (año 20) se presenta un pico mayor, al considerarse el valor de existencia del bosque.

Costos

Los egresos se computan en base a las labores de mantenimiento del bosque y actividades ganaderas. Los costos se catalogan en dos tipos: fijos y variables; los primeros incluyen las cuentas de inversiones, gastos administrativos, compra de equipo, depreciación e impuestos y contribuciones. La segunda categoría incluye: sueldos y salarios, compra de insumos, compra de animales en pie y fletes y acarreos.

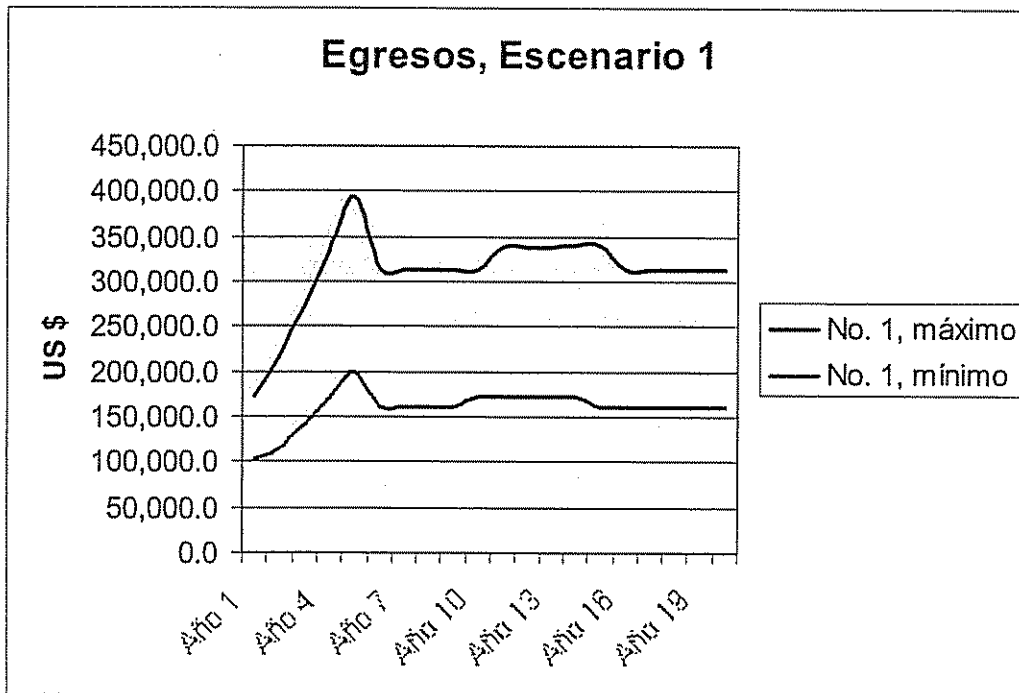


Figura 10. Comportamiento de la curva de egresos, proyección 1

La curva de egresos tiene un comportamiento similar para ambos escenarios (dado que el cambio es solamente la superficie sustituida). Durante los primeros cinco años se observa un alza de los costos, por la inversión inicial ganadera (con un incremento del 20% anual del área de ganadería en sustitución del bosque. Además, se puede apreciar que a partir del año 5 hay una reducción debido a que se deja de invertir en instalaciones ganaderas y equipo veterinario, los cuales se sustituyen en los años siguientes a través de gastos de depreciación. Entre el año 10 y 15 se percibe una ligera alza debido al pago de impuestos por la venta de madera.

Resultados

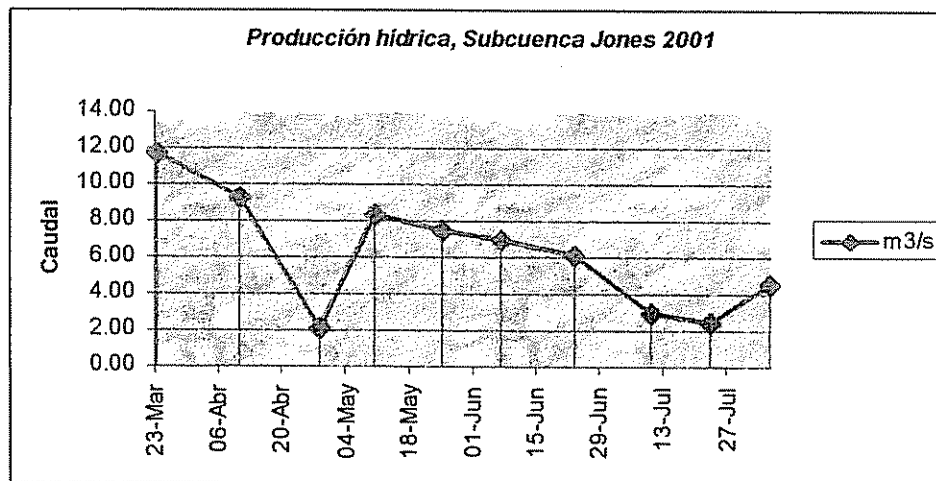
El VAN a 20 años plazo es en promedio para ambos escenarios de US \$ 1029/ha estimado exclusivamente para el área que cambia de uso²²; este dato es mayor que si hubiese determinado el VAN para ganadería extensiva (sin incluir la venta de madera) que asciende a US \$ 708 /ha. El VAN del costo de oportunidad del área que no cambia de uso, es muy bajo (pago por incentivos forestales), por lo cual el costo de oportunidad de toda la superficie forestal se reduce a US \$ 535 en promedio por hectárea.

4.1.2.6 Proyección 2: Protección del bosque

Producción hídrica

La oferta hídrica total (OT) está dada por la precipitación en la subcuenca. Del total, un porcentaje regresa a la atmósfera a través de la evapotranspiración, quedando la oferta hídrica disponible (Od). La oferta disponible se descompone en volumen de agua de escorrentía superficial (Es) y de recarga acuífera (Ra). En el presente estudio se recurrió a medir directamente la escorrentía superficial (Es), determinando la descarga total a través del aforo del río Jones y sus derivaciones aguas arriba en la subcuenca. A continuación se presenta el Hidrograma generado a partir de diez lecturas de caudal en la subcuenca Jones.; los picos máximos y mínimos obedecen al patrón de lluvias.

Figura 11. Hidrograma de la subcuenca Jones, 2001



²² Se refiere a la sustitución de bosque por ganadería extensiva; en éste caso no se toma en cuenta el área de latifoliadas por contribuir con un aporte de ingresos despreciable, en comparación con la venta de madera y ganado.

Los gráfica anterior representa lecturas para las estaciones de verano e invierno (la mitad en cada época); el caudal promedio de la subcuenca es de 6.2 metros cúbicos por segundo (6,200 lps); el rango oscila entre 2.1 m³/s y 11.73 m³/s, la cual refleja una amplia variación entre los valores mínimo y máximo; está situación se ha agudizado con la pérdida de la cobertura forestal, que sumado a la alta inclinación de la pendiente y fragilidad de los suelos ocasiona que durante un evento de precipitación, el agua fluye rápidamente con un suelo cada vez menos protegido (sin bosque), ocasionando la crecida de los ríos y disminuyendo el caudal almacenado para el verano (Fallas, 1996).

Producción primaria hídrica

La producción hídrica primaria²³ se define como la escorrentía superficial (de la red de ríos) que se mantiene constante a lo largo del año; la producción hídrica secundaria es el excedente de agua durante ciertas épocas del año.

La producción hídrica mínima para el período de lectura es de 2.1 metros cúbicos por segundo, que representa la cantidad de agua mínima que se puede abastecer durante todo el año, denominada: "producción primaria"; esto equivale a 181,440 metros cúbicos por día, lo cual multiplicado por el número de días del año (365) asciende a 66,225 miles de metros cúbicos al año²⁴

De acuerdo al estudio conducido por Brown, et al (1996), los bosques de la subcuenca guardan una estrecha relación con el comportamiento del caudal, contribuyendo a mantener el caudal de estiaje durante el verano, que es la época en que el agua tiene mayor demanda debido al empleo por los usuarios de riego, consumo humano –durante todo el año y usuarios de hidroeléctricas –que dependen de los caudales mínimos y máximo para el diseño de los embalses, dirigido a la optimización en función de la energía primaria-.

²³ Término adaptado del sector eléctrico (producción eléctrica primaria)

²⁴ Esta es la cantidad empleada en la proyección financiera 2.

Ingresos

El bosque al ser preservado y protegido genera ingresos a través de los servicios ambientales que brinda. En éste caso se considera exclusivamente el servicio de regulación hídrica (acápite 4.1.3.2.). En el caso de éste último, se emplean datos del año 2001, el cual fue un año seco, y se asume que para todo el período será el nivel mínimo de regulación hídrica.

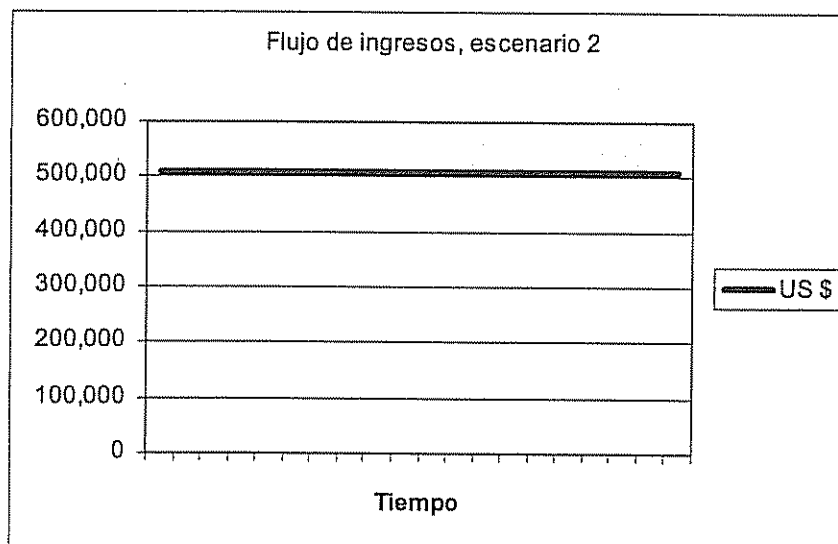


Figura 12 . Flujo de ingresos, proyección 2.

La gráfica anterior muestra una curva con pendiente = 0 durante todo el período de tiempo, debido a que se asume que no existen variaciones en la producción hídrica primaria, es decir, se mantendrán como mínimo los caudales reportados para ésta estación seca.

Costos

Los costos se dividen en dos categorías: fijos y variables; la primera categoría contempla: inversiones, gastos administrativos, compra de equipo, depreciación e impuestos y contribuciones; la segunda está conformada por las planillas de trabajadores dedicados a labores de protección del bosque.

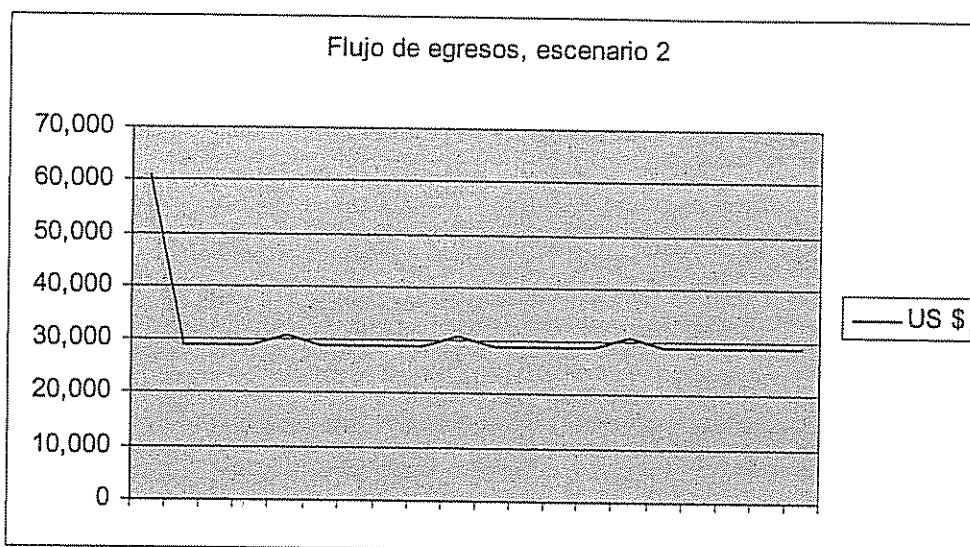


Figura 13. Flujo de egresos de la proyección 2

En la gráfica anterior se observa que las inversiones se presentan durante los años iniciales del proyecto (debido a compra de vehículo y equipo), para luego tener un comportamiento similar en los quinquenios siguientes, con un alza ligera a cada 5 años debido al pago de actividades profesionales de seguimiento del bosque.

Resultados

El VAN a 20 años plazo por la protección del bosque asciende a US \$ 49/ha. Este dato representa el 7% y 14% en comparación con el costo de oportunidad del suelo, escenarios mínimo y máximo respectivamente .

4.1.3 Cálculo del valor del servicio de regulación hídrica

El costo del agua, se basa en la igualación de los beneficios actualizados (VAN) entre la proyección financiera 1: venta de madera y ganadería (**costo de oportunidad**) y la proyección financiera 2: **costo de protección** del bosque y venta del servicio de regulación hídrica:

$$VAN_{CO} = VAN_p$$

Donde,

VAN_{CO} = Beneficios del costo de oportunidad del suelo: venta de madera y ganadería

VAN_p = Beneficios de protección del bosque

Despejando ambos lados de la ecuación se obtiene:

$$I_{co} - C_{co} = I_p - C_p \quad \text{ó} \quad VAN_{CO} = I_p - C_p$$

Donde,

I_{co} = Ingresos, del costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque

C_{co} = Costos, del costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque

I_p = Ingresos de la protección del bosque (servicio de regulación hídrica)

C_p = Costos de protección del bosque

De acuerdo a la información existente, la variable dependiente es el valor de los ingresos por venta del servicio ambiental de regulación hídrica (I_p), a partir del costo de oportunidad (VAN_{CO}) y costo de protección del bosque (C_p):

$$I_p = VAN_{CO} + C_p$$

La variable ingreso por venta del servicio de regulación hídrica (I_p) está integrada por volumen de agua y precio por unidad de volumen; la primera se conoce a través de la estimación de la producción primaria hídrica (acápite 4.1.4.2.2), quedando como incógnita la segunda: El precio de la unidad de agua (US \$ / m³), que compensa el VAN del costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque y el costo de protección del mismo:

$$P_{Rh} = \frac{VAN_{CO} + C_p}{V_{Rh}}$$

Donde,

P_{Rh} = Precio de la unidad de volumen de regulación hídrica (m³)

V_{Rh} = Volumen de regulación hídrica: Producción primaria hídrica

Los resultados de la ecuación anterior se presentan a continuación:

Cuadro 14. Valor del metro cúbico de agua

| Variable | Unidad | Precio agua |
|-----------------------------------|------------------------|-------------|
| Escenario 1, tala total de pino | US \$ / m ³ | 0.008 |
| Escenario 1, tala parcial de pino | US \$ / m ³ | 0.004 |

El cuadro anterior presenta el precio (costo total) del metro cúbico a partir de dos escenarios de costo de oportunidad (máximo y mínimo) y el costo de protección del bosque remanente.

En lo referente al costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque, el bosque de pino se sustituye (venta de madera y ganadería) y el bosque de latifoliadas se conserva (incentivos forestales); en el caso de la sustitución de 2/3 parte del bosque (100% de pino) se estimó un precio por metro cúbico de agua de US \$ 0.008 y en el caso de la sustitución de 1/3 parte del bosque (50% de la superficie de pino) el precio es de US \$ 0.004; ambos precios se aproximan a seis y tres centavos de quetzal respectivamente (Q. 0.06 y Q. 0.03). El valor se justifica porque el bosque de pino es joven (la mayor parte de los árboles se encuentran con un diámetro –DAP- menor de 35 centímetros) y durante el período de análisis se puede aprovechar únicamente la mitad de los árboles en pie (53%), contabilizando el precio del bosque remanente al cabo del 20º año; además, la descarga de la cuenca es alta y la parte alta y media alta ya no están cubiertas con bosque en su totalidad (ver figura 6: tipos de bosque).

A continuación se presentan resultados obtenidos por otros estudios similares:

Cuadro 15. Comparación entre estudios de precios del agua (costo de oportunidad).

| Autor | Lugar | Valor (US \$ / m ³) |
|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Hernández (2001) | Jones, Guatemala (mínimo) | 0.008 |
| | Jones, Guatemala (máximo) | 0.004 |
| Barrantes y Castro(1999) | A nivel nacional, Costa Rica | 0.005 |
| | Cuenca Arenal | 0.005 |
| | Heredia* | 0.026 |
| Ansmann (1999) | La Mica, Quito Sur, Ecuador | 0.010 |
| Merayo (1998) | Guanacaste, Costa Rica | 0.132 |

De acuerdo a los datos anteriores, el resultado del presente estudio se considera aceptable (sobre todo considerando que se trabaja un rango de precios). El único estudio que difiere significativamente (Merayo, 1998) se debe a que el costo de oportunidad se determinó a través de la compra de tierras para captación, lo cual incrementa considerablemente el costo de oportunidad.

4.1.3.1 Implicaciones del precio del metro cúbico de agua

El precio "costo" estimado es una de las primeras aproximaciones del valor del agua en Guatemala, en función de los beneficios que se dejan de percibir por conservar el bosque, así como los costos de protección que garanticen un flujo permanente de servicios ambientales (específicamente el hídrico). La metodología aplicada es similar a la otros estudios llevados a cabo en otras cuencas del continente y los resultados han sido comparados satisfactoriamente.

Desde la perspectiva del bosque (5,004 ha incluyendo pino y latifoliadas), la tarifa anual por hectárea corresponde al rango: US \$ 52 a US \$ 102 por hectárea²⁵. El **costo de oportunidad** asciende entre US \$ 46 y 96 ha/año y el de **costo de protección** a US \$ 6.00 ha/año.

La compensación de los costos estimados debería ser de la siguiente forma: el costo de oportunidad se destina al propietario del bosque (o administrador en su defecto) y el costo de mantenimiento a la organización encargada de labores de conservación en la subcuenca.

4.1.3.2 Aspectos importantes

Los datos corresponden a un ensayo académico en la subcuenca Jones, a partir de la información limitada en cuanto a caudales. Los datos deben ser tomados con cautela y pueden ser generalizados siempre y cuando se hagan los ajustes correspondientes.

²⁵ El valor es similar a la comparación con el costo de oportunidad de ganadería (US \$ 95/año); sin embargo los ingresos de la venta de madera, compensan la carencia de costo de oportunidad del bosque de latifoliadas (30% de la superficie del bosque). Si no fuera por ésta razón, la tarifa por hectárea sería US \$ 148 /año.

La metodología de cálculo valora el servicio de regulación hídrica a nivel de subcuenca. Se parte del costo de oportunidad del suelo (ganadería), con la ventaja de incluir la interfase: tala del bosque y venta de madera –que representa la mayor parte del negocio - para ello se recurrió a la simulación durante una serie de tiempo (20 años), período durante el cual se comercializa la mayor parte del bosque de pino a través de dos aprovechamientos forestales. Sin embargo, el bosque de latifoliadas no tiene un costo de oportunidad real, debido a que las especies no tienen precio de mercado y a la distancia del bosque para la minoría que sí tiene potencial para comercialización.

El análisis de la serie de tiempo (20 años) permite estimar con mayor precisión i) el costo de oportunidad: en función de las variaciones de la venta de madera durante las épocas de aprovechamiento forestal y la introducción escalonada de ganadería, y ii) el costo de protección: debido a las inversiones en los primeros años y el mantenimiento en los años siguientes.

El volumen de agua determinado es un factor fundamental en el cálculo del precio; en ese sentido, la estimación es conservadora, empleando los datos de caudal del presente año, el cual es considerado un año de baja precipitación; esto es afín con el principio de producción hídrica primaria (cantidades mínimas en ambos casos). El rango de precios estimado tiene la ventaja de no definir un valor puntual. En todo caso, el precio mayor (US \$ 0.08 / m³) es el que representa el costo de oportunidad de la mayor parte del bosque (70%).

4.1.3.3 Contribuciones a política ambiental

Actualmente los servicios ambientales cobran auge a nivel nacional e internacional. Hearne (2001) señala que cualquier política de pagos por servicios ambientales debe tener una meta específica; los usuarios y beneficiarios deben ser especificados, para evitar asignaciones inadecuadas de los fondos. Siguiendo la recomendación anterior, se definen como beneficiarios del servicio ambiental a los propietarios y/o administrador legal de las áreas de bosque y como usuarios en el corto plazo a las fincas que hacen uso de riego.

La determinación del costo del metro cúbico de agua tiene como propósito conformar un *mecanismo de precios* que sea un medio para modificar el comportamiento de productores y consumidores en el uso del agua, garantizando su producción primaria a partir de la protección de la cobertura forestal.

En el caso de la tarifa del metro cúbico de agua, deben buscarse opciones de financiamiento que permitan garantizar la permanencia de la superficie forestal, pagando a los propietarios (o administradores) de la tierra el costo de oportunidad que significa dejar el suelo bajo protección, versus la alternativa económica a la que renuncian; así como para cubrir los costos de protección de dichos bosques.

El proceso de internalización de costos, debería incluir los siguientes aspectos: concientización a la población aguas arriba y aguas abajo, identificación de los principales consumidores (de acuerdo a Pareto el 80% de los resultados se obtiene a partir del 20% de las causas), establecimiento de un mecanismo de pago de servicios ambientales, el cual podría tener la modalidad de "pago en especie", constituyéndose en una alternativa más adoptable que el pago en moneda por parte de los pobladores, diseñar un programa de protección del bosque, y comercializar el pago por el servicio ambiental entre organizaciones internacionales hacia la búsqueda de socios para pagar los gastos de conservación, y así poder disminuir el precio del agua entre los usuarios.

4.2 El servicio ambiental de protección de la calidad de agua

La protección del recurso forestal en la RBSM²⁶ se considera estratégico, sobretudo en el lado sur de la Sierra, en donde se localiza la Subcuenca Jones, debido a que el bosque en las partes altas de la cuenca –nuboso y de coníferas- protege la cantidad y calidad del agua que puede ser utilizada para fines de riego, generación de energía eléctrica, consumo humano y usos industriales (CINPE, 2001). La generación de alternativas económicas que valoren el servicio del bosque es fundamental para su protección y conservación (Brown, et al, 1996).

²⁶ Reserva de Biosfera de Sierra de las Minas, zona protegida donde se conduce el estudio

Esta sección del estudio valora los efectos del servicio ambiental de protección de la "calidad de agua". El análisis se basa en la **demanda** de calidad de agua para fines hidroeléctricos; la razón del enfoque obedece a que la instalación de hidroeléctricas pequeñas en Sierra de las Minas es un tema de alta prioridad para la Fundación Defensores de la Naturaleza, que es el ente administrador de Sierra de las Minas (Núñez, 2001).

En Guatemala, la ley de Generación de Electricidad a partir de 1996 permite la generación, transporte y comercialización de energía eléctrica por parte de la iniciativa privada. Este avance en la legislación ofrece una oportunidad para el pago del servicio ambiental de protección de la calidad de agua, por parte de aquellas empresas interesadas en aprovechar el recurso hídrico existente en Sierra de las Minas.

El pago por éste servicio ambiental cumple con el principio "gana, gana" del libre mercado (Ayau, 1998). Las hidroeléctricas se ven favorecidas al garantizar el abastecimiento de su materia prima (agua con bajo índice de transporte de sedimentos), con lo cual se contribuye a su sostenibilidad financiera. El bosque a través del reconocimiento de los servicios ambientales se beneficia, porque percibiría réditos, los cuales hasta ahora la sociedad no había valorado.

La técnica de valoración empleada se denomina "Costos Evitados", la cual responde a la relación dosis respuesta (causa-efecto). En éste caso la dosis es la cobertura forestal (con y sin) y la respuesta es la sedimentación del embalse.

Los resultados se presentan en tres secciones: i) la primera describe la situación del uso del suelo y productividad hídrica de la microcuenca; ii) la segunda se dirige a los efectos de la dosis (situación actual y dos escenarios simulados) sobre el efecto (sedimentación del embalse) y iii) en la tercera parte se desarrolla la técnica de "costos evitados", presentando como producto final el valor en dólares de la hectárea de bosque por el servicio de protección de la *calidad de agua* (US \$ / ha / año).

El estudio se conduce en la microcuenca Colorado, simulando la eliminación de la cobertura vegetal. En ese sentido se aclara, que tal cambio es hipotético, ya que por disposiciones legales y conciencia de los pobladores, la simulación sólo se emplea con fines de valoración del servicio ambiental de protección de agua; sin embargo, pese a la aclaración anterior, durante los últimos cinco años la tasa de deforestación ha sido del 2% anual; en el segundo, se prevé la protección del suelo por los árboles, disminuyendo la tasa de pérdida de suelo y transporte de sedimentos aguas abajo (Lee, 1980)

4.2.1 Situación actual de la microcuenca Colorado

4.2.1.1 Ubicación

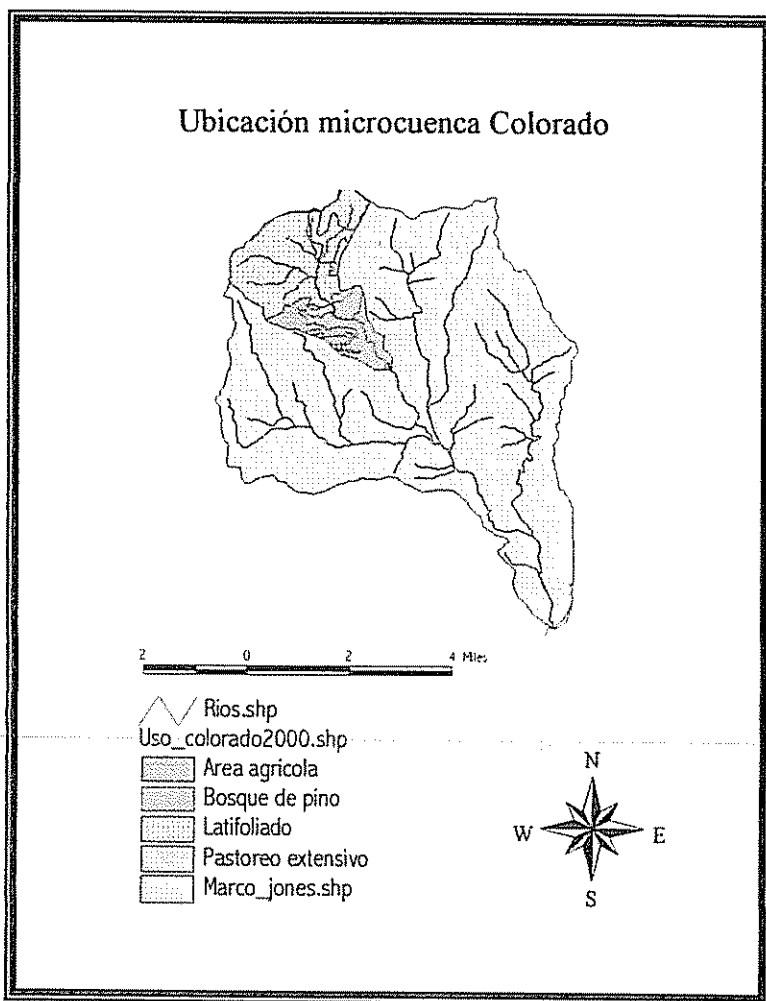
La microcuenca se encuentra localizada en la parte alta de la subcuenca Jones, ocupando áreas dentro de la zona núcleo y la zona de usos múltiples (ver figura siguiente)

Cuadro 16. Uso de la tierra de la microcuenca Colorado

| CATEGORIA | Area (ha) | Porcentaje |
|--------------------|-----------|------------|
| Latifoliado | 978 | 67.2% |
| Bosque de pino | 328 | 22.5% |
| Area agrícola | 148 | 10.2% |
| Pastoreo extensivo | 1 | 0.1% |
| Total | 1,455 | 100.0% |

Uso del suelo

De acuerdo a la fotointerpretación del año 2000, el uso del suelo es el siguiente:



La distribución del uso del suelo refleja que la microcuenca se encuentra cubierta casi en su totalidad por bosque (90%). Sin embargo, pese a las disposiciones legales el suelo dedicado a actividades productivas se incrementa, alcanzado el límite de la zona de captación hídrica; esto pone en peligro la calidad del agua a nivel del embalse planteado. Esta situación justifica la búsqueda de opciones que generen ingresos sin la merma de los recursos naturales.

4.2.1.2 Producción hídrica

Las mediciones de caudal, por medio del vertedero colocado en la salida de la cuenca presentan el siguiente Hidrograma:

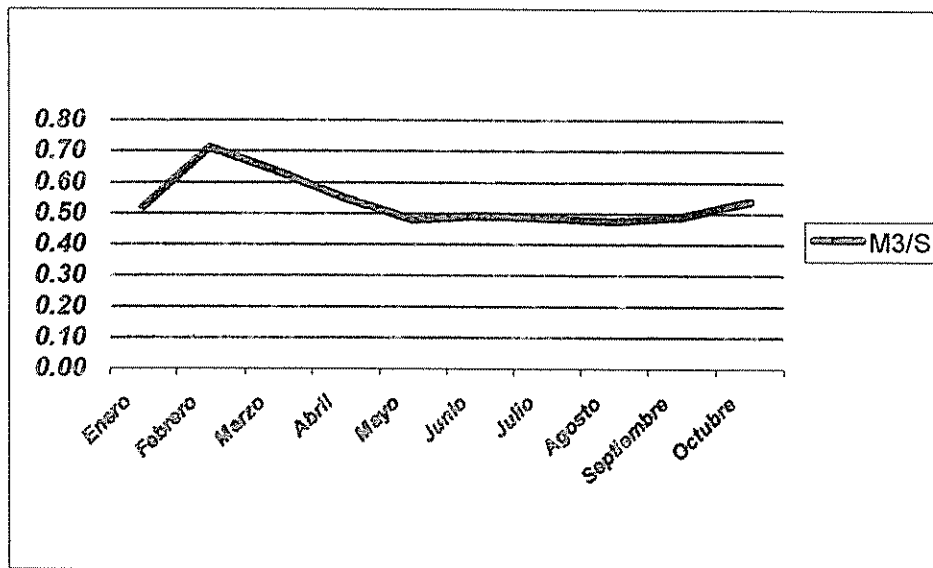


Figura 14. Hidrograma de caudal de la microcuenca Colorado, año 2001.

El caudal promedio de la cuenca es de 0.54 metros cúbicos / día (a partir de datos promedio mensuales, obtenidos a su vez de lecturas diarias). Los meses de mayor caudal coinciden con la época seca, lo cual demuestra la contribución del bosque nuboso en la descarga de agua en la microcuenca (Brown, et al, 1996). La curva de comportamiento del caudal refleja una alta estabilidad a lo largo del año, con variaciones de 0.24 metros cúbicos / día entre los picos máximo y mínimo.

4.2.2 Sedimentación del embalse

El producto final de éste apartado consiste en el cálculo de la **sedimentación** debido a un cambio en la cobertura del suelo; para obtener el producto en mención se determinaron los siguientes aspectos:

La relación dosis / frecuencia: escenarios de cálculo

La estimación de la erosión (vía método RUSLE)

Las características del embalse hipotético

El factor de ajuste Erosión / Sedimentación

4.2.2.1 Las dosis: los escenarios de cobertura forestal

De acuerdo a Azqueta (1994) la calidad del medio ambiente influye en receptores productivos. En éste caso, la pérdida de la cobertura del suelo tiene una relación directa con el costo que representa para la empresa hidroeléctrica la sedimentación del embalse.

Para fines del estudio, la función dosis / respuesta en la microcuenca Colorado se determinará de la siguiente manera: La **respuesta** es la calidad de agua, y la **dosis** la cobertura forestal. El receptor es la empresa hidroeléctrica (precio-aceptante / tomadora de precios)

El análisis considera una situación "Ceteris paribus"²⁷ de la sedimentación del embalse, teniendo como variable de análisis, exclusivamente el cambio de uso del suelo. El cuadro 17, presenta el resumen de los escenarios por cada tipo de uso, con base en la situación actual.

Cuadro 17. Escenarios de uso del suelo

| Actual | Escenario 1 | Escenario 2 |
|---------------------|---------------|---------------|
| Bosque latifoliado | Pasto natural | Sin cobertura |
| Pasto natural | Pasto natural | Sin cobertura |
| Bosque de coníferas | Pasto natural | Sin cobertura |
| Area agrícola | Area agrícola | Sin cobertura |

A continuación se describen los cambios simulados en cada uno de los escenarios (aunque es utópica la suposición por las restricciones legales y sociales actuales), y la razón del porque se escogieron:

Escenario 1: Uso extremo de la tierra, sin bosque

El escenario 1 representa el caso extremo de la cobertura: la ausencia total de bosque. Independientemente del tipo de uso actual, los frágiles suelos son expuestos a la erosión hídrica y la fuerte inclinación de las pendientes de la microcuenca, con una cobertura pobre sin manejo.

²⁷ (latín) Se acepta la traducción como: "Todo lo demás permanece constante"

Este escenario refleja la el incremento de la erosión, debido a la pérdida del bosque, con el consecuente efecto en el incremento del volumen de sedimentos en el embalse hipotético. Esta simulación establece el límite **máximo** del rango de pago por el servicio del bosque en cuanto a protección de la calidad de agua.

Escenario 2: Tendencia del uso de la tierra

El escenario 2 representa lo que se prevé sea la tendencia del uso de la tierra en el mediano plazo. Sí se aplica la tasa de deforestación actual de la subcuenca Jones (2%) anualmente la cobertura se estaría reduciendo en 29 has. Con base en tales proyecciones, el escenario 1 sería la situación actual proyectada a 45 años(el plazo se determinó a partir de la estimación del corte total de la superficie forestal a esa tasa de deforestación.

La razón de simular éste escenario, es para contar con un elemento comparador. A partir de éste se define el monto **mínimo** del rango del valor del servicio ambiental de protección de la calidad de agua.

4.2.2.2 Estimación de la erosión (RUSLE²⁸)

El cálculo de la erosión se realizó a partir de la "Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada" (RUSLE), empleando Arc View (Engel, 1999). Se consideraron fijos los valores de erosividad, erodabilidad y factor de pendiente; la variación para los escenarios proyectados se operó en los valores del factor de cobertura. El tamaño de la celda de resultado fue de 25 metros.

Factor R

La información se obtuvo a partir de los mapas generados por el Proyecto de Generación de información y Asistencia Técnica (CATIE, 2001). El factor R se obtuvo a partir del índice modificado de Fournier, como equivalente al factor R, expresado como:

$$\text{Factor R} = \text{IMF} = \sum p_i^2 / P, \text{ para } i = 1, \dots, 12$$

²⁸ Revised Universal Soil Loss equation

Donde,

IMF = Factor de agresividad climático o factor R

p_i^2 = precipitación mensual del mes i (mm) elevada al cuadrado

P = precipitación anual.

El rango de valores del factor R, oscila entre 128 y 212, con una media de 178. El comportamiento general de éste factor manifiesta valores grandes en la parte alta de la microcuenca y descienden los valores conforme se llega al punto de drenado. Esto se debe a que la precipitación orográfica ocasiona más lluvia a altitudes mayores que a menores.

Además, es importante aclarar que el dato se obtuvo a partir del Índice Modificado de Fournier, que aunque presenta una correlación alta con el índice de erosividad de las lluvias, no es idéntico.

Factor K

La información se obtuvo a partir de los mapas generados por el Proyecto de Generación de Información y Asistencia Técnica. Las variables que se emplearon para determinarlo fueron: textura, estructura, contenido de materia orgánica y permeabilidad. (CATIE, 2001)

El rango de valores, fue de 0.1652 a 0.2000, expresados en Ton/ha. Dichos valores son considerados relativamente bajos; debido a que los suelos de la microcuenca tienen un alto contenido de materia orgánica –sobre todo en el bosque húmedo, lo cual los hace menos susceptibles a erosión.

Factor Ls

El factor topográfico se determinó a través de la siguiente ecuación:

$$Ls = (\text{acumulación de flujo} * \text{tamaño de celda} / 22.13)^{0.4} * (\text{seno de pendiente} / 0.0896)^{1.3}$$

El factor Ls tiene una estrecha relación con la pendiente. Debido a las fuertes pendientes que se hallan en la microcuenca, el factor se considera alto (media = 10.01) y está uniformemente distribuido en toda la microcuenca.

Factor C

La cobertura del suelo es la variable que representa la "dosis" del producto. Los valores que se emplearon se determinaron para responder a los escenarios planteados, y así obtener la "respuesta" deseada. Las capas de mapas de Cobertura Actual y Escenarios 1 y 2, emplearon los siguientes valores del factor C:

Cuadro 18. Valores del factor C para uso de la tierra

| Tipo de uso de la Tierra | Factor C | Razón |
|--------------------------|----------|---|
| Bosque latifoliado | 0.0001 | Bosque sin disturbar: es el valor mínimo que se le puede asignar a una categoría. El bosque no ha sido disturbado, la infiltración y la mayor parte del suelo está cubierto por una capa de mulch (mayor de 20Cms. de profundidad). |
| Bosque de pino | 0.001 | Bosque disturbado: condiciones de suelo aceptables, cobertura de alrededor del 50% del suelo. El área ha sido sujeta de aprovechamiento o quemada. |
| Pastoreo extensivo | 0.09 | Cobertura de alrededor del 25% de árboles y con 60% de suelo con cobertura (pasto) |
| Area agrícola | 0.45 | Índice adaptado a la zona para agricultura migratoria |
| Sin cobertura | 0.90 | Aplicado al Escenario 1. Tiene un valor alto para reflejar el caso extremo de que el suelo no tuviera ningún tipo de protección (no se asumió 1 por la vegetación natural que pueda surgir) |

Fuente: adaptado de: Wischmeier (1974) González (1994) y Transag (1998)

Los índices originalmente fueron desarrollados para condiciones de los Estados Unidos de Norteamérica, teniendo una amplia aceptación a nivel mundial; los empleados en éste estudio han sido adaptados a las condiciones del área.

4.2.2.3 Resultado de la ecuación de pérdida de suelo

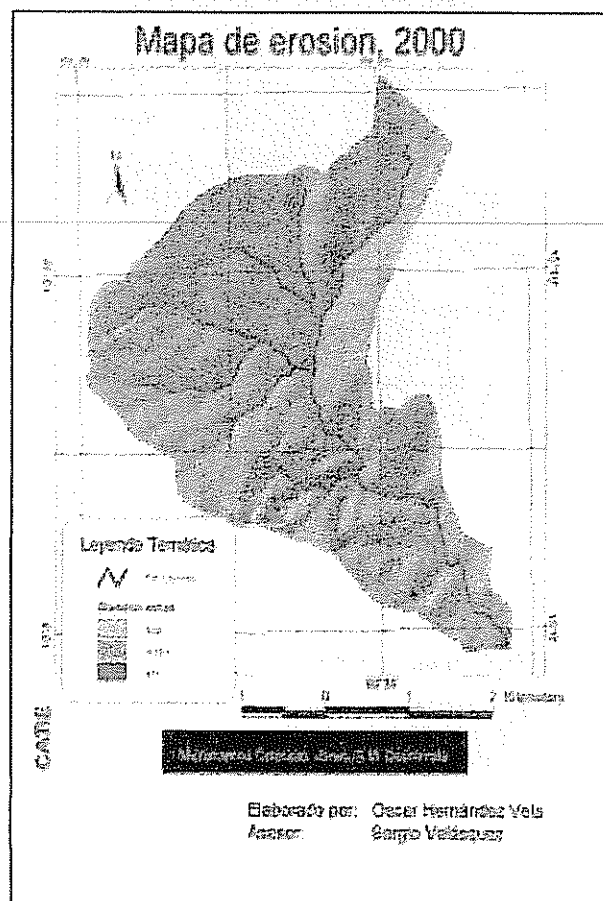
El resultado de la aplicación de la RUSLE, se consigna en el siguiente cuadro:

Cuadro 19. Pérdida de suelo en la Microcuenca Colorado

| Escenarios | Erosión | | |
|------------------|------------|---------------|---------------------------------|
| | media | Erosión total | |
| | Ton/ha/año | Total | |
| | | Total (Ton) | (m ³) ²⁹ |
| Situación actual | 0.47 | 10,934 | 3,645 |
| Escenario 1 | 10.72 | 247,896 | 82,632 |
| Escenario 2 | 1.45 | 33,500 | 11,167 |

A continuación se presenta una breve explicación del comportamiento de la erosión de acuerdo a la tabla y los mapas generados; estos últimos se reclasificaron en tres clases para dar una visión más clara de los sitios donde se concentra la erosión alta, media y

baja.



Morgan y Wiersum (citados por Aylward, 1998) sugieren que las tasas de erosión natural varían de 0.03 a 3.0 ton/ha/año para el primer autor y en una revisión de 20 estudios que realiza el segundo determina que varía entre 0.03 a 6.2 ton/ha/año, con media de 0.3, es decir son mínimas. Por ende, se considera que la erosión en el *escenario actual* está en el rango inferior (0.47 ton/ha/año); ello se debe a que la cobertura forestal –en especial el bosque nuboso que cubre el 67% de la microcuenca- minimizando los efectos de los factores restantes (lluvia, topografía y características de los suelos).

Figura 15. Erosión actual en la microcuenca Colorado

²⁹ La conversión de toneladas a metros cúbicos se determina a partir de la densidad de los suelos, en éste caso se considera 3.

En el escenario 1, la erosión debido a la pérdida de la cobertura forestal se incrementan en 23 veces respecto a la situación actual; la distribución de la erosión es relativamente uniforme en toda la microcuenca. La mayor concentración se presenta en las partes altas que actualmente están protegidas por bosque latifoliado.

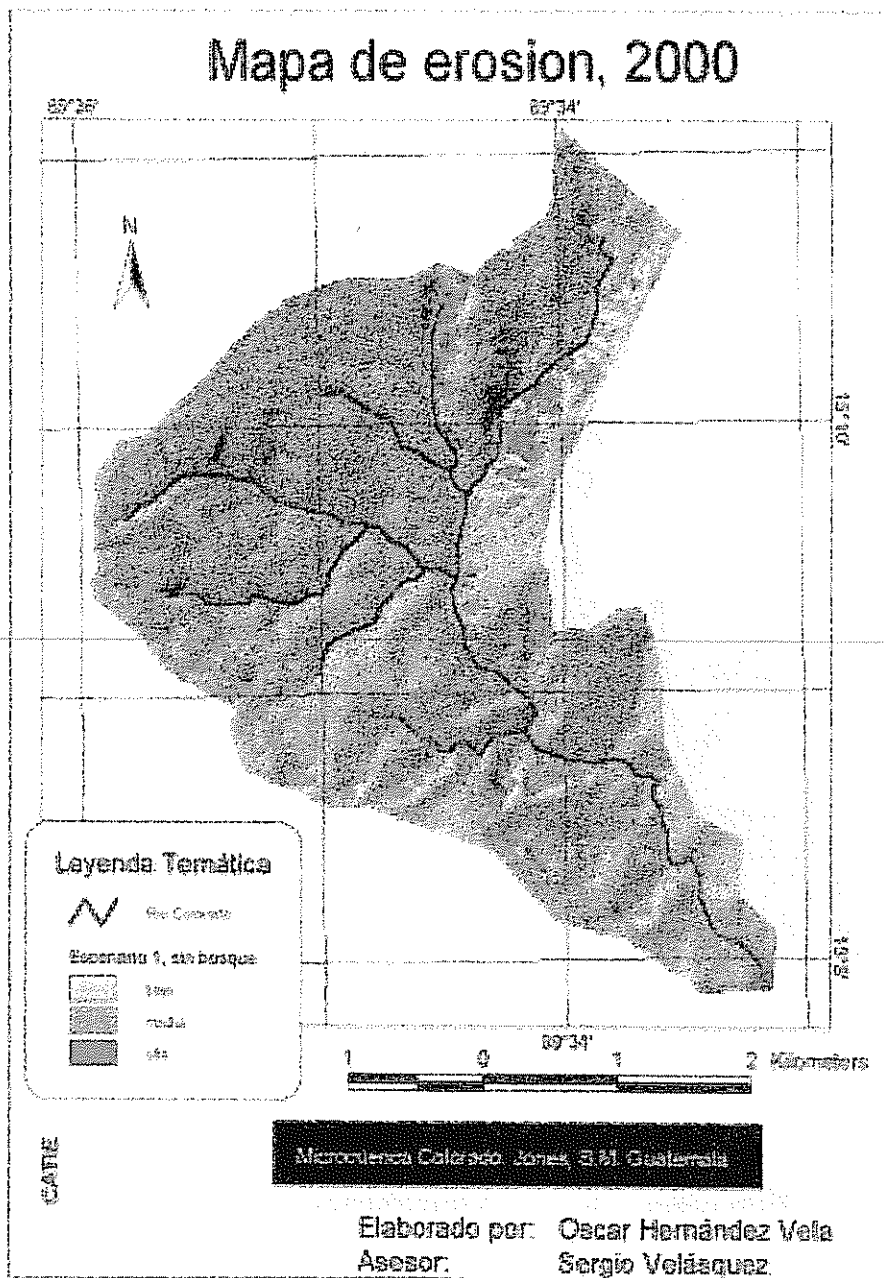
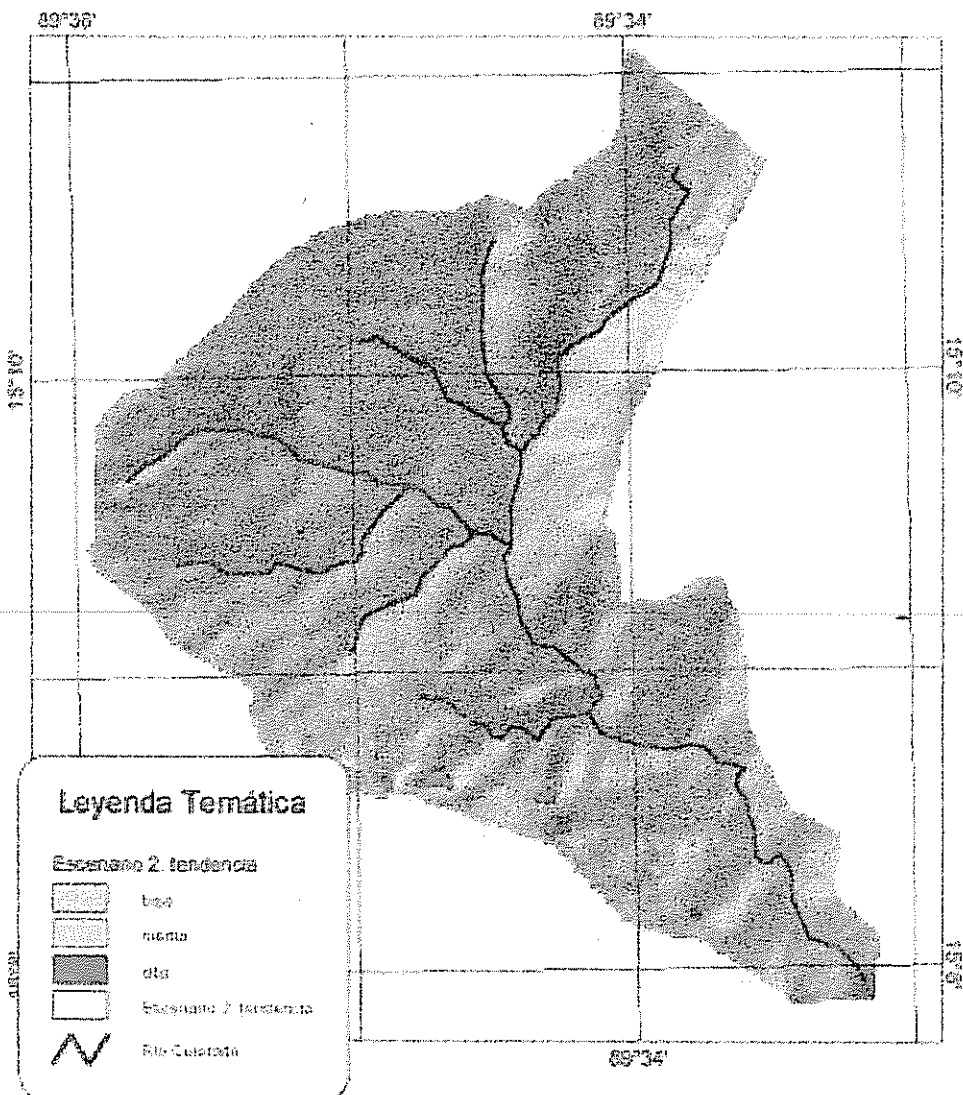


Figura 16. Erosión simulada del escenario 1

En el escenario 2, la erosión es el triple de la situación actual y tiene una distribución similar a la original, es decir, se presenta mayor erosión en las áreas dedicadas a agricultura, que en las áreas de pasto.

Mapa de erosion, 2000



Microcuenca Colorado, Jones, S.M. Guatemala

CATIE

Elaborado por: Oscar Hernández Vela
Asesor: Sergio Velásquez

Figura 17. Erosión simulada del escenario 2

4.2.2.4 Las características del embalse hipotético

La razón de ubicar el embalse hipotético en la microcuenca se debe a que Las áreas de recarga y captación hídrica se encuentran protegidas en su mayor parte por bosque (figura 19). El embalse se localiza en el límite entre la zona de usos múltiples y la zona de amortiguamiento.

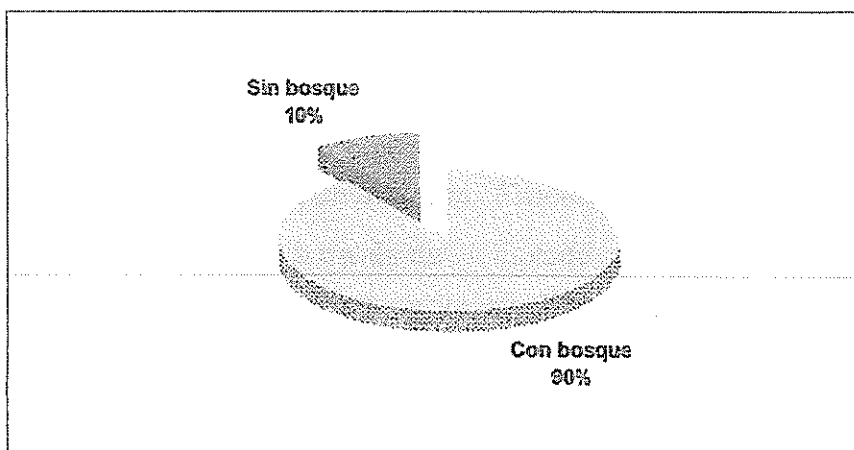


Figura 18. Distribución de áreas de dedicadas a bosque en la microcuenca Colorado

La planta se estima tendrá una potencia instalada de 3.5 MW. El embalse hipotético es de regulación diaria, empleando el concepto de incremento del peso del agua durante la estación seca. El mecanismo de operación consiste en la generación de energía eléctrica durante las horas picos de cada día empleando el embalse. El resto del tiempo la planta operará con el caudal del río.

En el cuadro siguiente se presentan las principales características del embalse, las cuales han sido empleadas para hacer los cálculos de efectos de la sedimentación y sus costos asociados.

Cuadro 20 Características técnicas del embalse

| Variable | Unidad medida | Valor |
|----------------------------------|----------------|-------|
| Altura del dique | M | 4.5 |
| Profundidad media | M | 2.3 |
| Largo dique | M | 6.0 |
| Ancho (relación 7H:1V) | M | 35.0 |
| Capacidad del embalse | m ³ | 472.5 |
| Máxima sedimentación del embalse | 30% | 141.8 |

La variable de máxima sedimentación se refiere al umbral de sedimentos que el embalse puede almacenar, antes de un evento de limpieza.

El embalse poseerá un sistema de "flushing"³⁰ para limpiar el reservorio; éste mecanismo consiste en una salida de flujo ubicada en la parte baja, la cual al abrirla, elimina los sedimentos acumulados –bajo condiciones actuales de cobertura forestal-, minimizando los efectos de la calidad del agua, corriente abajo.

4.2.2.5 El factor de ajuste: Sedimentación / Erosión

La sedimentación se determina a través de un método indirecto, que emplea un factor de ajuste. El factor es el cociente entre la sedimentación acumulada en el punto del embalse y la pérdida de suelo, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Fa \longrightarrow \frac{S_r}{E_a} = \frac{S_e}{E_p}$$

Donde,

S_r = Sedimentación **real** medida por la trampa ubicada en el vertedero

E_a = Erosión actual de la microcuenca (método RUSLE)

S_e = Sedimentación **esperada** en el embalse

E_p = Erosión potencial de la microcuenca (Método RUSLE)

³⁰ Es la denominación en inglés del proceso de limpieza del embalse, empleando la presión del agua

La aplicación de éste método indirecto permite eliminar el sesgo ocasionado por la aplicación de modelos para la determinación de la tasa y capacidad de transporte de sedimentos y la acumulación de sólidos sedimentables en base a las características del embalse.

El factor de ajuste se lee como: "la proporción de la erosión de la microcuenca que se sedimenta en el embalse".

El factor de ajuste obtenido fue de 0.00329, que es el cociente entre la medición directa del sedimento acumulado en la trampa construida en el vertedero y la pérdida de suelo estimada a través de Arc View (ver Cuadro 21).

4.2.2.6 Los niveles de respuesta: Sedimentación por escenario

Con base en el factor de ajuste, se presenta a continuación el resultado del cálculo de la sedimentación:

Cuadro 21. Cálculo de la sedimentación, basado en el factor de ajuste

| Variable | Unidad medida | Situación actual | Escenario 1 | Escenario 2 |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-------------|-------------|
| Pérdida de suelo | m ³ /año | 3,645 | 82,632 | 11,167 |
| Factor de ajuste | --- | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
| Sedimentación bruta | m ³ /año | 12 | 272 | 37 |
| Sedimentación | m ³ /año | 12 | 272 | 37 |
| Eficiencia de flushing (diseño) | % | 0% | 0% | 0% |
| Sedimentación neta | m ³ /año | 12 | 272 | 37 |
| Frecuencia limpieza | Veces / año | 0.1 | 1.9 | 0.3 |

El escenario 1 –sin cobertura boscosa- la sedimentación oscila entre 3 y 23 veces mas que la de la situación actual. Los Incrementos en tasas de sedimentación son el resultado de cambios del cambio del uso de la tierra (Aylward, 1998). Con base en la sedimentación y el volumen del embalse (Cuadro 20), la frecuencia de limpieza es: para la situación actual una vez cada diez años; escenario 1, dos veces por año y escenario 2 una vez cada tres años.

4.2.3 Valor del servicio forestal de protección de la calidad del agua

El valor del servicio forestal de protección de la calidad de agua, para la empresa hidroeléctrica en la microcuenca Colorado, se basa en los datos presentados, con la aplicación de la técnica de valoración "Costos evitados".

4.2.3.1 Ecuación de cálculo

Los cálculos consisten en determinar el valor de **respuesta** del beneficio económico de la hidroeléctrica, a partir de las **dosis** del bien bosque; es decir, determinar el rango económico entre los escenarios futuros: Escenario 1 y Escenario 2 –el escenario actual no se estima más debido a que ese es la dosis máxima y se pretende determinar con el procedimiento la respuesta económica a esa dosis-.

$$C_e = C_l + E_p + P_p$$

Donde,

C_e = Costos evitados totales

C_l = Costos de limpieza del embalse –ocasionados por la sedimentación-

E_p = Valor de la energía pérdida, -no producida debido a las labores de limpieza-

P_p = Valor potencia perdida –no instalada debido a las labores de limpieza-

Costos de limpieza

Las estimaciones de los **Costos de limpieza** se realizan con base en la variable "volumen de sedimentos", ocasionados por los cambios del uso de la tierra. Es decir, se estima la *variación* en el volumen de sedimentos acumulados en el embalse, o sea, la diferencia entre la sedimentación de los escenarios 1 y 2 , menos la sedimentación original (12 metros cúbicos / año).

El cálculo de los costos de limpieza se realiza en base a:

| |
|---|
| $Cl = \text{Volumen de sedimentación (M3)} * \text{precio por limpieza del metro cúbico (US \$)}$ |
|---|

Debido a que no existen experiencias de limpieza de sedimentos en la subcuenca, el precio se estimó con base en costos de proyectos hidroeléctricos de condiciones similares, los cuales están consignados en los estudios de Reyes (2000) y Gutiérrez (2001). El precio ponderado fue de U.S. \$ 50.00 / metro cúbico de sedimento. Los resultados obtenidos son los siguientes:

| Variable | Unidad medida | Escenario 1 | Escenario 2 |
|--------------------|---------------|-------------|-------------|
| Costos de limpieza | U.S. \$ | 13,003.22 | 1,238.30 |

Energía y potencia perdidas (Ep y Pp)

El valor de la **Energía perdida**, es la energía que la empresa hidroeléctrica deja de producir, y por ende de vender, debido a la paralización de las turbinas durante la limpieza del embalse; se estima a partir del tiempo que en cesa funciones la planta.

El valor de la **Potencia perdida** es la potencia instalada que se deja de vender debido a la paralización de las turbinas durante la limpieza del embalse; se estima a partir del tiempo en que cesa funciones la planta.

El calculo del valor de la Energía perdida (Ep) se estableció en base a:

$$Ep = \text{Tarifa energía (US\$/Kwh)} * \text{Generación eléctrica (KW/h)} * \text{tiempo de limpieza (h)}$$

La generación eléctrica es la productividad energética esperada durante el período de fuera de punta.

El cálculo del valor de la Potencia pérdida (Pp), se estableció a partir de:

$$Pp = \text{Potencia equivalente (KW)} * \text{tarifa de potencia (U.S./KW/Día)}$$

La potencia equivalente es la Potencia durante el período fuera de punta.

Las estimaciones se realizaron asumiendo que la limpieza se realiza fuera de las horas de mayor demanda (período de punta), ya que el tiempo máximo que se requiere es de 17 horas (ubicado entre las 18 horas de venta de energía y potencia fuera de punta). En el Cuadro 22 se presenta el resultado de los cálculos obtenidos para cada uno de los tres componentes de la ecuación:

Cuadro 22. Perdidas ocasionadas por operación suspendida

| Variable | Unidad medida | Escenario 1 | Escenario 2 |
|--|---------------|-------------|-------------|
| Información base | | | |
| Potencia instalada | KW | 3500 | 3500 |
| Energía máxima | KWh | 84,000 | 84,000 |
| Tiempo suspendido (limpieza embalse) | horas | 17 | 2 |
| Factor potencia equivalente | | 0.30 | 0.30 |
| Cálculo del valor de perdida de energía | | | |
| Generación eléctrica (fuera de punta) | KWh | 25,200 | 25,200 |
| Tarifa de energía (fuera de punta) | US \$ / KWh | 0.04 | 0.04 |
| Valor perdida energía | US\$ | 18,743.36 | 1,784.94 |
| Cálculo del valor de perdida de potencia | | | |
| Potencia equivalente | KW | 3,500 | 3,500 |
| Tarifa potencia (fuera de punta) | US\$/KW-dia | 0.03 | 0.03 |
| Valor potencia perdida | US\$ | 1,517.04 | 144.47 |

Como se puede observar, las pérdidas mayores por suspensión de la casa de maquinas corresponden a las pérdidas por potencia.

Valor del servicio ambiental de protección de la calidad de agua

Al aplicar la ecuación de sedimentación ($P_a = C_l + E_p + P_p$), se obtienen los resultados consignados en el siguiente cuadro:

Cuadro 23. Valoración total del servicio ambiental de protección de la calidad de agua

| Variable | Unidad medida | Escenario 1 | Escenario 2 |
|-------------------------------|---------------|-------------|-------------|
| Costos de limpieza | U.S. \$ | 13,003.22 | 1,238.30 |
| Energía perdida | U.S \$ | 18,743.36 | 1,784.94 |
| Potencia perdida | U.S. \$ | 1,517.04 | 144.47 |
| Total costos evitados | U.S. \$ | 33,263.62 | 3,167.71 |
| Valor del servicio del bosque | U.S. \$/ha | 22.86 | 2.18 |

El cuadro anterior refleja que las pérdidas asociadas a la sedimentación en orden de importancia son: 56% por pérdidas de ventas por energía, 39% por labores de limpieza y 5% por pérdidas por ventas de potencia.

En el cálculo se asume que el valor de la acumulación de sedimentos por el "sistema de flushing" del embalse, es igual al valor de la potencia perdida debido a la acumulación de sedimentos entre dos eventos de limpieza (la acumulación de sedimentos entre el rango de 0% hasta 30% del volumen del embalse, que es cuando nuevamente se recurre a un evento de limpieza). Por tal razón no se consideran ambas variables.

Tarifa de instalación de la hidroeléctrica

De acuerdo a la información generada, la negociación con una empresa hidroeléctrica se basaría en que las partes involucradas obtengan beneficios individuales, los cuales se destacan a continuación.

Los **beneficios** de la empresa hidroeléctrica estarían basados en la ganancia que obtendría, representada por los "costos evitados" en que tendría que incurrir sin la presencia de bosque en el área de captación y regulación hídrica.

Además, de garantizar la calidad del agua (contenido de sedimentos), obtendría el agregado de tener un flujo estable de agua durante toda la época del año, garantizando su productividad durante las horas pico (la cobertura forestal, en especial el bosque nuboso-70%- regula el agua entre la época de invierno y verano, absolviéndola en la primera y liberándola durante la segunda, Brown 1996).

Finalmente, recibiría beneficios en términos de "vida útil de la maquinaria", ya que la relación entre calidad de agua y depreciación de maquinaria es inversamente proporcional.

El **pago** del servicio ambiental de protección de la calidad del agua del bosque, estaría entre el rango de 31 a 63 miles de dólares estadounidenses al año (US \$/año). Esto a su vez, presenta un mínimo de US \$ 2.18 /ha/año y un máximo de US \$ 22.86/ha/año (ver Cuadro 23). La administración de los fondos estaría a cargo de los propietarios y/o administradores del área cubierta con bosque, quienes asumirían el compromiso de conservarlo y protegerlo; estas actividades benefician al bosque y la biodiversidad que alberga, contribuyendo al logro de los objetivos del Corredor Biológico Mesoamericano (WWF, 2000).

Implicaciones de la tarifa

El paso siguiente de la valoración del servicio ambiental consiste en la definición de un mecanismo de PSA (Pago por Servicios Ambientales). El cobro de la tarifa estará en función de los niveles de conciencia e información que se logre entre las dos partes (oferta y demanda), para favorecer una adecuada toma de decisiones. La negociación del servicio ambiental, tiene las siguientes ventajas en el corto y mediano plazo: i) incrementa los indicadores financieros de la empresa hidroeléctrica, ii) genera fondos para fines conservacionistas y iii) eleva el nivel de bienestar de la sociedad (económicamente la creación de riqueza es "sostenible", porque no se afecta el estado actual de los recursos naturales –bosque-).

En la sección anterior se presentan los beneficios que el PSA acarrea para la empresa hidroeléctrica y para los propietarios y/o administradores del bosque. Los términos contractuales de la negociación deben ser claros, tanto a nivel de datos técnicos (calidad de agua y caudal del río), como de la forma de pago (tiempos y montos). Además, deben considerarse los eventos naturales –corto y mediano-, que pueden incidir en la región y que por ende afectarían las condiciones iniciales (patrón hidrológico, eventos climáticos – i.e. huracanes-, etc.)

El PSA por protección de la calidad de agua ofrece una oportunidad a las empresas del Sector Eléctrico, para ser los pioneros a nivel de Guatemala. Además de los beneficios financieros indicados y de los permisos legales correspondientes, quienes realicen el pago, dispondrán de un insumo publicitario estratégico en ésta época en que el tema del "Ambiente" es prioritario en las agendas de las mesas de negociación gubernamentales y privadas.

Aspectos importantes

La técnica de "Costos Evitados" se basa en un principio sencillo, con un sustento científico sólido y ampliamente difundido: Relaciones Dosis / Respuesta (Azqueta 1994). Por ende, su aplicación requiere de una recolección y análisis de información precisa y detallada, para obtener resultados válidos (Freeman, 1990).

En éste caso, los resultados han sido obtenidos en base a una estimación de la sedimentación a través de un método indirecto que ahorra recursos y tiempo. Los datos empleados en los efectos de la sedimentación a la empresa hidroeléctrica son hipotéticos debido a que la misma se halla en fase de estudio. Los resultados no deben ser generalizados al sector hidroeléctrico, ya que el efecto del bosque en la calidad de agua y sedimentación de embalses dependerá de las características propias de la cuenca. El proceso es aceptado técnicamente, y para replicarlo se deben realizar los ajustes correspondientes.

Finalmente, la técnica de “costos evitados” valora los servicios ambientales, en función de las repercusiones que una variación de su estado tendría en las empresas. Este mecanismo ofrece la ventaja al momento de la negociación, de motivar la aplicación de “medidas preventivas” de efectos económicos a través de la conservación de los recursos naturales, antes que la aplicación de “medidas curativas” de tales efectos, que la experiencia sostiene que son mucho mayores que lo previsto.

Implicaciones de la tarifa.

Los beneficios individuales –empresa- y colectivos –sociedad- por el Pago por Servicios Ambientales es una oportunidad valiosa para los involucrados, disminuyendo las fallas de mercado en cuanto a generación de riqueza con merma de los recursos naturales, e inequidad en su distribución.

Contribuciones a política ambiental

La situación a nivel internacional y la coyuntura interna en Guatemala favorecen el establecimiento de un programa de pago de servicios ambientales a nivel local. A nivel de país se ha propuesto el diseño de estrategias específicas en el campo ambiental, donde se destaca la creación de políticas macro y micro para el establecimiento de un programa de servicios ambientales.

El sustento de las diferentes políticas evidencia la necesidad de estudios científicos. Por lo tanto, los resultados obtenidos de ésta valoración, sientan las bases para proponer la creación de un mecanismo de compensación, que permita el establecimiento de un sistema de pago de servicios ambientales en el área de estudio, y aunque parezca

ambicioso puede fortalecer la creación de políticas ambientales nacionales, dada la carencia de estudios especializados.

La situación a nivel internacional con la reciente aprobación del protocolo de Kyoto en julio del 2001 y la coyuntura interna en Guatemala, con la creación del Ministerio de Ambiente, favorecen el establecimiento de un programa de pago de servicios ambientales principalmente a nivel local. El Ministerio de Ambiente, el CONAP, otras instancias descentralizadas y algunas organizaciones no gubernamentales en apoyo a esta iniciativa se han propuesto contribuir al diseño de políticas macro y microeconómicas que sustenten su aplicación. Por consiguiente, este estudio de carácter científico viene a fortalecer lo antes planteado.

Este estudio establece un rango de valores, como base para la negociación de las organizaciones responsables de la conservación del bosque en el área con las empresas hidroeléctricas que se benefician directamente de la existencia del bosque. Bajo esta lógica, dado que aun no existen los mecanismos de compensación, sino que el PSA es un proceso nuevo dentro del país, lo más acertado, sería el establecimiento de una coalición a nivel local, entre los diferentes actores involucrados, que permita a través de acuerdos voluntarios el funcionamiento del mercado y por ende la provisión y compensación del servicio ambiental agua.

Adicionalmente, esta tendencia a nivel internacional, actualmente produce presión sobre el sector energético guatemalteco hacia el apoyo de técnicas energéticas de producción más limpia y con visión de mediano y largo plazo. Esta línea de acción alienta la generación hidroeléctrica privada a nivel local, y favorece el desarrollo de estrategias en busca de un manejo apropiado del recurso hídrico. Esto se basa en la premisa que las "políticas exitosas son las que tienen su nacimiento en las bases mismas de la sociedad".

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

5.1.1 Generales

- ✓ La cobertura forestal de la subcuenca Jones en las zonas de recarga y captación hídrica tiene una tendencia decreciente, pese a los esfuerzos de conservación y protección debido a la búsqueda de ingresos económicos; esto repercute en la productividad hídrica, disminuyendo los caudales de estiaje durante la época en que el agua tiene mayor demanda y mermando su calidad para los usuarios de riego, hidroeléctrica y pobladores.
- ✓ El estudio de valoración económica requiere información técnica multidisciplinaria sobre la estructura y función de los recursos naturales existentes y la identificación de los usuarios de los servicios ambientales; la aplicación de las técnicas de valoración económica (costo de oportunidad y costos evitados) se desarrolla a partir de solidez científica de la información técnica (forestal, hidrológica, mapas, etc.).

5.1.2 Relacionadas a la tarifa base del metro cúbico de agua

- ✓ La técnica de costo de oportunidad de la tierra con cobertura forestal implica teóricamente toda el área boscosa de la cuenca; sin embargo, en la práctica existen áreas que no tienen costo de oportunidad, porque no son sujetas a aprovechamiento forestal: el bosque de coníferas por razones técnicas (condiciones topográficas desfavorables y/o suelos frágiles) y el bosque de latifoliadas por no existir mercado para la mayor parte de especies de hoja ancha.
- ✓ El cálculo de la tarifa base de la unidad de volumen de agua oscila entre US \$ 0.004 y US \$ 0.008 por metro cúbico de agua; el precio incluye el costo de oportunidad del suelo dedicado a bosque (venta de madera y ganadería), así como el costo de protección del bosque. La tarifa por unidad de bosque global (latifoliadas y coníferas) está en el orden de US \$ 52 a 102 por hectárea, la cual se compone del costo de oportunidad (US \$ 46 a 96) y costo de protección (US \$ 6). El costo de oportunidad de la ganadería es de US \$ 95/ha y la tarifa del bosque sustituido (pino) en promedio asciende a US \$ 148.

5.1.3 En relación a la tarifa base de la hidroeléctrica

- ✓ La tarifa del servicio ambiental de protección de la "calidad de agua" asciende a US \$ 22 hectárea al año; la estimación se basa en los costos asociados en que la hidroeléctrica incurriría si no existiera la cobertura forestal (costos de limpieza, pérdida de generación eléctrica y potencia).
- ✓ La aplica de la técnica de valoración "costos evitados", estima precios a partir de la función dosis/ respuesta; ello representa un sólido argumento en el momento de negociar la tarifa base con una empresa hidroeléctrica, de acuerdo al principio del libre mercado: Gana, gana. La empresa evita las erogaciones asociadas a la sedimentación y se obtienen fondos para protección del bosque.

5.2 Recomendaciones

- ✓ Los límites de las categorías de manejo en la subcuenca Jones deben ser redefinidos con base en los mapas de uso del suelo, tipo de bosque y red hídrica superficial (2001) para preservar el bosque existente y propiciar la regeneración en las áreas que han perdido la cobertura forestal, especialmente a nivel de la zona núcleo.
- ✓ La valoración de un servicio ambiental debe ser realizada por un equipo multidisciplinario que incluya personal especializado en dos áreas: recursos naturales y economía ambiental.
- ✓ En el marco de un programa de pago por servicios ambientales, las tarifas generadas por la presente investigación son la base científica sobre las cuales deberían realizarse una serie de negociaciones con los usuarios del agua: hidroeléctrica y fincas con riego. El propósito debe ser obtener fondos para la protección del bosque a partir de reglas claras (administradores, beneficiarios, montos, niveles de calidad, incidencia de variaciones climáticas, montos, etc.).
- ✓ La valoración de servicios ambientales a partir de las limitaciones de información y las condiciones económicas de los países en desarrollo, puede realizarse empleando técnicas que empleen precios de mercado (costos de: oportunidad, de reemplazo, evitados y de protección). Estas técnicas tienen la ventaja de revelar de una manera indirecta el comportamiento del consumidor, generando información que permite inducir el comportamiento del consumidor a partir de un *mecanismo de precios*.

6 BIBLIOGRAFIA

- Aldana y Aldana, Robidio. 1999. Estudio de la Subcuenca Río Jones. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). Zacapa, Guatemala. s.p.
- Ansmann, T. 2000. Valoración económica del servicio ambiental agua en la cuenca Jatunhuaycu –Antisana que alimenta el proyecto de agua potable “La Mica-Quito Sur” en Ecuador. GTZ (Cooperación Técnica Alemana). Quito, Ecuador. 50 p.
- Arana, L. 1992. Análisis espacial para evaluar la erosión hídrica en la subcuenca del río Pensativo, Guatemala. Tesis M. Sc. Turrialba, CR. CATIE 116 p.
- Ayau, M. 1998. El Proceso Económico I. Universidad Francisco Marroquín. Guatemala, GT. 90 p.
- Aguirre, J.A. 1999. Cuencas Hidrográficas, Servicios Ambientales e Incentivos para el Desarrollo Ganadero Sostenible del Trópico Americano. En “Intensificación de la Ganadería en Centroamérica: Beneficios Económicos y ambientales” CATIE / FAO / SIDE. Nuestra Tierra Editorial, Costa Rica. 77-90 pp.
- Azqueta, D. 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. Mc Graw Hill. Madrid, España. 1ª. Ed. Español. 299 p.
- Brown M, de la Roca I, Vallejo A, Ford G, Aguilar B, haacker R. 1996. A valuation Analysis of the role of cloud forests in watershed protection: Sierra de las Minas y Cusco National Park. RARE / Defensores de la Naturaleza. Guatemala. 129 pp.
- Campos, J. 1997. Sostenibilidad del manejo de bosques naturales en Costa Rica: posibilidades dentro del bosque (documento presentado en el III Congreso Forestal Centroamericano). San José, Costa Rica. 16 p.
- Castro, F; Secaira, F. 1999. Conociendo el sistema guatemalteco de áreas protegidas. ENB (Estrategia nacional de biodiversidad). Guatemala. 91 p.
- CATIE/Esprede. 2001. Proyecto Asistencia técnica y generación de información. Base de datos espacial digital de Guatemala. Especificaciones técnicas. Guatemala, GT. 119 p.
- Congreso de la República de Guatemala. 1990. Declaratoria de la Reserva de la Biosfera “Sierra de las Minas” . decreto 49-90. 10 p.
- Congreso de la República de Guatemala. 1996. Ley Forestal. Decreto 101-96. 38 p.
- Congreso de la República de Guatemala. 1989. Ley de Areas Protegidas. Decreto 4-89 y sus reformas: Decretos 18-89 y 110-96. CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas) 32 p.
- Chow, V. T. 1964. Handbook of applied hydrology; a compendium of water-resources technology. Volumen VI. New York. Mc Graw Hill. 1418 p.

- Chow, V. T. 1964. Handbook of applied hydrology; a compendium of water-resources technology. Volumen VII. New York. Mc Graw Hill. 1418 p.
- CINPE (Centro Internacional de Política Económica), 2001. Proyecto: Programa de servicios ambientales en Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas. CINPE. Heredia, Costa Rica. 74 p.
- CINPE (Centro Internacional de Política Económica), 2001. Informe Taller Exploratorio Sierra de las Minas. CINPE. Heredia, Costa Rica. 22p.
- Cubero, D. 1994. Manual de manejo y Conservación de suelos y aguas. Ministerio de Agricultura y Ganadería; Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación. 2ª. Ed. San José, C.R. 300 p.
- Defensores de la Naturaleza. 1997. II Plan Maestro de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas. Guatemala. 73 p.
- Defensores de la Naturaleza, 1998. Diagnostico participativo. Cuenca Jones, Sierra de las Minas. Guatemala.
- Dixon, J; Fallon, L; Carpenter, R; Sherman, P. 1994. Análisis Económico de Impactos Ambientales. Banco Asiático de Desarrollo y Banco Internacional de Reconstrucción y Desarrollo, Banco Mundial. 2ª. Edición traducida por Tomas Saraví. Edición: Mario Piedra y Robert Hearne. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Defensores de la Naturaleza. 1992. Plan Maestro: Reserva de la Biosfera de la Sierra de las Minas. Elan Ediciones. Guatemala. 54 p.
- Diaz, E. 1998. Estimación de los costos medios, conveniencia y viabilidad financiera en el manejo de bosques naturales de coníferas: una aplicación para los incentivos para el manejo forestal en Guatemala. Tesis de M. Sc. Turrialba, CR. CATIE. Xxp.
- Echeverría, Jaime. (1997 a). Valoración Económica de los beneficios del Area de Conservación Guanacaste. Presentado al programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Centro Científico Tropical (CCT).
- Echeverría, M. 1999. Agua: Valoración del servicio ambiental que prestan las áreas protegidas. TNC (The Nature Conservancy). América Verde Publications. 84 p.
- Engel, B. 1999. Estimating soil erosion using RUSLE (Revised Universal Soil Loss equation) using Arc View. Purdue University.
- Fundación Defensores de la Naturaleza. 1998. Diagnóstico Participativo cuenca Jones. Reserva de Biosfera Sierra de las Minas. Guatemala. 18 p.

Gregersen, H; Contreras, A. 1980. Análisis Económico de Proyectos Forestales . FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). Roma, IT. 228 p.

Field, B. 1995. Economía Ambiental. Trad. Leonardo Cano. McGraw-Hill, Colombia.

Gittigier, J. 1972. Economic Analysis of agricultural projects. International Bank for reconstruction and development. USA. 221 p.

Gómez, M. 1992. El uso del programa "Cash flow" para el análisis financiero de inversiones agrícolas y forestales. Proyecto cultivo de árboles de uso múltiple. Turrialba, CR. CATIE. 19 p.

Freeman, M. 1993. The measurement of environmental and resource values. Theory and methods. Resources for the future. Washington, U.S. 516 P.

Gómez, M; Quiroz, D. 2001. Metodología para el análisis financiero del manejo de bosques en América Latina. En: Silvicultura de Bosques Latifoliados Húmedos con énfasis en América Central. Editores Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. Serie Técnica, manual técnico No. 46. Turrialba, CR. CATIE. 15p.

Herrador D, Dimas L. 2000. Aportes y limitaciones de la valoración económica en la implementación de esquemas de pago por servicios ambientales. Prisma # 41.

Herrera de Noack, J; Sobenes de Vásquez, A. 1997. Manual de legislación ambiental de Guatemala. IDEADS (Instituto de derecho ambiental y desarrollo sustentable). Guatemala. 179 p.

Guatemala. Lee, R. 1980. Forest Hydrology. Columbia University Press. NY.

IGN (Instituto Geográfico Nacional), 1987. Gualán, Río Hondo y Pueblo Viejo. Guatemala. 1:50,000. 2361 III, Serie E754. Edición 2-DMA.

HR Wallingford. 1995. Calsite, User manual. Calibrated simulation of transported erosion. Oxfordshire, UK. R Wallingford. 59 p.

Kleinn, C; Pérez, J; López, G. 2000. Estadística II. Módulo: Técnicas de Muestreo. CATIE. Material de clase. Costa Rica. s.p.

López, C.M. 1998. Retorno financiero de las actividades agrícola, forestal y ecoturismo en el volcán San Pedro, Guatemala. Tesis M. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 119 p.

Montalvo, N. En Navegando entre brumas....Determinación de áreas con riesgo potencial de erosión con sistema de información geográfica y percepción remota.

Navib (Organización holandesa para la cooperación internacional al desarrollo)/Fundación Solar, 2001. Estado del agua en Guatemala, 2000 –para su discusión-.

- Merayo, O. 1999. Valoración económica del agua potable en la cuenca del río En medio Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. Tesis M. Sc. Turrialba, CR . CATIE. 148 p.
- Orellana, H. 2000. Estudio de la calidad del agua en las cuencas de los ríos Motagua y Polochic, Guatemala. En proyecto de monitoreo ambiental de las cuencas Motagua y Polochic (PROMA). Guatemala. 55 p.
- Ortiz, A. 2000. Sistema guatemalteco de áreas protegidas: una aproximación al valor económico de los bienes y servicios ambientales. CONAP (Consejo Nacional de Areas Protegidas / CATIE. Guatemala. 45 p.
- Páez, G. 2,000. Comunicación personal. Escuela de Post-grado CATIE. Turrialba C.R.
- PAFG, 1997. Proyecto Agroforestal para Guatemala. Boletín Informativo No. 4. Enero-Abril de 1997. 12 p.
- PNUMA. 1995. Programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente. Curso a distancia de Economía Ecológica.
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura Forestal. IICA (Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura) /GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. San José, CR. Serie Investigación y Educación en desarrollo sostenible. 561 p.
- Quirós, D. Gómez, M. 1998. Manejo sustentable de un bosque primario intervenido en la zona Atlántica Norte de Costa Rica. Manejo Diversificado de bosques naturales (13). Turrialba, CR. CATIE. 22p.
- Ramakrishna, B. 1997. Estrategia de Extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: Conceptos y Experiencias. IICA / BMZ /GTZ Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible.
- Reyes, V; Córdoba, C. 1999. Valoración económica del bosque y su relación con el recurso hídrico para uso hidroeléctrico en la microcuenca del Río Volcán. Tesis Ms. Sc. Universidad Nacional. Heredia, CR. 130 P.
- Revista Hídrica. 1999. AMSA Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán. Guatemala. 20 p.
- Rodas C., O A, 1998. Producción de agua en bosques húmedos tropicales. En Boletín Informativo No. 7. PAFG. Proyecto Agroforestal para Guatemala. Enero-Agosto de 1998.
- Schaeffer, R; Mendenhall, W; Ott, L. Elementos de muestreo. Traducido por Rendón, G; Gómez, J. México, MX. Grupo Editorial Iberoamérica. 321 p.
- Solís, H. 1999. El agua en Centroamérica. En Revista WWF Centroamérica, Volumen 2.

- Solíis, H. 2001. Productividad Eléctrica. Apuntes del curso Manejo de Recursos Hídricos, CATIE. Turrialba, C.R. 20 p.
- Stadmüller, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales, medidas para mitigarlo. Turrialba, C.R. CATIE. Informe Técnico No. 10. 60 p.
- Stadmüller, T. 1987. Los bosques nublados en el trópico húmedo. UN/CATIE Universidad de las Naciones Unidas/CATIE. Turrialba, C.R. 85 p.
- Steel, R; Torrie, J. 1980. Bioestadística: principios y procedimientos. Trad. Martínez, B. 2a. Ed. Mc Graw-Hill
- Wischmeier, W; Smith, D. 1978. Predicting Rainfall Erosion losses. A guide to conservation planning. Washington D.C., US. USDA (United states department of agriculture). Agriculture Handbook number 537. 58 p.
- Hydrosphere 1995. En GCOS/GTOS Plan for terrestrial climate-related observations. http://www.wmo.ch/web/gcos/pub/top_v1_1.html consultado el 8 de septiembre 2001. En línea.
- Empresa de transformación agraria/Tecnologías y Servicios Agrarios. 1994. Restauración Hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Madrid, España. Mundiprensa. 902 p.
- INAB <http://www.quik.guate.com/inabgua/#4.%20OFICINAS%20REGIONALES%20Y%20SUB-REGIONALES>

7 ANEXOS

Anexo 1. Valor Económico total del SIGAP por rubro considerado en la estimación

| Rubro | Valor estimado (Q.) | Valor estimado (U.S. \$) | Porcentaje |
|----------------------|---------------------|--------------------------|------------|
| Bienes maderables | 857.2 | 108.5 | 43% |
| Bienes no maderables | 604.5 | 76.5 | 30% |
| Bienes Agropecuarios | 200.3 | 25.4 | 10% |
| Turismo | 137.2 | 17.4 | 7% |
| Regulación de caudal | 87 | 11.0 | 4% |
| Protección del suelo | 66.2 | 8.4 | 3% |
| Sumidero de Carbono | 38 | 4.8 | 2% |
| Opción y no uso | 24.8 | 3.1 | 1% |
| TOTAL | 2015.2 | 255.1 | 100% |

Fuente: Ortiz (2000).

Anexo 2. Tomas ubicadas en la subcuenca Jones

| No. | Nombre |
|-----|----------------------------|
| 1 | Trapichitos |
| 2 | Charqueña |
| 3 | Caliente |
| 4 | Cabas |
| 5 | Tendal I |
| 6 | Tendal II |
| 7 | Tendal III |
| 8 | Maeo Sosa |
| 9 | Pepesqueña |
| 10 | Espinilla |
| 11 | Canaleña |
| 12 | Olivos |
| 13 | Rincon |
| 14 | Oidor |
| 15 | Castañeda |
| 16 | Chileña |
| 17 | Nueva |
| 18 | Aldana |
| 19 | David Marroquin |
| 20 | Encinal |
| 21 | Aguacate |
| 22 | Alto |
| 23 | Chico |
| 24 | Los Olivos |
| 25 | Agua Potable ½ Jones |
| 26 | Beto RecinosPatio de Gallo |
| 27 | La Vega |
| 28 | Piedra Pintada |
| 29 | El Potrero |
| 30 | Plan del Llano |

Fuente: elaboración propia, 2001

Anexo 3. Especificaciones Molinete

Fabricante: General Oceanic, Modelo: serie 2030 (Mechanical Flowmeters)

Manual: [download/2030flowmetermaml.pdf](#)

El modelo serie 2030 medidor de flujo mecánico, es compacto, instrumento con el propósito generar de medir el flujo de ríos, estuarios, canales, desagües y aplicaciones de ultramar. Es ideal para determinar velocidad de agua, volumen o distancia.

El molinete incorpora un rotor de precisión fundido directamente a un contador de seis dígitos, el cual registra cada revolución del rotor y lo presenta en un estilo similar al de un odómetro. El contador está localizado dentro del cuerpo del instrumento y es desplegado a través de una cobertura de plástico

Peso en el aire: 225 gramos (8 onzas).

Peso en agua: 113 gramos (4 onzas)

Materiales: Rotor de celcon, Celcon rotor. Nariz conica de bronce plateado-niquelado. Cuerpo de policarbonato. Rotor principal y el eje del engranaje de acero inoxidable

Dimensiones: 21.3 cm (8 3/8") largo completo. Diámetro del rotor standard: 6.98 cm (2 3/4").

Anexo 4. Frecuencia y Volumen comercial en m3 en rollo de especies LATIFOLIADAS por Hectarea, del Estrato Bosque de Frondosas

| Clase diamétrica | 20 - 29.9 | | 30 - 39.9 | | 40 - 49.9 | | 50 - 59.9 | | 60 - 69.9 | | 70 - 79.9 | | 80 - 89.9 | | 90 + | | TOTAL | |
|------------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|-------|-----------|--------|-----------|--------|-------|--------|--------|---------|
| | Frec. | Vol | Frec. | Vol | Frec. | Vol | Frec. | Vol | Frec. | Vol | Frec. | Vol | Frec. | Vol | Frec. | Vol | Frec. | Vol |
| Nombre común | 15.606 | 4.073 | 5.455 | 3.035 | 2.879 | 2.7 | 0.758 | 1.185 | 0.606 | 1.388 | 1.061 | 3.502 | 0.455 | 2.033 | 0.303 | 1.271 | 27.123 | 19.187 |
| Aguacatillo | 0.606 | 0.169 | 0.303 | 0.123 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.152 | 0.362 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.061 | 0.654 |
| Amate | 0.152 | 0.037 | 0.152 | 0.079 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.304 | 0.116 |
| Canelo | 0.758 | 0.206 | 0.455 | 0.287 | 0.303 | 0.022 | 0.152 | 0.222 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.668 | 0.735 |
| Cedro | 1.515 | 0.454 | 0.606 | 0.348 | 0.606 | 0.646 | 0.758 | 1.268 | 0.303 | 0.782 | 0.152 | 0.556 | 0.303 | 1.272 | 0.606 | 3.354 | 4.849 | 8.68 |
| Chichicaste | 0.455 | 0.119 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.455 | 0.119 |
| Ciprecillo | 1.061 | 0.27 | 0.909 | 0.54 | 0.606 | 0.043 | 0.606 | 1.027 | 0.152 | 0.245 | 0.909 | 2.79 | 0.758 | 2.605 | 0.606 | 3.167 | 5.607 | 10.687 |
| Cuje | 2.727 | 0.818 | 1.97 | 1.022 | 1.212 | 0.087 | 0.455 | 0.661 | 0.758 | 1.662 | 0.455 | 1.434 | 0.152 | 0.611 | 0.152 | 0.76 | 7.881 | 7.055 |
| Encino | 26.818 | 6.95 | 17.424 | 9.417 | 13.49 | 3.99 | 3.939 | 6.248 | 3.182 | 7.479 | 2.576 | 7.97 | 3.182 | 14.429 | 4.394 | 24.612 | 75 | 81.095 |
| Fruita de paloma | 0.909 | 0.255 | 0.455 | 0.304 | 0.152 | 0.095 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.516 | 0.654 |
| Guamuso | 0.606 | 0.152 | 0.152 | 0.062 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.758 | 0.214 |
| Huife | 0.152 | 0.037 | 0.152 | 0.096 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.304 | 0.133 |
| Jocotillo | 0.303 | 0.074 | 0.152 | 0.053 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.455 | 0.127 |
| Laurel | 0.606 | 0.177 | 0.303 | 0.132 | 0.152 | 0.011 | 0.152 | 0.241 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.213 | 0.561 |
| Limoncillo | 0.909 | 0.255 | 0.152 | 0.079 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.061 | 0.334 |
| Liquidambar | 5.455 | 1.488 | 4.091 | 2.14 | 1.97 | 0.141 | 0.152 | 0.325 | 0.606 | 1.798 | 0 | 0 | 0.152 | 0.811 | 0 | 0 | 12.428 | 6.703 |
| Mano de leon | 0.455 | 0.123 | 0.152 | 0.096 | 0.152 | 0.109 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.759 | 0.328 |
| Mescal | 0.909 | 0.251 | 0.455 | 0.287 | 0.455 | 0.032 | 0.152 | 0.22 | 0.152 | 0.245 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.152 | 0.635 | 1.67 |
| Morro | 1.667 | 0.452 | 0.758 | 0.427 | 0.303 | 0.022 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.728 | 0.901 |
| Palo amarillo | 0.758 | 0.184 | 0.909 | 0.472 | 0.455 | 0.032 | 0.152 | 0.262 | 0.303 | 0.723 | 0.152 | 0.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.729 | 2.073 |
| Palo blanco | 11.97 | 3.294 | 8.333 | 4.648 | 4.848 | 3.317 | 1.364 | 2.17 | 0.455 | 1.027 | 0.758 | 2.702 | 0.152 | 0.711 | 0 | 0 | 27.88 | 17.869 |
| Palo rojo | 0.606 | 0.147 | 0.303 | 0.191 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.909 | 0.338 |
| Palo sangre | 9.545 | 2.68 | 6.667 | 3.817 | 2.727 | 1.961 | 0.606 | 0.923 | 0.455 | 1.202 | 0.455 | 1.356 | 0.303 | 1.472 | 0 | 0 | 20.768 | 13.411 |
| Pata de chunto | 2.879 | 0.72 | 0.303 | 0.166 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.182 | 0.886 |
| Pimiento | 6.515 | 1.685 | 5 | 2.68 | 2.273 | 0.919 | 0.152 | 0.262 | 0.606 | 1.388 | 0.455 | 1.278 | 0.152 | 0.811 | 0 | 0 | 15.153 | 9.023 |
| Pino | 1.061 | 0.266 | 0.455 | 0.236 | 0.303 | 0.022 | 0.606 | 1.153 | 0.152 | 0.449 | 0 | 0 | 0.152 | 0.711 | 0.303 | 1.896 | 3.032 | 4.733 |
| Siete cueros | 5.152 | 1.488 | 3.333 | 1.942 | 2.121 | 0.6 | 0.758 | 1.268 | 0.606 | 1.595 | 0.303 | 1.151 | 0.606 | 2.444 | 0 | 0 | 12.879 | 10.428 |
| Zapotillo | 7.727 | 2.148 | 3.939 | 2.197 | 1.212 | 0.661 | 0.303 | 0.398 | 0.152 | 0.245 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.333 | 5.649 |
| Zorro | 0 | 0 | 0.152 | 0.113 | 0.152 | 0.179 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.304 | 0.292 |
| XX | 0.758 | 0.205 | 0.455 | 0.278 | 0.455 | 0.173 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.668 | 0.656 |
| TOTAL | 108.64 | 29.177 | 63.945 | 35.267 | 36.82 | 15.762 | 11.065 | 17.831 | 8.64 | 20.53 | 7.276 | 23.139 | 6.367 | 27.91 | 6.516 | 35.695 | 249.27 | 205.311 |

Anexo 5. Volumen del bosque de coníferas con base en DAP

| CATEGORIA | | POR 1 Ha. | | POR ESTRATO | | FRECUENCIA | |
|---------------|--------|------------|--------------|----------------|----------------|-------------|-------|
| D.A.P. | Altura | Frec. | Volumen | Frec. | Volumen | Relativa | Acum. |
| 12.0 | 11.3 | 45 | 3.3 | 68,690 | 4,993 | 3% | 3% |
| 17.0 | 14.8 | 49 | 7.3 | 73,986 | 11,045 | 6% | 8% |
| 22.0 | 17.1 | 47 | 12.3 | 70,657 | 18,610 | 10% | 18% |
| 27.0 | 18.9 | 42 | 17.7 | 63,395 | 26,780 | 14% | 32% |
| 32.0 | 20.2 | 32 | 20.1 | 49,021 | 30,411 | 16% | 47% |
| 37.0 | 21.2 | 19 | 16.2 | 28,444 | 24,511 | 13% | 60% |
| 42.0 | 22.1 | 13 | 15.2 | 20,123 | 22,998 | 12% | 72% |
| 47.0 | 22.8 | 7 | 10.0 | 10,288 | 15,130 | 8% | 80% |
| 52.0 | 23.3 | 5 | 9.7 | 8,019 | 14,676 | 8% | 87% |
| 57.0 | 23.8 | 3 | 6.0 | 4,085 | 9,078 | 5% | 92% |
| 62.0 | 24.3 | 2 | 4.8 | 2,723 | 7,262 | 4% | 96% |
| 67.0 | 24.6 | 1 | 2.1 | 1,059 | 3,177 | 2% | 97% |
| 72.0 | 24.9 | 0 | 1.5 | 605 | 2,270 | 1% | 99% |
| 77.0 | 25.2 | 0 | 0.7 | 303 | 1,059 | 1% | 99% |
| 82.0 | 25.5 | 0 | 1.1 | 303 | 1,664 | 1% | 100% |
| TOTAL: | | 266 | 128.0 | 401,702 | 193,664 | 100% | |

Anexo 6. Boleta de Inventario Forestal –Coníferas-

Finca _____ No. Parcela _____ Fecha _____ Acceso _____

Pendiente (%) _____ Responsable _____ Ubicación _____

Duración (Hrs.) _____

Especie:

| C - D | DAP | Frecuencia | Cantidad | Arboles tipo | | | |
|-------|-----|------------|----------|--------------|---------|------|--------------|
| | | | | DAP | Corteza | Edad | Altura total |
| 10-14 | 12 | | | | | | |
| 15-19 | 17 | | | | | | |
| 20-24 | 22 | | | | | | |
| 25-29 | 27 | | | | | | |
| 30-34 | 32 | | | | | | |
| 35-39 | 37 | | | | | | |
| 40-44 | 42 | | | | | | |
| 45-49 | 47 | | | | | | |
| 50-54 | 52 | | | | | | |
| 55-59 | 57 | | | | | | |
| 60-64 | 62 | | | | | | |
| 65-69 | 67 | | | | | | |
| 70-74 | 72 | | | | | | |
| 75-79 | 77 | | | | | | |
| 80-84 | 82 | | | | | | |

Especie:

| C - D | DAP | Frecuencia | Cantidad |
|-------|-----|------------|----------|
| 10-14 | 12 | | |
| 15-19 | 17 | | |
| 20-24 | 22 | | |
| 25-29 | 27 | | |
| 30-34 | 32 | | |
| 35-39 | 37 | | |
| 40-44 | 42 | | |
| 45-49 | 47 | | |
| 50-54 | 52 | | |
| 55-59 | 57 | | |
| 60-64 | 62 | | |
| 65-69 | 67 | | |
| 70-74 | 72 | | |
| 75-79 | 77 | | |
| 80-84 | 82 | | |

Especie:

| C - D | DAP | Frecuencia | Cantidad |
|-------|-----|------------|----------|
|-------|-----|------------|----------|

| | | | |
|-------|----|--|--|
| 10-14 | 12 | | |
| 15-19 | 17 | | |
| 20-24 | 22 | | |
| 25-29 | 27 | | |
| 30-34 | 32 | | |
| 35-39 | 37 | | |
| 40-44 | 42 | | |
| 45-49 | 47 | | |
| 50-54 | 52 | | |
| 55-59 | 57 | | |
| 60-64 | 62 | | |
| 65-69 | 67 | | |
| 70-74 | 72 | | |
| 75-79 | 77 | | |
| 80-84 | 82 | | |

Anexo 7. Boleta de Inventario Forestal – Latifoliadas -

Fecha _____
Ubicación _____

No. Parcela _____
Acceso _____

Responsable _____

| Especie | 20-30 | >30-40 | >40-50 | >50-60 | >60-70 | >70-80 | >80-90 | >90 |
|-----------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| Aguacatillo | | | | | | | | |
| Amate | | | | | | | | |
| Canelo | | | | | | | | |
| Cedrillo | | | | | | | | |
| Cedro | | | | | | | | |
| Chichicaste | | | | | | | | |
| Ciprecillo | | | | | | | | |
| Cuje | | | | | | | | |
| Encino | | | | | | | | |
| Fruta de paloma | | | | | | | | |
| Guamuzo | | | | | | | | |
| Huite | | | | | | | | |
| Jocotillo | | | | | | | | |
| Laurel | | | | | | | | |
| Limoncillo | | | | | | | | |
| Liquidambar | | | | | | | | |
| Mano de León | | | | | | | | |
| Mescal | | | | | | | | |
| Morro | | | | | | | | |
| Palo Amarillo | | | | | | | | |
| Palo blanco | | | | | | | | |
| Palo rojo | | | | | | | | |
| Palo sangre | | | | | | | | |
| Pata de chunto | | | | | | | | |
| Pimiento | | | | | | | | |
| Pino | | | | | | | | |
| Siete cueros | | | | | | | | |
| Tronador | | | | | | | | |
| Zapotillo | | | | | | | | |
| Zorro | | | | | | | | |
| Otro1 | | | | | | | | |
| Otro2 | | | | | | | | |
| Otro3 | | | | | | | | |