FIPA/AID

USAID

# VALORACION ECONOMICA DEL SERVICIO AMBIENTAL DE REGULACION HIDRICA

## *LADO SUR DE LA RESERVA DE LAS BIOSFERA SIERRA DE LAS MINAS, GUATEMALA*


***BASADO EN LA LABOR DE:***
***Oscar Hernández, Carlos Cobos, Ariel Ortiz***


***Guatemala, septiembre de 2002***

# RESUMEN EJECUTIVO

El estudio "Valoración Económica del servicio ambiental de regulación hídrica, Sierra de las Minas, Guatemala", tiene como propósito estimar una tarifa de agua (US $ / m3) por el servicio de regulación hídrica del bosque "efecto esponja"[1], a través de la aplicación de técnicas de valoración de servicios ambientales basadas en precios de mercado. Los datos de producción de agua por el efecto del bosque se obtienen a partir de la aplicación de un modelo hidrológico que determina los cambios en caudal a lo largo del año (invierno y verano) debido a variaciones en la superficie del bosque.

El estudio ha sido conducido en la Reserva de la Biosfera de la Sierra de las Minas –RBSM-, lado sur, Guatemala, ha requerimiento del Programa de Fortalecimiento Institucional de Política Ambiental (FIPA/AID). El principal supuesto del modelo es que el volumen total de agua producido en la cuenca es constante, y que las fluctuaciones se presentan entre invierno y verano; esto ha sido confirmado para el lado sur de Sierra de las Minas, de acuerdo a estudios conducidos anteriormente (Brown, M. Et al 1996; Hernández, O, 2001).

Los alcances del estudio se orientan a la generación de información básica para la formulación de políticas de compensación y formulación de un programa de pago por servicios ambientales. El valor se establece a partir de la construcción de proyecciones económicas, para dos escenarios:

a) El precio mínimo del agua "producida" por la cobertura forestal actual, que incluye desde la perspectiva de la escasez (verano), el costo de oportunidad del suelo cubierto con bosque (en función del valor de la madera e introducción de ganadería), y el costo de protección del mismo para que mantenga el caudal actual, y basada en el exceso (invierno) el aporte por reducción de la tasa de retorno de la ocurrencia de daños a la infraestructura vial.
b) El precio mínimo que debería el costo marginal del agua durante el verano, ocasionado por la reforestación de la zona de recarga hídrica, debitando el costo de establecimiento del bosque y la compra de la tierra ubicada entre la zona de recarga hídrica; y adicionado en la época de invierno, por la reducción de la tasa de retorno de la ocurrencia de daños a la infraestructura vial.

La metodología consistió en la determinación y cuantificación de variables biofísicas (distribución, tipos, y volúmenes de bosques, caudales en verano e invierno en función de cambios en la cobertura forestal) y la construcción de proyecciones financieras a veinte años plazo que simulan dos escenarios: el valor del agua producida por el bosque actual, y el valor del agua producida por la reforestación de la zona de recarga hídrica (zona núcleo y zona de uso sostenido).
Los resultados indican que la eliminación de la cobertura forestal afecta el caudal a lo largo del año de la siguiente manera: en verano presenta una reducción del 12% del agua del río, y en invierno disminuye a un 50% la vida útil de la infraestructura vial (puentes);

[1] Fenómeno que implica que el efecto del bosque sobre los caudales consiste que en la época de lluvias el agua es retenida y liberada lentamente durante la época de verano

la reforestación de la zona núcleo y zona de uso sostenido (24,668 ha) correspondientes a la zona de recarga hídrica, incrementa el caudal en verano en el orden del 7%.

Las tarifas del servicio ambiental de regulación hídrica son: para la cobertura actual del bosque de US $ 0.04 / m3 agua, lo cual corresponde a un valor por hectárea de bosque US $ 201.85/año; y para el escenario de reforestación de US $ 0.01 / m3 agua, lo cual corresponde un valor por hectárea de bosque 171.28/año. La determinación del costo del metro cúbico de agua tiene como propósito conformar un mecanismo de precios para modificar el comportamiento de productores y consumidores en el uso del agua, reduciendo la brecha entre usuarios aguas arriba y aguas debajo de la cuenca.

Respecto a la producción hídrica promedio (m3 agua /ha), el volumen de agua es mayor en las áreas que se propone reforestar, que en las de bosque actual (12,656 m3/ha comparados con 5,205 m3/ha respectivamente), esto se debe a que se ha eliminado bosque ubicado en la zona de recarga hídrica. Los beneficios obtenidos por la reducción del caudal durante la época de invierno, corresponden a US $ 6,900,801.00, lo cual corresponde a un valor anual por hectárea con bosque de US 20.58/año a valores constantes durante 20 años. La información generada indica que la formulación de políticas ambientales para Sierra de las Minas y zonas protegidas con características similares deben orientarse a incentivar la restauración hidrológica de las cuencas a través de programas de reforestación de las áreas ubicadas en la zona de recarga hídrica.

Se espera que el estudio sea un insumo técnico que fortalezca la toma de decisiones “informadas”, a favor del equilibrio entre aprovechamiento y conservación de los recursos naturales, y que a la vez, favorezca la reducción de la brecha existente entre usuarios aguas arriba y aguas debajo de la cuenca. Sin embargo, estamos conscientes que el enfoque (economía ambiental) contribuye a reducir las fallas de mercado, pero no las corrige de causa, por lo cual se requiere trascender ésta frontera de conocimiento y aplicación económica, para incluir de manera consciente los activos ambientales al momento de tomar decisiones de asignación sobre los recursos naturales para evitar efectos irreversibles; finalmente reconocemos que es necesario efectuar estudios más exhaustivos que permitan proveer mejores indicadores para la planificación de políticas de mediano y largo plazo.

## CONTENIDO


1 Introducción ..... 1
2 Objetivos ..... 1
2.1 General ..... 1
2.2 Específicos ..... 2
3 Metodología ..... 2
3.1 Variables biofísicas ..... 2
3.1.1 Elaboración del mapa de cobertura boscosa ..... 2
3.1.2 Estimación del volumen del bosque ..... 2
3.1.3 El modelo hidrológico ..... 3
3.1.3.1 Supuestos del modelo ..... 3
3.1.3.2 Estructura ..... 5
3.1.3.2.1 Capas Permanentes: ..... 5
3.1.3.2.2 Capas que cambian con el Tiempo ..... 6
3.1.3.2.3 Capas que cambian con la Modelación ..... 6
3.1.3.3 Entradas/salidas ..... 7
3.2 Procesos de valoración económica ..... 7
3.2.1 Valoración del servicio de regulación hídrica durante el verano ..... 7
3.2.1.1 Construcción de escenarios con cobertura forestal ..... 7
3.2.1.2 Construcción de proyecciones financieras ..... 8
3.2.1.2.1 Valor del agua en función del bosque actual ..... 9
3.2.1.2.2 Valor del agua en función de reforestación ..... 10
3.2.1.3 Consideraciones y supuestos del modelo económico ..... 10
3.2.2 Valoración del servicio de regulación hídrica durante invierno ..... 11
3.2.2.1 Costos de reemplazo de infraestructura vial ..... 11
3.2.3 Valor de la tierra con acceso a agua (demanda) ..... 12
4 Resultados ..... 13
4.1 Variables biofísicas ..... 13
4.1.1 Uso de la tierra y tipos de bosque ..... 13
4.1.2 Estimación del efecto del bosque sobre el caudal ..... 13
4.1.3 Estimación del volumen del bosque ..... 15
4.1.3.1 Bosque de coníferas y mixto ..... 16
4.1.3.2 Bosque de latifoliadas ..... 18
4.2 Valoración económica del servicio de regulación hídrica ..... 19
4.3 Perspectiva del déficit hídrico ..... 19
4.3.1 Valor del agua en función del bosque actual ..... 20
4.3.1.1 Costo de oportunidad del suelo con bosque ..... 20
4.3.1.2 Costo de protección del bosque ..... 20
4.3.1.3 Tarifa del metro cúbico de agua, situación actual ..... 21
4.3.2 Valor del agua en función de reforestación ..... 23
4.3.2.1 Costo de reforestación ..... 23
4.3.2.2 Tarifa del metro cúbico de agua, reforestación ..... 25
4.4 Perspectiva del exceso hídrico ..... 26
4.4.1 Costo de reemplazo de infraestructura vial ..... 26
4.4.2 El valor de la tierra con acceso a agua para riego ..... 27

4.5 Implicaciones del valor económico del servicio ambiental de regulación hídrica 28
4.5.1 Valor del agua en función de la situación actual (con y sin bosque)..... 28
4.5.2 Valor del agua en función de reforestación ..... 28
4.5.3 Valor del agua, desde la perspectiva de usuarios de riego..... 29
4.6 Fundamentos para una política de servicios ambientales ..... 30
5 Conclusiones ..... 31
6 Recomendaciones ..... 31
7 Bibliografía ..... 32
8 Anexos.....32
6

# 1 Introducción

El programa de Fortalecimiento Institucional de Política Ambiental ( FIPA / AID ) incluye dentro de sus líneas de acción la búsqueda de alternativas económicas que generen ingresos a la población rural, sin deterioro de los recursos naturales.

Dentro de éste marco, la valoración económica de servicios ambientales es un tema relevante para el diseño de instrumentos de política que promuevan la protección de los bosques y conserven la biodiversidad que albergan; actualmente, el servicio ambiental con mayor demanda en Guatemala es el de "regulación hídrica", sobre todo en regiones áridas como el Valle del Motagua (localizado en RBSM[2]).

La presente consultoría prevé determinar el valor económico que generan los bosques en términos de "regulación hídrica". El mecanismo de asignación de precios consiste en cuantificar y asignarle un valor económico al *efecto esponja* del bosque, el cual consiste en atrapar el agua durante los eventos extremos de precipitación en invierno, infiltrarla y liberarla lentamente durante la época de verano, incrementando el caudal de estiaje. El lugar de estudio corresponde al lado sur de Sierra de las Minas, focalizado en la cobertura forestal actual y su efecto en el caudal del río Motagua a lo largo del año.

Para lograr los objetivos planteados se aplicó un modelo hidrológico, el cual simulo las variaciones en el caudal del río Motagua, a partir de los cambios en la cobertura forestal. Se simularon tres escenarios: tala rasa, tala selectiva y reforestación. Con base en la variación de caudales, se procedió a determinar el precio de la unidad de agua (US $ / metro cúbico), basado en los costos de oportunidad, protección y establecimiento del bosque.

Este estudio de valoración económica se realizó en dos fases consecutivas: la cuantificación biofísica de los recursos naturales (bosque, suelo y agua), y la aplicación de métodos de valoración económica a través de proyecciones financieras a veinte años plazo. El equipo de trabajo estuvo integrado por un administrador de cuencas, un economista ambiental, un asesor forestal, un hidrólogo y un experto en SIG, contando con el apoyo del equipo FIPA / AID.

# 2 Objetivos

## *2.1 General*

Estimar el valor económico del servicio ambiental de regulación hídrica (US $ / $m^3$) en el lado de Sur de la Sierra de las Minas para generar información técnica que sirva de base para la formulación de políticas sobre tarifas y mecanismos de pago por servicios ambientales.

[2] Reserva de la biosfera Sierra de las Minas

### *2.2 Específicos*

- ✓ Recolectar y analizar la **información biofísica** existente sobre cobertura forestal, caudales y la variación de caudales a lo largo del año debido a cambios en la cobertura forestal, en el lado Sur de Sierra de las Minas, Guatemala.
- ✓ Valorar el servicio ambiental de **regulación hídrica en verano**, a partir de simulaciones de variaciones del caudal ocasionadas por sustitución del bosque actual (costo de oportunidad + costo de protección) y reforestación (costo de establecimiento).
- ✓ Valorar el servicio ambiental de **regulación hídrica en invierno**, a partir de variaciones del caudal y su efecto en la ocurrencia de daños a la infraestructura vial (puentes) debido a inundaciones.
- ✓ Integrar la información del servicio de regulación hídrica: i) déficit hídrico (aporte del bosque durante verano)[3] y ii) exceso hídrico (daños evitados a la infraestructura por inundaciones)[4], para **estimar una tarifa** para la unidad de agua (US $ / $m^3$).

## 3 Metodología

El trabajo se condujo en dos fases:

a) Recopilación y análisis de las variables biofísicas bajo estudio: niveles de cobertura forestal y su efecto en los caudales mensuales durante el año.
b) Aplicación de métodos de valoración económica para establecer el valor del bosque, como regulador de los caudales de la cuenca del Motagua (déficit y exceso).

### *3.1 Variables biofísicas*

#### 3.1.1 Elaboración del mapa de cobertura boscosa

Los mapas elaborados de las áreas boscosas en la lado sur de Sierra de las Minas, se obtuvieron a partir de una superposición de dos juegos de mapas: a) la información digitalizada por la Fundación Defensores de la Naturaleza (escala 1:50,000), 1999, y b) los mapas generados por el proyecto ESPREDE/ MAGA (escala 1:250,000) 1995. Este procedimiento permitió determinar por completo las áreas cubiertas con bosque en la parte sur de Sierra de las Minas[5], las cuales drenan hacia el río Motagua.

#### 3.1.2 Estimación del volumen del bosque

La determinación del volumen de madera del bosque se hizo con fines de optimizar los recursos de tiempo y dinero. El volumen del bosque aprovechable comercialmente fue estimada por un especialista en la materia, quien a partir de inventarios forestales realizados durante fechas recientes en fincas ubicadas en el área, generó datos aproximados sobre el volumen de madera existente en tres tipos de bosque: coníferas, bosque mixto y bosque tropical frondoso. Los dos tipos de bosque restante, latífoliadas y bosque enano, no fueron sujetos a análisis debido a que están compuestos en su mayoría por especies sin valor comercial a la fecha (2002).

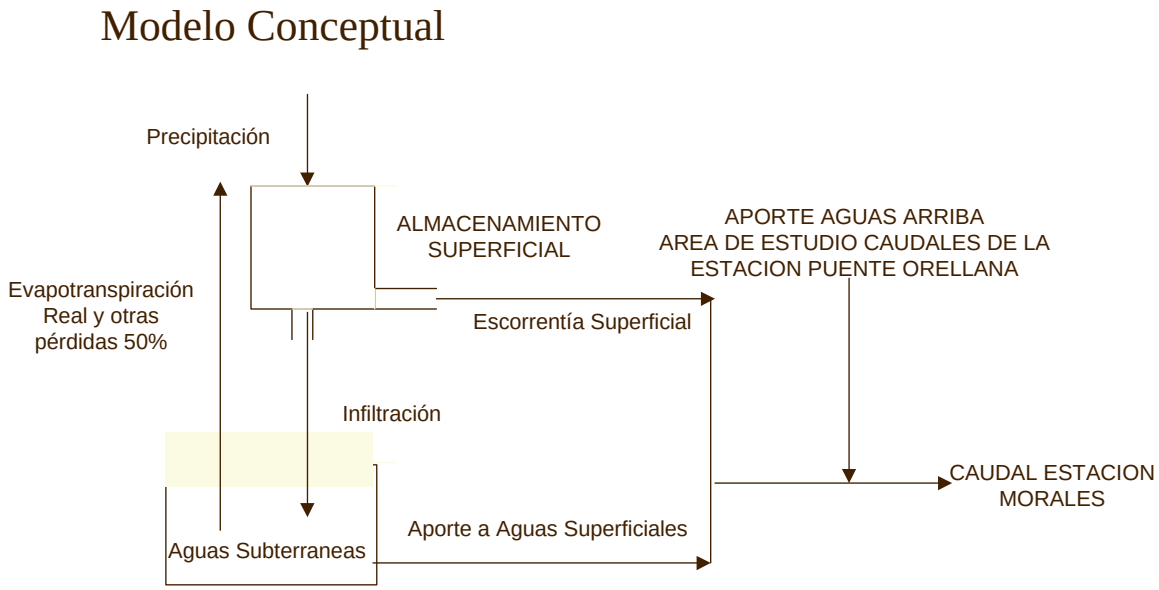
---

[3] Información generada por la presente consultoría
[4] Información tomada del estudio sobre valoración económica de desastres naturales, conducido por el Dr. Ariel Ortiz
[5] Esta labor fue realizada con la colaboración de Igor de la Roca y Gerrit Hernández.

### 3.1.3 El modelo hidrológico

El modelo consiste en un balance hídrico basado en el siguiente proceso esquemático para la cuenca del Río Motagua en el sector de Sierra de Las Minas. Sin embargo, la modelación del agua subterránea y el almacenamiento en el suelo no fue del todo adecuada por lo que el modelo conceptual se convirtió esencialmente en lo que se muestra en la Figura No.1 (para mayor información ver Anexo 10).

*Figura 1. Esquema Conceptual Final*



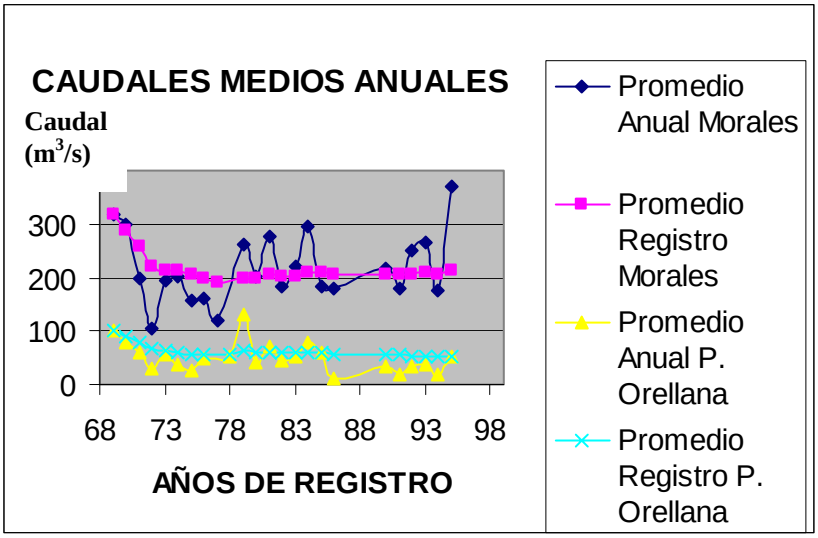

El modelo utiliza un Sistema de Información Geográfica, que genera los caudales utilizando "capas" de información las que se detallan en el inciso de estructura. Estas capas se cuadriculan, obteniéndose un valor específico para cada cuadro que representa sus características específicas

Básicamente se determina el volumen de agua que escurre para un determinado punto en el mapa (Estación Hidrológica) tomando en cuenta la escorrentía e infiltración que ocurren de acuerdo a las características físicas de cada elemento de la cuadricula.

#### 3.1.3.1 Supuestos del modelo

Es importante que no se pierda de vista que el objeto del modelo es predecir los **cambios relativos en los volúmenes de agua** que genera los cambios en la cobertura forestal, y no predecir exactamente el volumen de los caudales.

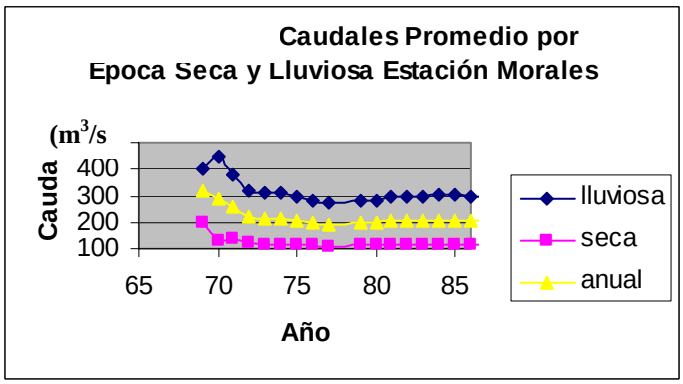
*Figura 2. Caudales medios anuales*




Al incrementar el registro, las variaciones de los caudales medios anuales a lo largo del tiempo empiezan a mostrar cambios significativos. La gráfica de la Figura 2 muestra una reducción (un 12%) del caudal medio en los últimos 8 años para la estación Puente Orellana.

Por otro lado, la de Morales muestra incrementos y decrementos en el mismo período, con una leve tendencia al incremento. Esto nos indica que la falta de control, sobreexplotación del recurso agua y la complejidad de usos de la tierra en la cuenca aguas arriba del Puente Orellana ya esta produciendo efectos negativos en los caudales del río Motagua. Por otro lado el comportamiento de los caudales en Morales muestra un comportamiento con variaciones normales debido a la diferencia de precipitación en cada año. Si se separan los caudales de la época seca y la época lluviosa se obtiene la gráfica de la Figura 3.

*Figura 3. Caudales promedio por épocas, Estación Morales*



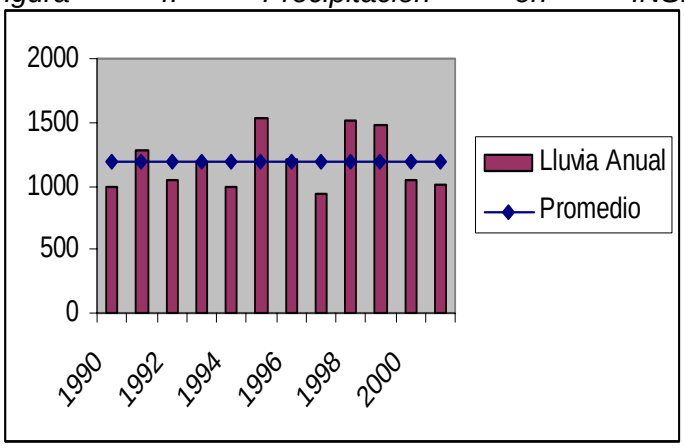

Como se puede observar en términos de caudal medio anual prácticamente se mantiene estable. Pero el caudal de época lluviosa parece tener una pequeña tendencia al aumento, mientras la época seca presenta una pequeña reducción. Esto confirma la suposición anterior que la cobertura forestal y los cambios de uso de la tierra afectan el comportamiento estacional del agua pero no la cantidad total.

Por otro lado la precipitación anual de la estación INSIVUMMEH que se muestra en el Cuadro 1 y la Figura 4, reflejan la variación año con año, como se puede observar hay déficit o incrementos del 20 al 30 % con respecto al promedio.

**Cuadro 1. Precipitación anual en la estación INSIVUMEH**

| Año | mm | % |
|---|---|---|
| 1990 | 998.3 | -16% |
| 1991 | 1286.5 | 9% |
| 1992 | 1036.5 | -13% |
| 1993 | 1190.5 | 0% |
| 1994 | 988.2 | -17% |
| 1995 | 1523.7 | 29% |
| 1996 | 1214 | 2% |
| 1997 | 940.7 | -21% |
| 1998 | 1508.5 | 27% |
| 1999 | 1475.3 | 24% |
| 2000 | 1049.2 | -11% |
| 2001 | 1014.5 | -14% |

*Figura 4. Precipitación en INSIVUMEH*




Esto nos permite inferir que para determinar los efectos producidos por el cambio de la cubierta forestal es mejor utilizar la precipitación promedio de un periodo largo de registro, para no tener el sesgo que produciría utilizar un año especifico en particular. En este sentido se utilizaran las isoyetas medias mensuales generadas por el MAGA.

Con este razonamiento, el modelo deberá reflejar el cambio estacional producido por los cambios de uso de suelo. Entonces se utilizaran las isoyetas medias mensuales para la región de los mapas digitales del MAGA. Estas isoyetas tienen la ventaja de que fueron elaboradas con todos los datos disponibles de lluvia y fueron trazadas tomando en cuenta las condiciones orográficas. Además representan el comportamiento de la lluvia para un período de más de diez años y no solo el de un año en especial.

El almacenamiento va a depender en el modelo exclusivamente de las características del suelo, pues la información geológica del área es muy limitada.

### 3.1.3.2 Estructura

Para estructurar el modelo en función de GIS se necesitan definir las capas y su modo de operación en el modelo. Podemos dividir las capas, en aquellas que son permanentes, las que cambian en el tiempo, y las que cambian por la modelación.

#### *3.1.3.2.1 Capas Permanentes:*

**Topografía y Modelo de Elevación Digital**: La curvas de nivel de la topografía se obtuvieron del mapa digital del MAGA y se realizó una Red de Triangulación Irregular (TIN) para generar un modelo de elevación digital (DEM). El TIN se convirtió a una cuadricula (GRID) de 100 por 100 metros y fue revisada para encontrar agujeros producidos por la interpolación.

**Dirección de Flujo:** En base al DEM se genera el mapa de dirección de flujo, utilizando la función de FlowDirectión de ArcView. Esta función define la dirección de flujo en cada celda, para determinar hacía donde se dirige el flujo, dándole un código para cada una de las ocho celdas vecinas, determinando las direcciones finales de flujo.

**Cuencas:** Se delimitaron las cuencas con base a los datos de la topografía digital.

**Suelos:** El mapa de suelos base que se utilizó fue el digitalizado por el MAGA.

**Cobertura y Uso de la Tierra:** Como ya se mencionó, aquí se utilizo el mapa generado (escala 1:50,000) por Defensores de la Naturaleza, que incluye las coberturas del período 1995-1999. A pesar de ello, como el lado sur de la cuenca en estudio cubre un área más amplia que la del mapa de Defensores, en las zonas complementarias se aplico el mapa del MAGA.

**Clasificación Hidrológica de los Suelos:** Se clasificaron los suelos de acuerdo al Cuadro 2, con base al mapa de suelos.

**Cuadro 2. Clasificación Hidrológica de Tipo de Suelo**

| Tipo de Suelo | Textura del Suelo |
|---|---|
| A | Arenas con poco limo y arcilla |
| B | Arenas finas y limo |
| C | Arenas muy finas, limo, suelos con alto contenido de arcilla |
| D | Arcillas en grandes cantidades, suelos poco profundos con subhorizontes de roca sana, suelos muy impermeables |

**Clasificación Hidrológica de las Coberturas:** Se clasificaron las coberturas en una distribución más simplificada de acuerdo a un criterio hidrológico.

*3.1.3.2.2 Capas que cambian con el Tiempo*

**Precipitación:** Se usaron las isoyetas medias mensuales del mapa 1:250,000 digitalizado para la región, y se convirtieron a "GRID" de 100x100 metros. Una para cada mes.

**Evapotranspiración:** Se calculó la Evapotranspiración basada en la temperatura media anual debido a la escasa variación de temperatura en la región de Sierra de Las Minas. Se utilizó el Método de Thorntwaite con los ajustes necesarios por latitud y mes del año. Se genero un mapa de evaporación mensual.

*3.1.3.2.3 Capas que cambian con la Modelación*

**Infiltración:** En base al tipo de material y utilizando el criterio de la oficina de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USSCS) se determinaron los coeficientes N de los diferentes suelos, de acuerdo al mapa de suelos y al de cobertura vegetal, creando un mapa de factores N. Se genero un mapa para la condiciones secas, otro para las saturadas y otro para las normales. Además se genera un mapa para los factores con bosque y sin bosque.

**Precipitación Efectiva:** Aplicando la formula de infiltración del USSCS en mm para la escorrentía efectiva:

$$Pe = ((P-5080/N +50.80)^2) / (P +20320/N-203.2)$$

Entonces se operan los mapas de la precipitación mensual utilizando los valores de infiltración del mapa de infiltración. Por la cantidad de precipitación sobre todo en los meses secos no hay escorrentía efectiva, y la mayoría de lluvia se infiltra. El resultado de esta operación es el mapa de Precipitación Efectiva, es decir de la precipitación que se convierte directamente en escorrentía.

**Escurrimiento:** La lluvia efectiva se convierte a metros cúbicos por unidad de área. Como el GRID es de 100* 100 metros los milímetros de precipitación efectiva se multiplican por 10 para obtener el volumen en metros cúbicos. Con base al mapa de Dirección de Flujo y el de Precipitación Efectiva se obtiene el mapa de Acumulación de Flujo, utilizando la función de FlowAccumulation de ArcView. Esta función define el flujo que se acumula en cada celda proveniente de otras, generando un esbozo de la red de drenajes.

#### 3.1.3.3 Entradas/salidas

Para calcular es necesario hacer el proceso mensual, para cada mes es necesario tener las siguientes capas en cuadrícula: ubicación estaciones Hidrológicas, Precipitación, Infiltración, y Dirección de Flujo.

Al ejecutar la subrutina, se estableció que genera algunas capas intermedias que finalmente producen los caudales mensuales en $m^3/s$ para cada estación. Estos son trasladados manualmente a una hoja electrónica construida para el efecto, que termina de ejecutar los resultados para tomar en cuenta el efecto del agua subterránea, obteniendo los caudales finales mensuales en forma de cuadro y gráfica.

## *3.2 Procesos de valoración económica*

### 3.2.1 Valoración del servicio de regulación hídrica durante el verano

La valoración consistió en definir distintos escenarios de cobertura forestal, y calcular el efecto del cambio de la cobertura forestal sobre los caudales. Con base en la variación de volumen de agua durante verano se procedió a establecer los costos de “producción” de agua: costos de oportunidad, de protección y de establecimiento del bosque (Dixon, et al 1999).

#### 3.2.1.1 Construcción de escenarios con cobertura forestal

La asignación de valor al servicio ambiental de regulación hídrica durante la época de verano, se obtuvo a través de la aplicación de tres métodos de valoración de servicios ambientales, los cuales emplean precios de mercado: costo de oportunidad, costo de mantenimiento y costo de establecimiento.

Con base en el escenario “actual” se realizaron cambios en la cobertura forestal, definiendo tres escenarios adicionales: Tala rasa, tala selectiva y reforestación.

*Cuadro 3. Simulación de escenarios con superficie distinta de bosque, y su efecto en los caudales de verano*

| Categoría de manejo | Cobertura | Superficie (ha) | Reforestación | Situación Actual | Tala selectiva | Tala rasa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Zona núcleo, lado sur de S. M.*** | **Bosque aprovechable** | **29,070** | | | | |
| | **Bosque no aprovechable** | **11,619** | | | | |
| | **Sin bosque** | **10,811** | | | | |
| ***Areas fuera zona núcleo, lado sur de S. M.*** | **Con bosque** | **19,287** | | | | |
| | **Sin bosque (hasta zona de uso sostenido)** | **13,857** | | | | |
| | **Sin bosque (zona uso sostenido hasta el río)** | **84,199** | | | | |
| | **Total** | **168,843** | | | | |
| ***Impacto en caudal de estiaje*** | **Diferencia en caudales** | **miles $m^3$** | **+245,412** | **Patrón** | **-26,411** | **-312,187** |
| | **Variación Caudales** | **%** | **7%** | **Patrón** | **-1%** | **-12%** |

Tal como se observa en la primera sección del cuadro anterior, a partir de la columna "situación actual" se definieron tres escenarios (tala rasa, tala selectiva o reforestación), en los cuales el bosque se taló (color rojo) o se realizó reforestación (color verde claro); el color verde oscuro corresponde a las áreas con bosque original, y el color gris a las áreas que actualmente no están cubiertas con bosque. El límite espacial de la simulación del escenario de reforestación fue el limite inferior de la zona de uso sostenido, debido a que tiene una alta coincidencia con la zona de recarga hídrica.

La segunda sección del cuadro anterior corresponde al impacto en el caudal de estiaje (época de Enero a Junio) debido a un cambio en la cobertura forestal. Los cambios de caudal relevantes respecto a la situación actual (patrón), correspondieron al escenario de tala rasa y reforestación (-12% y +7% correspondiente), razón por la cual se decidió emplearlos como base para las dos proyecciones económicas correspondientes. El escenario de tala selectiva solamente afectó en un despreciable -1% el caudal durante el verano, debido a que no se eliminaba el área correspondiente a bosque latifoliado y bosque enano (zonas de alta recarga hídrica), por lo cual se decidió no realizar la proyección económica respectiva.

### 3.2.1.2 Construcción de proyecciones financieras

Las proyecciones financieras determinan el valor del servicio ambiental de *regulación hídrica* durante el verano en un plazo de veinte años, a partir de dos variantes:

- ✓ El precio mínimo que debería tener el agua "producida" por la cobertura forestal, incluyendo el costo de oportunidad del suelo cubierto con bosque (en función del valor de la madera e introducción de ganadería), y el costo de protección de la cobertura forestal para que se mantenga el caudal actual.

- ✓ El precio mínimo que debería tener el costo marginal del volumen de agua "producido" por la reforestación de la zona de recarga hídrica, incluyendo el costo de establecimiento del bosque y la compra de la tierra ubicada entre el límite de la zona núcleo y zona de usos sostenido. El valor de la tierra sin bosque que se halla ubicada dentro de la zona núcleo se asume que no tienen precio de mercado, debido a que el único uso posible es el forestal.

*3.2.1.2.1 Valor del agua en función del bosque actual*

Los costos del volumen de agua producido por efecto de la cobertura forestal se establecen a partir de dos factores: el dinero que deja de percibir el propietario ó administrador del bosque por conservarlo: venta de madera y explotación de ganadería extensiva (costo de oportunidad); más el costo de mantener el bosque en las áreas actuales (costo de protección).

Respecto al primer factor del valor, se determina el C*osto de oportunidad (CO)* del área con bosque, asumiendo que se hace un aprovechamiento total de los árboles; dado que existen cinco tipos de bosque (coníferas, enano, nuboso latifoliado y subtropical latifoliado), se prevé una tala y venta del bosque con potencial comercial (coníferas, mixto y latifoliado subtropical), y una tala o quema del bosque nuboso y enano. Para estimar el segundo componente, se determina el *Costo de Protección (CP)* del bosque, mediante la inversión en labores de protección /conservación. 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 cuenca 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, consumo humano y producción eléctrica primaria.
Los ingresos provienen de la venta de servicios ambientales, que para efectos del estudio se circunscriben a regulación hídrica. Dado que a partir de los datos del modelo hidrológico se conoce el volumen de agua "producido" por la cobertura forestal, la incógnita es el precio de la unidad de agua (US $ / $m^3$).

El valor del precio del agua se estableció por medio de una casilla iteractiva en la planilla Excel, a través de la cual el precio multiplicado por el volumen de agua "producida" (valor del agua), compensa los beneficios actualizado a precios de hoy del CO + CP.

**Volumen de agua (US $ ) =Valor de compensación CO +CP (US $)**

**Valor del agua = Volumen de agua ($m^3$) X precio ¿? (US $ / $m^3$)**

La proyección financiera contiene información sobre la frecuencia y volumen del bosque (coníferas + latifoliado subtropical), valor de las labores ganaderas, rendimientos, costos y precios de la madera (Quirós, D y Gómez, M, 1998) y la información de ganado, incluyen precios de compra de cabezas, plan profiláctico, mano de obra y venta de las cabezas en pie.

*3.2.1.2.2 Valor del agua en función de reforestación*

Los costos de protección del bosque se determinan en función de los costos globales de administración y establecimiento y manejo de la nueva plantación. La información se obtuvo a partir de entrevistas con técnicos de las Fundación *D*efensores de la Naturaleza y revisión de fuentes secundarias. Durante los primeros años se realizan las inversiones mayores (compra de vehículos, equipo y construcción de instalaciones de control), en los años siguientes se brinda mantenimiento a las inversiones y/o se reemplazan. Además, se implementa el plan de manejo del bosque con fines de protección. En éste caso no se contabilizan costos por manejo de conflictos sociales, debido a que se asume que no existirá presión de la tierra por parte de las comunidades de la cuenca, por se generan fuentes de empelo, al inicio por las labores de reforestación, y cuando la plantación esté establecida el flujo de agua durante verano aumentará y se habilitarán nuevas áreas con riego para la producción agrícola.

**+ Volumen de agua (US $ ) = Costos de reforestación (US $)**

**Valor del agua (US $) = Volumen de agua ($m^3$) X precio ¿? (US $ / $m^3$)**

En la planilla electrónica se consideró el rubro de ingresos a partir de la venta de los servicios ambientales que el bosque brinda; con base a consulta con expertos se decidió aplicar el valor exclusivamente al servicio de regulación hídrica; la razón es que se consideró que actualmente es el único servicio ambiental que la sociedad percibe como escaso, sobretodo en éste caso, cuando por reforestación se aumenta el caudal de estiaje.

### 3.2.1.3 Consideraciones y supuestos del modelo económico

La duración de la serie de tiempo se definió de manera que durante el tiempo de simulación se pudiera representar aparte del valor del servicio ambiental de regulación hídrica durante verano, las externalidades durante la época de verano. Además, la tala rasa se simula durante un período de 5 años, dada la extensión del área a cortar (59,976 ha).

Los cálculos se realizaron en dólares norteamericanos por ser moneda dura con reducido efecto de inflación durante el tiempo. La tasa interna de retorno correspondió a 4%, con base en la tasa pasiva bancaria, en todo caso, debido a que se empleó una igualdad (utilidad del costo de oportunidad = utilidad de la venta de servicios ambientales), el valor empleado no afecta el resultado porque se emplea el mismo valor en ambos lados de la ecuación.

Los supuestos más importantes a partir de los cuales se construyeron las proyecciones financieras son:

- ✓ Las variaciones del caudal se basan en los resultados del modelo hidrológico, las cuales estiman únicamente “los cambios” ocasionados por un cambio de cobertura.

- ✓ Los cambios en el caudal a través del año, contemplan las variaciones entre la época de verano e invierno, y no a los cambios anuales.
- ✓ La venta del bosque comercial incluye aquellas especies con mercado actual; se asume que el incremento de la oferta de madera generada por la tala será absorbida por una empresa que se dedique al procesamiento de pulpa, por lo cual no tendrá un efecto en los precios.
- ✓ La zona de recarga hídrica, se establece haciendo coincidir en lo posible el mapa de zonas de recarga del MAGA, con los polígonos de uso de la tierra 1999, que se hallan en la zona núcleo y la zona de uso sostenido. La razón del ajuste, es que la capa que emplea el modelo para demostrar la variación de la cobertura corresponde al mapa de uso del suelo.
- ✓ La corta y venta del bosque del bosque comercial de coníferas se realiza en un periodo de 5 años de duración, extrayendo las especies con un DAP mayor de 17 centímetros.
- ✓ 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, con una carga animal de 0.5 animales / ha.
- ✓ Los datos de la cobertura forestal corresponden a información recabada en Sierra de las Minas, y que ha sido validada a criterio de los expertos como representativa de los tipos de bosque. Un inventario con una intensidad aceptable de muestreo (5%), requeriría una alta inversión de tiempo y recursos financieros.

### 3.2.2 Valoración del servicio de regulación hídrica durante invierno

El exceso de agua producido durante invierno en la cuenca, genera una serie de externalidades negativas que incluyen: destrucción de infraestructura vial (caminos y puentes), paralización de actividades productivas por incomunicación, costos de enfermedad, pérdida de terrenos fértiles cercanos al cauce del río, muerte de animales domésticos e incluso pérdida de vidas humanas. Para fines prácticos (disponibilidad de información y recurso tiempo), en el presente estudio se decidió determinar el efecto de la regulación de caudal durante la época de invierno, a través de uno de los impactos económicos mayores: daño a puentes.

#### 3.2.2.1 Costos de reemplazo de infraestructura vial

La estimación del costo evitado por daño a infraestructura vial fue estimado asumiendo que el mayor daño ocurre en puentes. La información utilizada para la estimación del costo evitado es la longitud de cada puente, en metros, y el costo mínimo y máximo por metro de puente construido[6]. El procedimiento de estimación se describe en la fórmula siguiente:

$$CMR = \sum_{i=1}^{15} \left[ (L_i) \left( \frac{(MN_i) + (MM_i)}{2} \right) \right]$$

[6] El costo estimado oscila entre Q 70,000.00 y Q 100,000.00 por metro lineal de puente de doble rodadura. Comunicación personal, Ingeniero Luis Leiva, Dirección General de Caminos, MICIVI.

**Donde:**

CMR es el costo medio de reposición de los puentes en la ruta CA-9 evitado por la conservación de la cubierta forestal de la RBSM;
$L_i$ es la longitud, en metros, del i-ésimo puente;
$MN_i$ es el costo mínimo de reposición del i-ésimo puente, en quetzales por metro; y,
$MM_i$ es el costo máximo de reposición del i-ésimo puente, en quetzales por metro.

La determinación de las tasas de retorno de la ocurrencia de daños a la infraestructura (50 años para la condición actual), se contabiliza en las proyecciones financieras de acuerdo a la periodicidad determinada por la reducción del agua durante la época de invierno

### 3.2.3 Valor de la tierra con acceso a agua (demanda)

Se entrevistó a 22 agricultores en el área del estudio, para obtener información sobre la diferencia de precio entre un área de tierra con disponibilidad de agua y un área de tierra sin disponibilidad de agua. Con los datos de precio de las tierras con y sin acceso a agua para riego se estimaron las medias. Posteriormente se estimó la diferencia entre ambas medias para determinar la diferencia de precio de las tierras en las condiciones comparadas.

Adicionalmente, se entrevistó a siete agricultores, de los cuales cinco poseen agua para riego en los terrenos y dos no la poseen, para determinar costos de producción e ingresos brutos por la venta de las cosechas. Con los datos de costos e ingresos se estimó el beneficio neto anual (en quetzales) de las tierras con riego y de las tierras sin riego. Posteriormente se calculó la diferencia entre el beneficio neto promedio de tierras con y tierras sin riego.

El costo de cultivar terrenos sin acceso a agua para riego se estimó de la siguiente manera:

$$CTSA = \sum_{i=1}^{3} \left[ (IB_i - CT_i \right] - \left( IBTSA - CTTSA \right);$$

**Donde:**
CTSA es el costo de cultivar un terreno sin acceso a agua para riego, en quetzales por hectárea;
$IB_i$ es el ingreso bruto generado por el i-ésimo cultivo plantado en terreno con acceso a agua para riego, en quetzales por hectárea;
$CT_i$ es el costo total incurrido en la producción del i-ésimo cultivo plantado en terreno con acceso a agua para riego, en quetzales por hectárea;
IBTSA es el ingreso bruto generado por el cultivo plantado en terreno sin acceso a agua para riego, en quetzales por hectárea; y,
CTTSA es el costo total incurrido en la producción del cultivo plantado en terreno sin acceso a agua para riego, en quetzales por hectárea.

# 4 Resultados

## *4.1 Variables biofísicas*

### 4.1.1 Uso de la tierra y tipos de bosque

El área de estudio está conformada por el lado sur de Sierra de las Minas, cuyo drenaje se dirige al río Motagua. Con base en la información facilitada por la Fundación Defensores de la Naturaleza (1995), el uso de la tierra con bosque corresponde al 36% de un total de 168,843 has que se encuentran entre el parte aguas de la cuenca y el río Motagua. A continuación se presenta la composición del bosque por tipos:

Cuadro 4. Uso de la Tierra

| Categorías | Area (Ha) | % |
|---|---|---|
| Bosque nuboso latifoliado | 10,522 | 18% |
| Bosque de coníferas | 23,722 | 40% |
| Bosque subtropical latifoliado | 16,172 | 27% |
| Bosque mixto | 8,463 | 14% |
| Bosque enano | 1,097 | 2% |
| Total | 59,976 | 100% |

El bosque comercial es alrededor de las ¾ del bosque total. El resto corresponde a especies que a la fecha del estudio no tienen valor de mercado (bosque nuboso y bosque enano).

### 4.1.2 Estimación del efecto del bosque sobre el caudal

La definición de escenarios de superficie con cobertura forestal, para estimar el efecto en los caudales correspondientes (a partir del modelo hidrológico), se presenta en la siguiente figura.

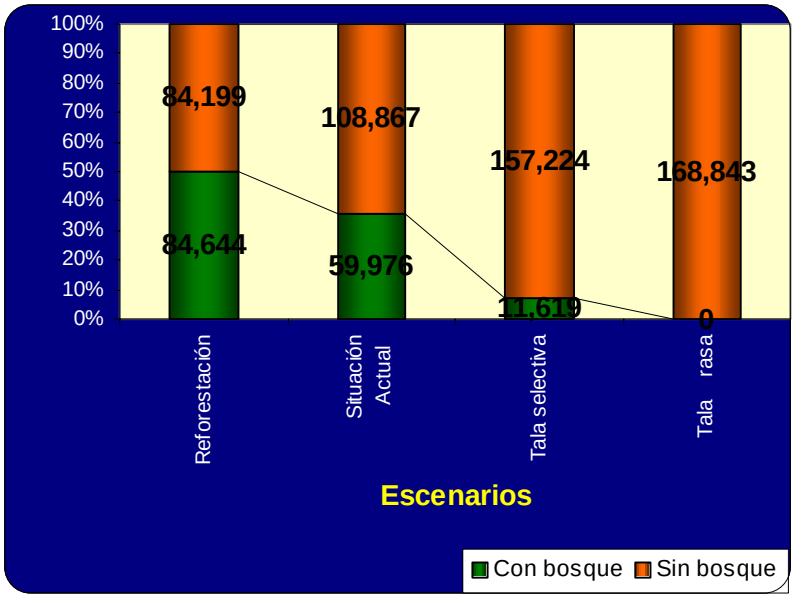



*Figura 5. Escenarios de simulación de cambios de cobertura forestal.*

Como se puede apreciar en la figura anterior, los escenarios definidos fueron diseñados para reflejar el efecto a distintos niveles de bosque sobre los caudales. La cantidad de bosque se mueve entre el limite superior, representado por el escenario que además de conservar el bosque actual, reforesta la zona de recarga hídrica potencial, hasta el límite inferior, en donde se elimina la totalidad del bosque.

Con base en los escenarios simulados (4), se pudieron hacer tres comparaciones, debido a que el modelo hidrológico está diseñado para reflejar los cambios de cobertura de dos escenarios comparados. De ésta manera se obtuvieron los cambios en caudal presentados en la siguiente tabla:

Cuadro 5. Cambios en la cobertura forestal y su efecto en el caudal durante verano.

| Categoría de manejo | Cobertura | Unidad | Reforestación | Situación Actual | Tala selec-tiva | Tala rasa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cobertura original | Bosque, original | ha | 59,976 | 59,976 | 11,619 | 0 |
| | Sin bosque, original | ha | 84,199 | 108,867 | 108,867 | 108,867 |
| Cobertura modificada | Area deforestada | ha | 0 | 0 | 48,357 | 59,976 |
| | Area reforestada | ha | 24,668 | 0 | 0 | 0 |
| | | **Total** | **168,843** | **168,843** | **168,843** | **168,843** |
| Impacto en caudal de estiaje | Diferencia en caudales | miles $m^3$ | 245,412 | Patrón | -26,411 | -312,187 |
| | Variación Caudales | % | 7% | Patrón | -1% | -12% |

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, los escenarios que requieren continuar con el análisis, debido a que tienen un impacto significativo en el caudal son el escenario de reforestación (+7%) y el escenario de Tala rasa (-12%). A continuación se presentan los datos de los caudales que reflejan las diferencias entre las comparaciones entre ambos escenarios.

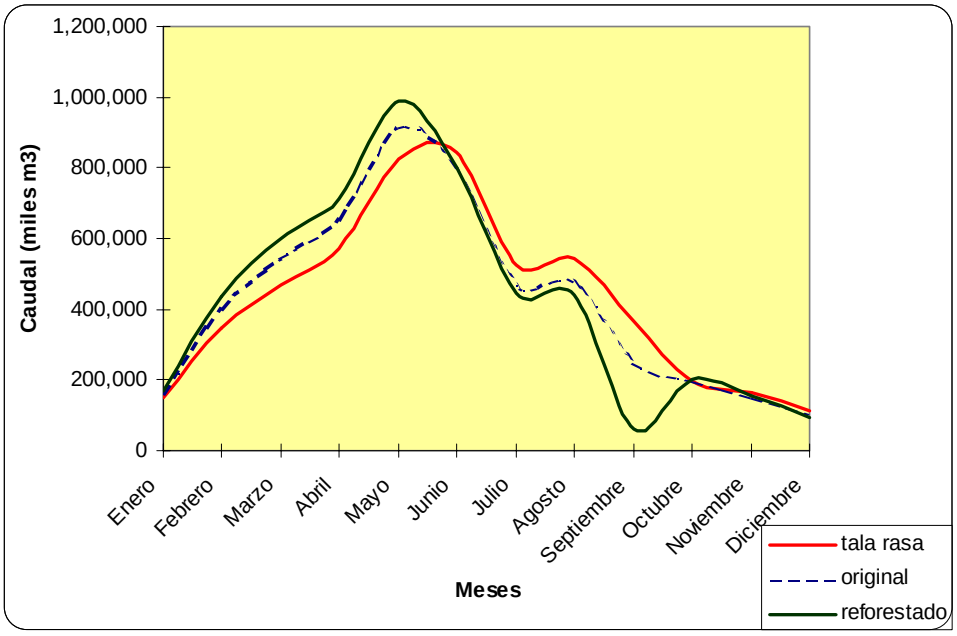



*Figura 6. Diferencias de caudales entre escenarios original y reforestado*

La gráfica anterior indica que al reforestar las áreas que se hallan arriba del límite de la zona de uso sostenido (incluyendo la zona núcleo), se refleja un incremento en los caudales de verano con respecto al escenario original, en el orden de 245,411,512 metros cúbicos durante los meses de Enero a Junio (época seca). Si se compara con el escenario de tala rasa, evidentemente la ganancia en caudal de verano es alrededor del doble (549,382,090 metros cúbicos).

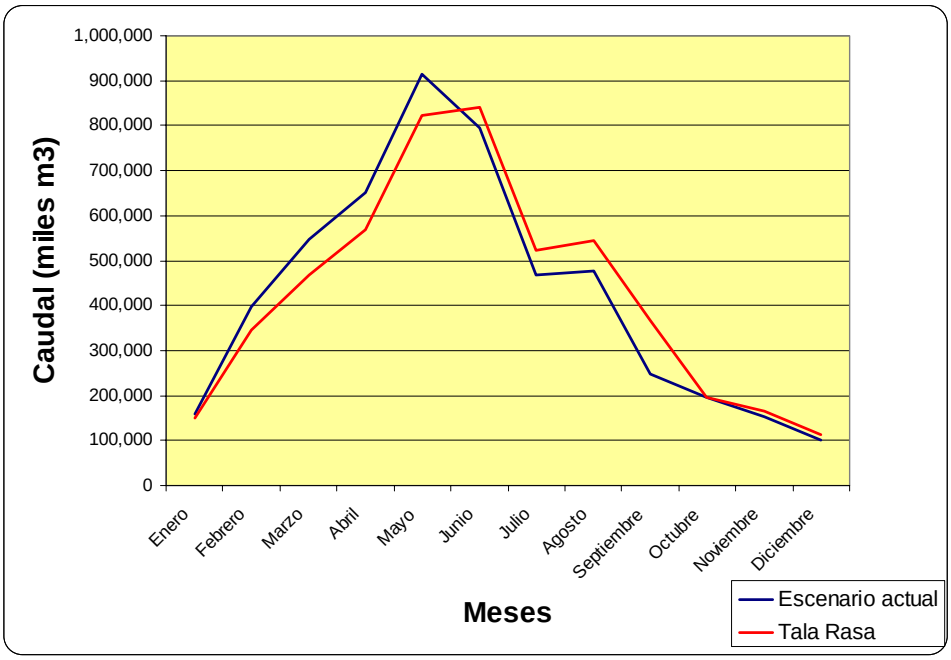



*Figura 7. Diferencias de caudales entre escenario actual y tala rasa*

La figura anterior muestra que al eliminar totalmente el bosque se obtiene una reducción en los caudales de verano con respecto al escenario original, en el orden de 312,187,106 metros cúbicos durante los meses de Enero a Mayo (época seca). En éste caso, la diferencia negativa se concentra únicamente en 5 meses, mientras que en el caso anterior (reforestación) corresponde a 6 meses.

### 4.1.3 Estimación del volumen del bosque

La figura xx representa la distribución espacial de los tipos de bosque en el lado Sur de Sierra de las Minas. Como se puede apreciar el bosque de latífoliadas se localiza en la parte alta de la cuenca, seguido por el bosque de coníferas y mixto. 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 latífoliadas y coníferas.

#### 4.1.3.1 Bosque de coníferas y mixto

La distribución de volumen por especie, del bosque comercial de coníferas y mixto la siguiente:

*Cuadro 6. Frecuencia y volumen del bosque de coníferas y mixto*

| CATEGORIA | | POR 1 Ha./PINO | | POR 1 Ha./MIXTO | |
|---|---|---|---|---|---|
| D.A.P. | Altura | Frec. | Volumen ($m^3$) | Frec. | Volumen ($m^3$) |
| 12.0 | 11.3 | 45 | 3.3 | 2 | 0.2 |
| 17.0 | 14.8 | 49 | 7.3 | 1.7 | 0.3 |
| 22.0 | 17.1 | 47 | 12.3 | 1 | 0.3 |
| 27.0 | 18.9 | 42 | 17.7 | 5.8 | 2.6 |
| 32.0 | 20.2 | 32 | 20.1 | 7 | 4.7 |
| 37.0 | 21.2 | 19 | 16.2 | 7.3 | 6.8 |
| 42.0 | 22.1 | 13 | 15.2 | 5.4 | 6.7 |
| 47.0 | 22.8 | 7 | 10.0 | 3 | 4.8 |
| 52.0 | 23.3 | 5 | 9.7 | 2.5 | 4.9 |
| 57.0 | 23.8 | 3 | 6.0 | 1.1 | 2.8 |
| 62.0 | 24.3 | 2 | 4.8 | 0.9 | 2.6 |
| 67.0 | 24.6 | 1 | 2.1 | 1.1 | 3.9 |
| 72.0 | 24.9 | 0 | 1.5 | 0.8 | 3.3 |
| 77.0 | 25.2 | 0 | 0.7 | 1.1 | 5.1 |
| 82.0 | 25.5 | 0 | 1.1 | 0.7 | 3.6 |
| **TOTAL:** | | **266** | **128.0** | **41.4** | **52.6** |

El cuadro anterior indica que la hectárea típica de la categoría de bosque de coníferas tiene un volumen de madera comercial (Pinus sp.) de 128 metros cúbicos, y para el caso del bosque mixto de 53 metros cúbicos. El escenario de tala rasa, asume un corte a partir de un DAP de 22 centímetros, dejando en campo 94 árboles por hectárea, los cuales se asume que son destruidos en su mayor parte durante la extracción de los árboles restantes (igual sucede con el caso de Quercus sp. en el bosque mixto)

La última columna de la tabla anterior, representa la multiplicación de ambos tipos de bosque, por su superficie respectiva (coníferas 23,722 has y mixto 8,463). La siguiente gráfica muestra el volumen total del bosque, en función del D.A.P[7].

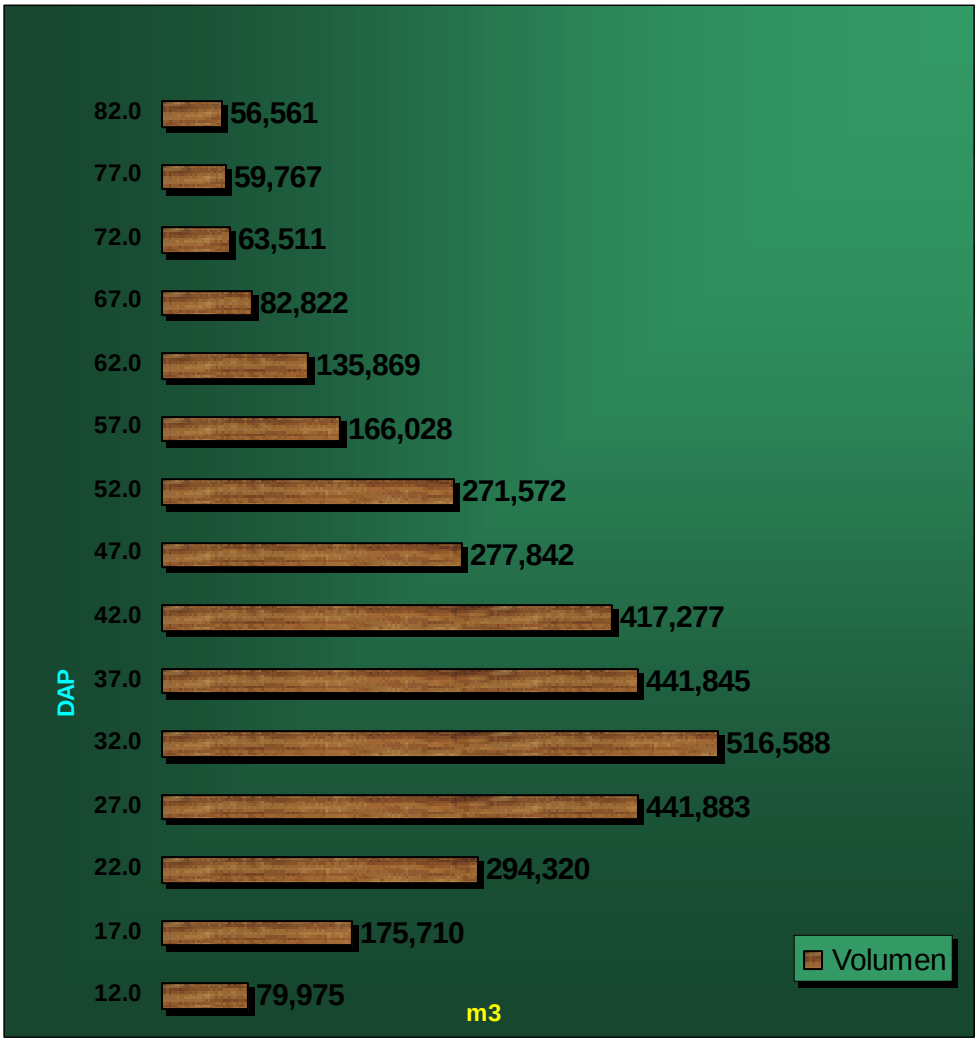



*Figura 8. Distribución del bosque de pino por clase diamétrica*

De acuerdo a la figura anterior se puede observar que en el bosque prevalecen diámetros pequeños (entre 22 a 42 centímetros).

[7] Diámetro a la altura del pecho

La frecuencia acumulada refleja que el 80% del volumen se encuentra hasta un DAP de 47 centímetros. En los Anexos 1 y 2 se presentan los cuadros de frecuencia y volumen por DAP del bosque de coníferas y el mixto (incluye Quercus sp.)

En relación al mercado, las coníferas cuentan con un mercado en constante expansión; en el valle del Motagua se localizan una serie de aserraderos industriales, e inclusive en la actualidad está en fase de estudio de factibilidad la puesta en marcha de la fábrica de celulosa, lo cual permite suponer que la venta del bosque no afecta los precios actuales de la madera.

#### 4.1.3.2 Bosque de latifoliadas

El bosque de latífoliadas se halla compuesto de dos variantes: nuboso y subtropical, las especies que predominan en el primero no tienen mercado comercial actual, mientras que las especies que pertenecen al subtropical si están siendo aprovechadas comercialmente. A continuación se presenta una figura que detalla la abundancia en volumen de las 21 especies comerciales, de un total de 54 especies existentes en el bosque subtropical. El volumen total de especies comerciales es de 71 $m^3$/ha y el de especies no comerciales de 89 $m^3$/ha.

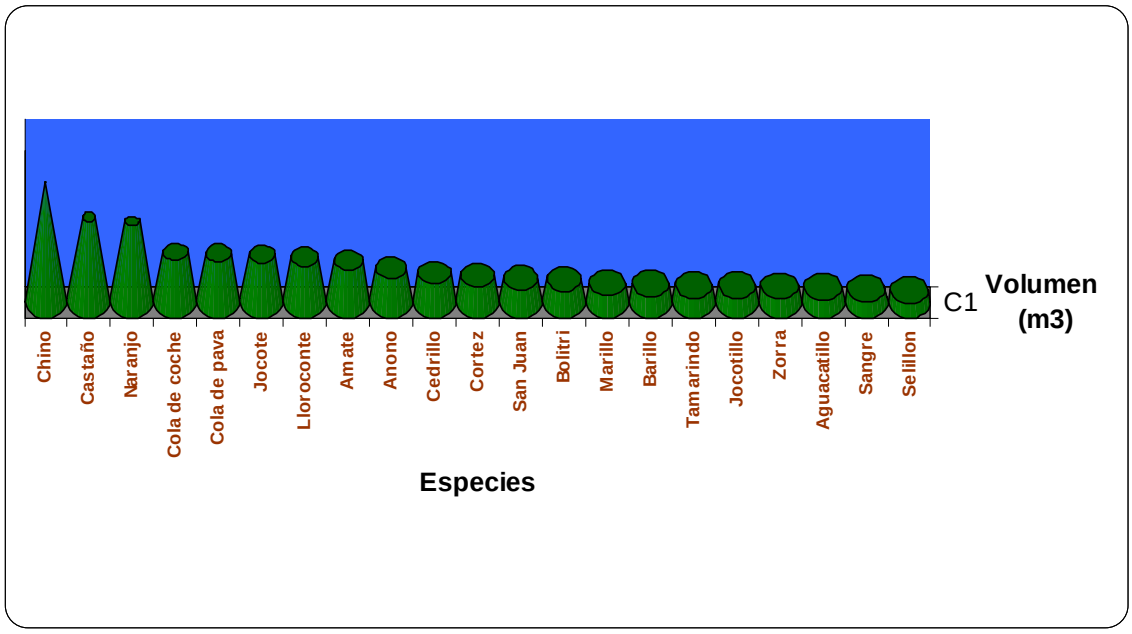



*Figura 9. Especies comerciales del bosque latifoliado subtropical (volumen)*

En el listado los anexos 3 y 4 se presentan las especies comerciales y no comerciales de éste bosque, indicando su frecuencia, área basal y volumen, y en el anexo 5 los nombres científicos correspondientes.

### *4.2 Valoración económica del servicio 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. Los efectos del déficit o exceso hídrico tienen impactos negativos en la cuenca, ocasionando sequía o inundación respectivamente (Solís, 2001). La función del bosque nuboso es estratégica para la economía de la zona[8] que depende del agua que se capta en la parte alta de la cuenca (zona núcleo y zona de uso sostenido).

En el lado sur de 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 personas, animales y cultivos en el árido valle del Motagua. Durante el período de época lluviosa, el exceso hídrico, condicionado por las altas precipitaciones y la topografía del terreno (pendientes pronunciadas), se traduce en una alta vulnerabilidad a la ocurrencia de inundaciones (p.e. tormenta tropical Mitch). El servicio ambiental de "regulación hídrica" abastece de un caudal mínimo a la cuenca durante el verano, y reduce el caudal de invierno, a través de la infiltración de parte de la escorrentía superficial del agua de lluvia, liberándola paulatinamente en época de verano, y el ciclo se repite nuevamente.

La valoración se sustenta en la relación bosque / agua; en el caso de la cuenca del Motagua. De acuerdo a Brown, et al 1996 y Hernández, 2001 se ha comprobado que la cobertura forestal del lado sur de Sierra de las Minas, actúa como "regulador" disminuyendo la descarga de los ríos durante el invierno y liberando el agua acumulada durante el verano, pero que el caudal anual se mantiene constante; dado que la precipitación varía año con año, en el estudio se empleó el caudal promedio /anual, de una serie de 20 años plazo. En las figuras 6 y 7 el acápite 4.1.2. se puede observar dicho efecto en la curva de caudales mensuales a través del año.

### *4.3 Perspectiva del déficit hídrico*

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 liquido durante verano. 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 "disponibilidad" durante la época seca. El suministro del liquido depende del manejo de sus fuentes (Ansmann, 2000).

Esta sección del estudio se dirige a valorar el agua, a partir de la perspectiva de los propietarios/administradores de los bosques existentes en Sierra de las Minas. El producto final es el precio (costo total) del metro cúbico de agua (US $ / m3), con referencia a su efecto durante los caudales de verano, 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.

---

[8] 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).

### 4.3.1 Valor del agua en función del bosque actual

El argumento de la valoración económica es que el precio del agua "producida" durante el verano por la cobertura actual[9] debe generar un valor que compense al propietario / administrador del bosque por NO talar el bosque y sustituirlo por la alternativa típica de la zona: ganadería *(CO, Costo de Oportunidad)*. Además, debido a que el bosque se debe conservar para mantener el caudal actual, se requiere un plan de protección, que incluya labores de prevención de enfermedades, raleos selectivos, control de incendios e incluso evitar invasiones comunitarias *(CP, Costo de Protección)*. Los cambios se simulan en un horizonte de 20 años plazo.

#### 4.3.1.1 Costo de oportunidad del suelo con bosque

La proyección financiera simula el cambio de uso del suelo dedicado a bosque, sustituyendo el bosque comercial de la siguiente manera:

- ✓ El bosque de pino y mixto (23,722 ha y 8,463 ha respectivamente) se asume que es talado en un período de cinco años, y en su lugar se introduce ganadería extensiva. El área de bosque se divide en 5 lotes de aproximadamente 6,500 has; 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.
- ✓ El bosque de latífoliadas subtropical (16,172 ha) se asume que se tala en un período de tres años, y en su lugar se introduce ganadería extensiva.
- ✓ Los bosques nuboso y enano (10,522 y 1097 has) se simula que se cortan o queman y el área se dedica a ganadería extensiva.

Los **ingresos** contabilizados son la venta de madera y leña, y la venta de animales en pie, cuyo valor asciende a alrededor de US $ 40,000,000.00 durante los primeros cinco años de venta de la madera, y luego generan durante los siguientes quince años un monto aproximado de US 7,000,000.00. Los **egresos** están conformados por gastos de administración, inversiones ganaderas, animales en pie, insumos pecuarios, etc., El monto está en el orden de US $ 6,000,000.00 durante los primeros cinco años, y se reduce a alrededor de US $ 5,000,000.00 durante los restantes quince años. En el anexo 6 se presenta el resumen de la simulación financiera y el correspondiente flujo de fondos.

El VAN de éste escenario aplicando una tasa interna de retorno del 4%, en un plazo de 20 años corresponde a US $ 161,341,000.00.

#### 4.3.1.2 Costo de protección del bosque

Esta proyección financiera simula la conservación del bosque a través de la planificación, administración y operación de labores de mantenimiento y protección.

[9] Se estima únicamente la diferencia de volumen de agua entre los escenarios con y sin bosque

Los egresos ocasionados se dividen en costos fijos (construcción de torres de control, vehículos agrícolas, equipo apagafuegos, programas de administración y educación ambiental, etc.), y costos variables (pago de mano de obra de trabajadores, depreciación de equipo, mantenimiento de inversiones, etc.). El área a proteger cubre la totalidad del bosque actual, la cual asciende a 59,976 ha. El monto anual está en el orden de US $ 1,000,000.00 el primer año, y un gasto anual de alrededor de US $ 700,000.00 durante los siguientes diecinueve años. En el anexo 7 se presenta el resumen de la simulación financiera y el correspondiente flujo de fondos.

Los ingresos percibidos por la conservación del bosque, corresponde a la venta de servicios ambientales, los cuales se clasifican de acuerdo a la siguiente figura:

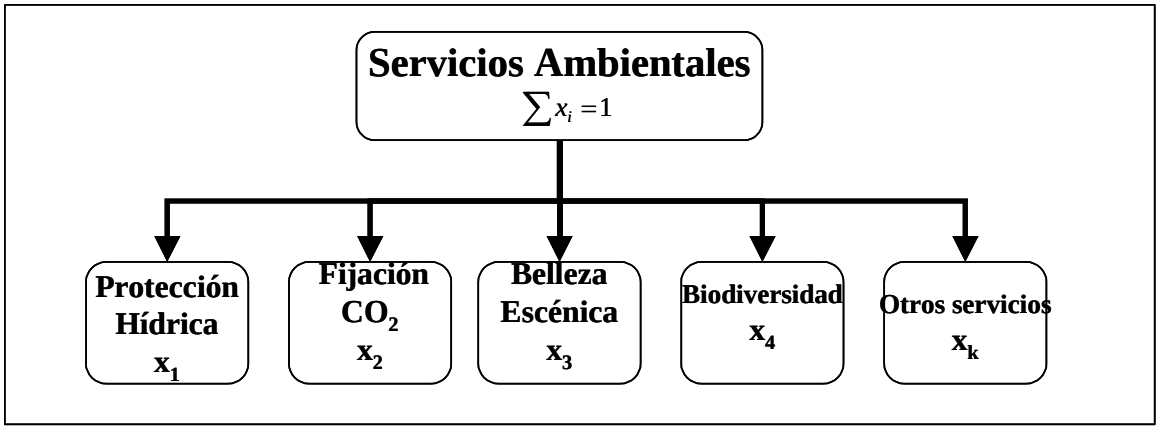



*Figura 10. El bosque como productor de servicios ambientales*

El peso del servicio de protección hídrica dentro del total del valor de los servicios ambientales ($VR = \alpha * VS$), 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.
Considerando que el servicio de "regulación hídrica", es el único que presenta el fenómeno de la escasez en el valle del Motagua, y a la vez, que con la información disponible es el que puede ser cuantificado, se decidió que el valor de la regulación hídrica, absorbe el valor total de los servicios ambientales del bosque ($VR = VS$).

#### 4.3.1.3 Tarifa del metro cúbico de agua, situación actual

El calculo del **valor económico** (US $) consiste la multiplicación del **volumen** de agua producido por la cobertura forestal (metros cúbicos), multiplicado por el **precio** de la unidad de agua, expresado en US $ / m3 durante verano (tarifa del agua). Las variables conocidas son el valor económico (costo de oportunidad + costos de protección del bosque) y el volumen de agua, por lo que la incógnita a despejar es el precio de agua (US $ / $m^3$). Además, el valor incluye los beneficios de la disminución de los caudales de invierno en términos de daños a la infraestructura vial (ver sección 4.4.1.)

El **volumen** de agua se determina a parir de los datos generados por el modelo hidrológico, en donde determina los cambios en volumen como resultado de la presencia o eliminación del bosque. Los datos de caudales mensuales para ambas condiciones y sus diferencias se presentan en el siguiente cuadro[10]:

*Cuadro 7. Efecto de la cobertura forestal en los caudales mensuales*

| MESES | CON BOSQUE | SIN BOSQUE | DIFERENCIA | VARIACION |
|---|---|---|---|---|
| Enero | 159,290,160 | 150,463,183 | -8,826,977 | -6% |
| Febrero | 397,911,684 | 345,810,380 | -52,101,303 | -13% |
| Marzo | 545,999,948 | 468,592,073 | -77,407,875 | -14% |
| Abril | 651,839,814 | 570,063,878 | -81,775,936 | -13% |
| Mayo | 915,490,428 | 823,415,412 | -92,075,016 | -10% |
| Junio | 795,530,849 | 841,441,786 | 45,910,938 | 6% |
| Julio | 467,459,992 | 523,184,037 | 55,724,046 | 12% |
| Agosto | 476,211,245 | 545,709,786 | 69,498,541 | 15% |
| Septiembre | 246,352,612 | 365,498,984 | 119,146,372 | 48% |
| Octubre | 196,769,617 | 195,156,146 | -1,613,472 | -1% |
| Noviembre | 152,300,534 | 164,249,923 | 11,949,389 | 8% |
| Diciembre | 101,305,474 | 112,872,651 | 11,567,178 | 11% |
| TOTAL | 5,106,462,356 | 5,106,458,240 | -4,116 | 0% |

Es importante señalar que el volumen de agua *valorado* no es el caudal total que transporta el río, sino solamente el aporte que genera la cobertura forestal, el cual representa alrededor del 12% del caudal total, entre los meses de Enero a Mayo (312,187,106.83 $m^3$).

El **valor** que debe compensar el precio del agua, se calcula a partir del *costo de oportunidad* del suelo dedicado a bosque, y además, los *costos por concepto de protección* del bosque para mantener el caudal actual de verano(resultados presentados en acápite 4.3.1.1. y 4.3.1.2.), y el efecto económico de la reducción de los caudales de invierno (acápite 4.4.1.) .

Con base en el volumen de agua y el valor que debe ser compensado (Costo de oportunidad + costo de protección), el precio del servicio ambiental de regulación hídrica está en el orden de US $ 0.039, es decir, cuatro centavos de dólar norteamericano. El precio es relativamente alto, y se debe a que únicamente se valora la porción del caudal que corresponde al efecto de la cobertura forestal, con lo cual se evita incurrir en el mito de que el bosque genera totalmente los caudales de verano. El resto del caudal (alrededor del 87%) se mantiene presente en la cuenca, independientemente de sí existe o no bosque.

[10] Son los datos fuentes de la figura 7

A continuación se presenta una gráfica que presenta la relación entre los costos (Costo de Oportunidad + Costo de protección) que debe compensar la tarifa del metro cúbico de agua como servicio del bosque. Tal como se evidencia en la figura 11, el costo de oportunidad supera ampliamente al costo de protección, especialmente durante los primeros cinco años, que coinciden con la época en que se vende la madera.

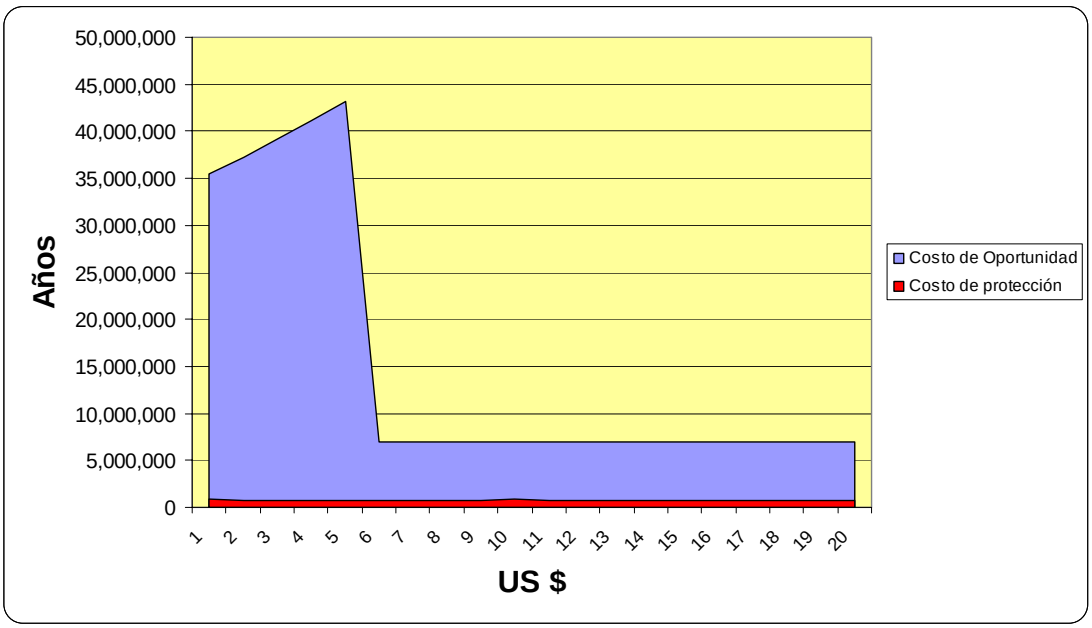



*Figura 11. Relación entre costo de oportunidad y costo de producción*

### 4.3.2 Valor del agua en función de reforestación

Argumento: El precio del diferencia de agua "producida" por aumento de la cobertura forestal a través de labores de reforestación[11] debe generar un valor que cubra los costos de la reforestación. Además, debido a que el bosque debe perpetuarse se simula la compra de la tierra localizada entre los límites de la zona núcleo y la zona de uso sostenido; la superficie de tierra que se halla en zona núcleo sin bosque, debido a incendios, invasiones o talas no controladas se asume que no se requiere su compra, debido a que el único uso posible es la reforestación.

#### 4.3.2.1 Costo de reforestación

La proyección financiera simula la reforestación de 24,668 has que actualmente no tienen bosque, pero que se hallan ubicadas dentro de la zona de recarga hídrica. Esta zona fue definida por aproximación de los polígonos de las distintas categorías de uso del suelo hacia el contorno de la zona de recarga hídrica obtenida del mapa producido por el MAGA, además debido a las características de dichas categorías tienen un amplio potencial social de aceptación. La distribución de las áreas a reforestar es la siguiente:

[11] Se estima únicamente la diferencia de volumen de agua entre los escenarios con bosque actual y reforestación

- ✓ Se reforesta las áreas ubicadas dentro de zona núcleo pero que actualmente no cuentan con bosque (10,811 ha)
- ✓ Se reforestan las áreas hasta el límite inferior de la Zona de Uso Sostenido cuyo uso actual no es bosque (13,857 ha).

Los costos de reforestación se obtuvieron a partir de la información generada por el INAB para el pago de incentivos forestales (Anexo 9). El efecto del bosque sobre los caudales se estima en el primer año del 4% hasta llegar al 100% en el décimo año del proyecto de reforestación. Las especies no se trabaron a detalle, debido a que los costos están diseñados para ambos tipos de bosques: latífoliadas y coníferas, razón por la cual habría que seleccionar las especies de acuerdo a las características propias de cada una de las subcuencas que drenan al Motagua dentro de Sierra de las Minas.

Los costos están conformados por gastos de administración, inversiones en torres de control, vehículos, herramientas, pago de mano de obra para cuidado de la plantación y los costos asociados a la reforestación, inclusive la compra de tierras dentro de la zona de uso sostenido (Anexo 8). En la gráfica 12 se presenta el comportamiento de la curva de costos durante los veinte años de la proyección financiera, al inicio el monto inicial está en el orden de US $ 17,000,000.00 para el primer año, de US $ 4,000,000.00 para el período del año dos al año cinco, y de allí para fines de mantenimiento se gastan alrededor de US $ 500,000.00 anuales durante los restantes quince años.

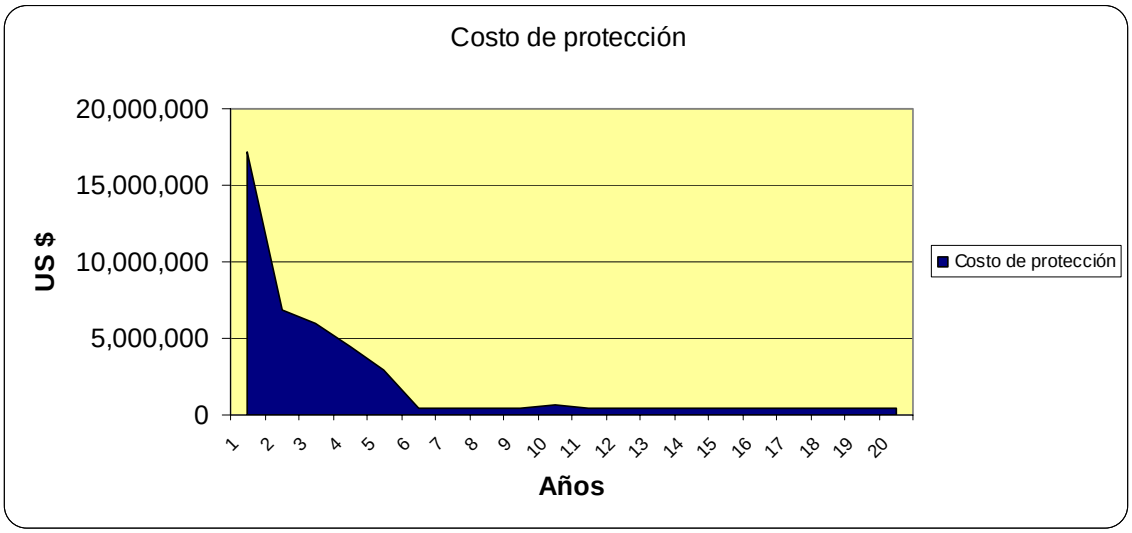



*Figura 12. Comportamiento de la curva de costos de protección*

Los ingresos percibidos por la conservación del bosque, corresponde a la venta de servicios ambientales, que con base en la figura 8 y la explicación del acápite 4.3.1.2., se acepta que el valor total de los servicios ambientales está representado por el servicio de regulación hídrica, tanto por su incremento en verano, como por la reducción de ocurrencia de daños a la infraestructura vial (sección 4.1.1.).

#### 4.3.2.2 Tarifa del metro cúbico de agua, reforestación

El calculo del **valor económico** (US $) consiste la multiplicación del **volumen** de agua producido por la el área reforestada (metros cúbicos), multiplicado por el **precio** de la unidad de agua, expresado en US $ / m3 durante verano (tarifa del agua). Este valor debe compensar los egresos realizados durante el período de la proyección por establecimiento de las plantaciones, y los consecuentes costos de protección de la nueva área con bosque; además incluye los beneficios de la disminución de los caudales de invierno en términos de daños a la infraestructura vial (ver sección 4.4.1.)

El **volumen** de agua se determina a parir de los datos generados por el modelo hidrológico, en donde los cambios en volumen son el resultado del incremento del área con bosque (24,668 ha + 59,976 ha actuales), respecto a la situación actual (59,976 ha con bosque). Los datos de caudales mensuales para ambas condiciones y sus diferencias se presentan en el siguiente cuadro[12]:

*Cuadro 8. Efecto de la reforestación en los caudales mensuales*

| MESES | ESCENARIO ACTUAL | REFORESTADO | DIFERENCIA | VARIACION |
|---|---|---|---|---|
| Enero | 159,290,160 | 167,515,285 | 8,225,125 | -6% |
| Febrero | 397,911,684 | 436,016,272 | 38,104,589 | -13% |
| Marzo | 545,999,948 | 601,880,966 | 55,881,018 | -14% |
| Abril | 651,839,814 | 713,416,900 | 61,577,086 | -13% |
| Mayo | 915,490,428 | 988,897,593 | 73,407,165 | -10% |
| Junio | 795,530,849 | 803,747,378 | 8,216,529 | 6% |
| Julio | 467,459,992 | 443,636,028 | -23,823,963 | 12% |
| Agosto | 476,211,245 | 440,831,760 | -35,379,485 | 15% |
| Septiembre | 246,352,612 | 58,662,874 | -187,689,739 | 48% |
| Octubre | 196,769,617 | 202,652,675 | 5,883,058 | -1% |
| Noviembre | 152,300,534 | 153,323,570 | 1,023,036 | 8% |
| Diciembre | 101,305,474 | 95,853,960 | -5,451,514 | 12% |
| TOTAL | 5,106,462,356 | 5,106,458,240 | -27,095 | 0 |

Es importante señalar que el volumen de agua *valorado* no es el caudal total que transporta el río, sino solamente el aporte que genera la cobertura forestal, el cual representa alrededor del 7% del caudal total, entre los meses de Enero a Mayo (245,411,512 $m^3$).

El **valor** que debe compensar las inversiones forestales, se calcula a partir del *costo de reforestación* del suelo ubicado hasta el límite de la zona de uso sostenido, y además, los *costos por concepto de protección* del bosque para mantener el caudal actual.

Con base en el volumen de agua “ganado” por la reforestación, y el valor de la misma (Costo de reforestación + costo de protección), el precio del servicio ambiental de regulación hídrica está en el orden de US $ 0.014, es decir un centavo de dólar

[12] Son los datos fuentes de la figura 7

norteamericano. El precio es relativamente bajo[13], ya que incluye incluso la compra de la tierra a ser reforestada en la zona de uso sostenido.

Realizando un análisis de sensibilidad, se estableció que si la tierra costará el doble del precio computado (US $ 75.00 * 2 = US $ 150.00/ha), la tarifa resultante es la misma (US $ 0.014), habiendo variaciones solamente a nivel de diezmilésimas de dólar. En el caso de que se tuviera que comprar toda el área a reforestar (24,668 ha) al doble de precio computado inicialmente (US 150.00), la tarifa resultante sería US $ 0.015, es decir tendría un incremento de una milésima parte.

### *4.4 Perspectiva del exceso hídrico*

#### 4.4.1 Costo de reemplazo de infraestructura vial

El Cuadro 9 presenta los resultados de la estimación del costo de reposición de los principales puentes de la ruta CA-9 norte, en el área de influencia de la RBSM. De acuerdo con información de la Dirección General de Caminos[14], los puentes de la ruta indicada están construidos para soportar un evento de crecida de los ríos en 50 años. Considerando que el modelo hidrológico ha estimado que la deforestación de la RBSM aumentaría la frecuencia de crecidas en 50 por ciento, puede asumirse que habría que incurrir en el costo de reposición en un rango de 20 a 25 años. Si las crecidas afectasen la totalidad de los principales puentes, el costo medio de reposición sería de US$ 6,900,801.28 a precios del 2002.

*Cuadro 9. Costo estimado de reposición de los principales puentes de la ruta CA-9 norte, en el área de influencia de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas.*

| Características de los puentes | | | Costo (US$) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nombre | Ubicación (km) | Longitud (m) | Mínimo | Máximo | Medio |
| El Hato | 90.30 | 45.45 | 407,884.62 | 582,692.31 | 495,288.46 |
| Huyus | 100.00 | 41.85 | 375,576.92 | 536,538.46 | 456,057.69 |
| Guijo | 106.30 | 30.60 | 274,615.39 | 392,307.69 | 333,461.54 |
| Palmilla | 115.80 | 35.40 | 317,692.31 | 453,846.15 | 385,769.23 |
| Teculután | 119.90 | 55.65 | 499,423.08 | 713,461.54 | 606,442.31 |
| Cayo (Zunzapote) | 128.9 | 38.60 | 346,410.26 | 494,871.80 | 420,641.03 |
| Estain Creek | 136.40 | 66.85 | 599,935.90 | 857,051.28 | 728,493.60 |
| Jones | 145.80 | 55.50 | 498,076.92 | 711,538.46 | 604,807.69 |
| Santiago | 154.00 | 35.55 | 319,038.46 | 455,769.23 | 387,403.85 |
| Los Cedros | 155.00 | 26.55 | 238,269.23 | 340,384.62 | 289,326.92 |
| Los Achiotes | 159.00 | 39.30 | 352,692.31 | 503,846.15 | 428,269.23 |
| Arenal | 162.30 | 33.80 | 303,333.33 | 433,333.33 | 368,333.33 |
| Mayuelas | 164.20 | 28.80 | 258,461.54 | 369,230.77 | 313,846.15 |
| El Lobo | 173.70 | 46.30 | 415,512.82 | 593,589.74 | 504,551.28 |
| Doña María | 181.00 | 53.05 | 476,089.74 | 680,128.21 | 578,108.97 |
| T O T A L | | | 5,683,012.82 | 8,118,589.74 | 6,900,801.28 |

[13] El precio representa solamente la cuarta parte de la tarifa establecida para el escenario de la situación actual (US $ 0.04).

[14] Ingeniero Luis Leiva, Departamento Técnico de Ingeniería de la División de Planificación y Estudios, Dirección General de Caminos, MICIVI, comunicación personal.

Fuente: Dirección General de Caminos/MICIVI y estimaciones propias.

### 4.4.2 El valor de la tierra con acceso a agua para riego

El Cuadro 10 presenta algunos valores de la tierra de parcelas ubicadas en la proximidad de la ruta CA-9, al sur de la RBSM, en jurisdicción del municipio de Teculután, Zacapa. Aunque en el área indicada existe acceso generalizado al agua, las personas entrevistadas emitieron juicio sobre el valor probable de terrenos con limitación de acceso al agua.

*Cuadro 10. Valores aproximados de la tierra con y sin acceso a agua para riego, en el área sur de influencia de la RBSM, 2002.*

| Observación | Agricultura con agua (US$/ha) | Agricultura sin agua (US$/ha) | Industria con agua (US$/ha) | Industria sin agua (US$/ha) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 10,769.00 | 1,795.00 a 1,974.00 | 44,872.00 | n.d. |
| 2 | 14,359.00 | 3,590.00 | n.d. | n.d. |
| 3 | 10,769.00 a 14,359.00 | 3,590.00 | 44,872.00 a 53,846.00 | 10,769.00 |
| 4 | 5,128.00 | | | |
| 5 | 4,487.00 | | | |
| 6 | 5,128.00 | | | |
| 7 | 3,846.00 | | | |
| 8 | 1,923.00 | | | |
| 9 | 4,487.00 | | | |
| 10 | 3,205.00 | | | |
| 11 | 1,282.00 | | | |
| 12 | 2,564.00 | | | |
| 13 | | 641.00 | | |
| 14 | | 385.00 | | |
| 15 | | 641.00 | | |
| 16 | | 513.00 | | |
| 17 | | 256.00 | | |
| 18 | | 449.00 | | |
| 19 | | 128.00 | | |
| 20 | | 192.00 | | |
| 21 | | 256.00 | | |
| 22 | | 128.00 | | |
| M E D I A | 6,331.00 | 1,038.00 | | |

Fuente: Entrevistas de campo; n.d. no disponible.

Las cifras presentadas en el Cuadro 9 permiten inferir que la posibilidad de disponer de agua para el emprendimiento de las actividades económicas comunes en el área de estudio genera un diferencial considerable en el valor de las tierras. En tierras para producción agrícola el diferencial de valor medio entre parcelas con y sin acceso a agua está en torno de los US$ 5,293.00 por hectárea. En el caso de la actividad industrial, mas rentable y/o menos riesgosa que la agricultura, el diferencial oscila entre US$ 34,103.00 y US$ 43,077.00 por hectárea.

El diferencial de valor entre la tierra agrícola con acceso a agua para riego y la tierra sin acceso, refleja la diferencia que existe en cuanto al potencial de producción. En tierras con acceso a agua es posible producir tres cosechas por año, mientras en tierras sin acceso a agua únicamente se produce una cosecha por año. Entrevistas realizadas con agricultores del área de estudio indican que una hectárea de tierra con agua para riego puede rendir un ingreso neto hasta de US$ 4,466.00, por año, mayor que el de una hectárea sin riego.

### *4.5 Implicaciones del valor económico del S.A. de regulación hídrica*

La contribución de los bosques como reguladores del ciclo hidrológico, incrementa el abastecimiento de agua durante la época de verano (escasez) y reduce el exceso durante invierno (inundaciones).

#### 4.5.1 Valor del agua en función de la situación actual (con y sin bosque)

La asignación de una tarifa a la unidad de volumen de agua, ha sido establecida a partir de la compensación mínima que debería recibir el propietario / administrador del bosque (costo de oportunidad), más los gastos en que incurriría para protegerlo (costo de protección; además contabiliza los beneficios económicos por evitar daños a la infraestructura vial (disminuyendo a un 50% la probabilidad de ocurrencia). Este valor es un punto de indiferencia, por lo cual la compensación económica debería ser mayor, para que el proyecto de conservación de los bosques sea atractivo. El precio resultante asciende a US $ 0.04 $m^3$, lo cual corresponde un valor por hectárea del servicio ambiental de regulación hídrica de US $ 201.85/año.

En el caso del invierno, la valoración parte del supuesto que el exceso de agua, ocasionaría desastres naturales; debido a la naturaleza de los datos hidrológicos existentes, se empleo para fines de cálculo la variación de frecuencias de crecidas (y no el caudal máximo en una crecida). El valor económico se determinó a partir de un indicador físico, constituido por los costos de reposición a la infraestructura de puentes. Es necesario aclara que un evento de descarga hídrica máxima tendría otras consecuencias, que por ausencia de datos no es posible calcular (p.e. pérdida de terrenos cultivables, gastos en salud, incomunicación de los habitantes, muerte de animales, e incluso perdida de vidas humanas). El valor asciende a US $ 6,900,801.00, lo cual corresponde a un valor anual por hectárea con bosque de US 20.58/año a valores constantes durante 20 años, el cual ya está incluido en el valor del servicio de regulación hídrica (US $ 201.85 ha/año).

#### 4.5.2 Valor del agua en función de reforestación

La asignación de una tarifa a la unidad de volumen de agua ha sido establecida a partir de los costos de establecimiento del bosque, incluyendo la compra del 56% de la tierra necesaria, más los gastos en que incurriría para protegerlo (costo de protección; además contabiliza los beneficios económicos por evitar daños a la infraestructura vial (disminuyendo a 25% la probabilidad de ocurrencia). El proyecto de reforestación es atractivo, ya que además de los beneficios ambientales que ocasiona, también genera beneficios sociales (fuentes de empleo) y beneficios económicos (mayor área con acceso a riego). El precio de la tarifa de agua asciende a US $ 0.01 $m^3$, lo cual

corresponde un valor por hectárea del servicio ambiental de regulación hídrica de US $ 171.28/año.

Un aspecto importante, es que la "producción promedio" de agua por reforestación de las áreas sin bosque en la zonas núcleo y zona de uso sostenido, es más del doble que la "producción promedio" del bosque existente actualmente (12,656 $m^3$/ha comparados con 5,205 $m^3$/ha). Esto demuestra que la reforestación de estas zonas es estratégica para el incremento del caudal de verano del río Motagua, y evidencia el hecho de ser catalogada como zona de recarga hídrica.

### 4.5.3 Valor del agua, desde la perspectiva de usuarios de riego

El estudio presenta además un análisis del valor de agua, desde el plano de los usuarios. En el caso del valor de la tierra, el valor agregado de una hectárea por tener acceso a agua es de US $ 5,293.00 a precios del año 2,002, los cuales corresponden a US $ 390.00/año durante un periodo de 20 años a una TIR de 4%; además, en términos de productividad, la diferencia de ingreso neto en las áreas con riego Vrs. sin riego llega a ser de US $ 4,466.00/ha/año. Sin embargo, estos datos deben analizarse con cautela, ya que representan el acceso a riego, pero independientemente del caudal total de los ríos (la variación del caudal por efecto de la presencia del bosque es relativamente baja, entre el 7% y 12% del caudal total), es decir, aún sin la presencia de bosque, muchas hectáreas estarían satisfaciendo su necesidad de riego, porque los ríos aún sin bosque transportarían entre el 88% y 93% del caudal en época de verano.

### 4.5.4 Consideraciones generales

Al hacer un análisis comparativo, entre el valor desde la perspectiva de la demanda, y el valor desde la perspectiva de los usuarios de riego, es evidente el beneficio que se obtiene de la conservación de los bosques. Además, considerando que los usuarios del agua son al menos de tres tipos: riego, consumo humano e industrias e hidroeléctricas, las posibilidades de compensación a los propietarios / administradores de bosques son aún más probables.

La administración del mecanismo de compensación por el servicio ambiental de regulación hídrica 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 cuenca (entidad neutral entre usuarios y proveedores del servicio), con el ánimo de garantizar la conservación del bosque existente, quien a la vez, administraría la reforestación de la zona de recarga hídrica definida.

El análisis se ha dirigido a cuantificar y valorar el efecto del servicio de regulación hídrica; sin embargo, el efecto de la cobertura forestal sobre el agua de la cuenca también tiene componentes de calidad. La calidad del agua es un factor determinante, sobretodo para consumo humano y uso hidroeléctrico; es decir, si se talara el bosque y se redujera el caudal (en 12% según las estimaciones), los ríos transportarían un enorme volumen de sedimentos.

Finalmente, es necesario señalar que el análisis de sensibilidad del escenario de reforestación, ante cambios en los precios o superficie de tierra a comprar no afectó los

resultados (se mantuvieron en US $ 0.01); esto se debe a que los costos mayores corresponden a las labores propias del establecimiento de las nuevas plantaciones.

### *4.6 Fundamentos para una política de servicios ambientales*

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.

Actualmente la superficie forestal ha sido reducida considerablemente, razón por la cual el efecto de la corte superficie con bosque no tiene un efecto considerable en el comportamiento de los caudales (reducción del 12% si se elimina la cobertura forestal). Esto demuestra que la política de servicios ambientales debe estar orientada hacia la restauración hidrológica de la cuenca, reforestando las áreas de recarga y captación hídrica sugeridas (24,668 has en zona núcleo y zona de uso sostenido). Los efectos de un programa de reforestación, incluyen al menos: a)que el incremento de la cobertura forestal, apoyado por el apadrinamiento del programa de incentivos forestales, reduciría el valor del metro cúbico producido y b) los desastres naturales reducirían su frecuencia, aplicando el principio de beneficio social, ya que los pobres son los más vulnerables a éste tipo de catástrofes, c) se generan fuentes de empleo durante la reforestación (MO) y después de ella (incremento del área con acceso a riego), d) se reduce la presión sobre el bosque, debido al incremento de las áreas aprovechables en el valle.

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. En caso de necesitar priorizar, se debe optar por proteger el bosque existente basado en las características de las categorías de manejo de la reserva.

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. Finalmente, estimar el valor económico de los servicios ambientales no contabilizados (captura y almacenamiento de CO2, biodiversidad, belleza escénica, etc.), como posibles fuentes alternativas de financiamiento para protección del bosque.

## 5 Conclusiones

- ✓ La eliminación de la cobertura forestal afecta el caudal a lo largo del año: en verano presenta una reducción del 12% del agua del río, y en invierno reduce a un 50% la vida útil de la infraestructura vial (puentes).
- ✓ La reforestación de la zona núcleo y zona de uso sostenido (24,668 ha) que corresponden a la zona de recarga hídrica, incrementa el caudal en verano en el orden del 7%.
- ✓ La tarifa por el servicio ambiental de regulación hídrica, es: para la cobertura actual del bosque de US $ 0.04 / $m^3$, lo cual corresponde un valor por hectárea de bosque US $ 201.85/año; y para el escenario de reforestación de US $ 0.01 / $m^3$, lo cual corresponde un valor por hectárea de bosque 171.28/año.
- ✓ La producción hídrica promedio ($m^3$ agua /ha), es mayor en las áreas que se propone reforestar, que la de la cobertura forestal existente (12,656 $m^3$/ha comparados con 5,205 $m^3$/ha respectivamente), debido a que se ha eliminado bosque ubicado en la zona de recarga hídrica.
- ✓ Los beneficios obtenidos por la reducción del caudal durante la época de invierno, corresponden a US $ 6,900,801.00, lo cual corresponde a un valor anual por hectárea con bosque de US 20.58/año a valores constantes durante 20 años.
- ✓ El área boscosa del lado sur de Sierra de las Minas actual es de 59,976 ha., habiéndose reducido drásticamente en los últimos años, por lo que no cubre en su totalidad el área de recarga hídrica (existen 24,668 ha sin bosque).
- ✓ El beneficio obtenido por los usuarios de agua para riego, es mayor que el costo de "producción"; el valor agregado que genera sobre el valor de la propiedad una hectárea es alrededor de US $ 390.00/año. Sin embargo, hay que ser cauteloso con el manejo de éste dato, ya que el agua empleada no es producto exclusivo del efecto del bosque.
- ✓ El escenario de reforestación demuestra que incrementa el volumen del caudal durante la época de verano, en el orden de 245,411,512 $m^3$. El proyecto generaría beneficios económicos por "producir" agua a un precio inferior al de la cobertura existente (de US $ 0.04 a US $ 0.01), beneficios ambientales por el incremento del bosque y beneficios sociales a través de la generación de empleo (al inicio del proyecto para realizar las labores de reforestación, y en la medida que transcurran los años y se incremente el caudal durante verano, se incrementarían las áreas con acceso a riego, así como, reduciría la ocurrencia de inundaciones, las que afectan inicialmente a los más vulnerables: los pobres.

## 6 Recomendaciones

- ✓ Es necesario preservar el bosque existente en el lado sur de Sierra de las Minas, para evitar la reducción de los caudales en verano (-12%) y el incremento de caudales en invierno.
- ✓ Se debe profundizar en el análisis del escenario de reforestación, a nivel de estudio de pre-factibilidad. Los datos obtenidos, reflejan que al reforestar la zona de recarga hídrica que actualmente no tiene bosque (24,668 ha) se obtiene un incremento en los caudales de verano del 7%, teniendo ésta zona una alta productividad hídrica (alrededor de 12,656 m3/ha). Los datos de incremento de caudal (245,411,512 $m^3$) deben contrastarse con la superficie potencial a irrigar.
- ✓ Considerando que el análisis mostró que el área de bosque remanente no cubre la totalidad de la zona de recarga hídrica, la política de pago por servicios ambientales debería enfocarse en la restauración hidrológica de la zona; antes

de iniciar el programa se debe tener certeza sobre el régimen de tenencia de la tierra.

- ✓ Desde la perspectiva de reducción de los caudales de invierno por la presencia de la cobertura forestal, es conveniente realizar gestiones ante fuentes financieras, bajo el lema de prevenir es mejor que curar, ya que la inversión requerida para evitar desastres naturales, es relativamente baja, en comparación con los gastos de restauración; sin embargo, los datos deben ampliarse, ya que éste estudio se limita exclusivamente a los daños a la infraestructura vial ocasionados por inundaciones.
- ✓ Considerar la negociación de un pago por el servicio ambiental de regulación hídrica por parte de los usuarios de riego, quienes obtienen considerables utilidades en la tierra con acceso a agua durante verano. Sin embargo, los datos deben revisarse, empleando técnicas distintas para establecer el aporte del acceso al riego en el valor total de la tierra (p.e. técnica de valoración precios hedónicos).
- ✓ Impulsar el establecimiento de estaciones hidrometereológicas que permitan realizar estudios sobre datos más precisos; la mayor dificultad para el presente consistió en la cantidad limitada de datos, y baja confiabilidad de algunas fuentes.
- ✓ Difundir la información entre entidades ambientalistas y sector gobierno, para que sirva de base para discusiones y toma de decisiones en materia de conservación de bosques.
- ✓ En futuros estudios, aparte de la cuantificación y valoración del efecto de regulación hídrica de la cobertura forestal, debe asociarse el efecto sobre la "calidad" del agua, sobretodo en lo que se refiere a transporte de sedimentos.

## 7 Bibliografía


Aguirre, J.A. 1999. Cuencas Hidrográficas, Servicios Ambientales e Incentivos para el

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.

Ayau, M. 1998. El Proceso Económico I. Universidad Francisco Marroquín. Guatemala, GT. 90 p.

Azqueta, D. 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. Mc Graw Hill. Madrid, España. 1ª. Ed. Español. 299 p.

Bowers John (1997). Sustainability and Environmental Economics: An alternative text. Addison Wesley Longman Publishers. New York.

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.

Camacho A, Reyes V, Miranda M, Segura O. (2002). Gestión local y participación en torno al PSA: Estudio de caso en Costa Rica. CINPE-CAMBIOS. Proyecto PRISMA-FORD.

Camacho Antonieta (2002). Análisis de actors socials: guía de estudio.

Camacho, A., Reyes, V., Miranda, M., Segura, O. 2002. Gestion local y participación en torno al pago por servicios ambientales: Estudio de casos en Costa Rica.

Universidad Nacional: Centro de Politica Ecónomica para el Desarrollo Sostenible (CINPE). Heredia
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.
Carroll, A.B. 1989. Business and society: Ethics and stakeholder managment. Cincinnati, OH: South Western
CATIE/Esprede. 2001. Proyecto Asistencia técnica y generación de información. Base de datos espacial digital de Guatemala. Especificaciones técnicas. Guatemala, GT. 119 p.
CINPE (Centro Internacional de Política Económica), 2001. Informe Taller Exploratorio Sierra de las Minas. CINPE. Heredia, Costa Rica. 22p.
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.
Clarkson, M.E. (1995). A stakeholder framework for analyzing and evaluating corporate social performace. Academy of Managment Review, 20: 1 92-117
Clarkson, M.E. 1995. A risk based model of stakeholder theory. Paper presented at the Society of Business Ethics Conference, Vancouver, British Columbia
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.
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.
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.
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.
Defensores de la Naturaleza, 1998. Diagnostico participativo. Cuenca Jones, Sierra de las Minas. Guatemala.
Defensores de la Naturaleza. 1992. Plan Maestro: Reserva de la Biosfera de la Sierra de las Minas. Elan Ediciones. Guatemala. 54 p.
Defensores de la Naturaleza. 1997. II Plan Maestro de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas. Guatemala. 73 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.
Dixon J., Carpenter R., Fallon L., Sherman P., Manipomoke S. (1992). Economic analysis of the environmental impacts of development projects. Earth Publications Limited. London in association with the Asian Development Bank, Manila.
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.
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.
Empresa de transformación agraria/Tecnologías y Servicios Agrarios. 1994. Restauración Hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Madrid, España. Mundiprensa. 902 p.
Field, B. 1995. Economía Ambiental. Trad. Leonardo Cano. McGraw-Hill, Colombia.
Freeman, M. 1993. The measurement of environmental and resource values. Theory and methods. Resources for the future. Washington, U.S. 516 P.
Freeman, R.E. (1984). Strategic managment: A stakeholder aproach. Boston: Pitman
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.
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.
Hernández Vela Oscar (2001). Valoración económica del recurso hídrico, Jones, Sierra de las Minas, Guatemala. Tesis de Maestría, CATIE.
Hill, C. W., & Jones, T.M. (1992). Stakeholder-agency theory. Journal of Manangment Studies, 29: 131-154
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.
IICA-GTZ (1996). Evaluación y Seguimiento del Impacto Ambiental en proyectos de inversión para el desarrollo agrícola y rural.
Jurris, I. (2001). The Sean Method: a participatory road to sustainable development? The Neatherlands Development Corporation (SNV) and AIDEnvironment. The Netherlads
López Carmen Ma. (1998 ) Retorno Financiero de las actividades Agrícola, Forestal y Ecoturismo en el Volcán San Pedro. Tesis de Maestría. CATIE.
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.
Mitchell, R. K., Agle, B. R., Wood, D. J. (1997). Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the principle of who and what really counts. Academy of Managment Review, 22: 4: 853-886
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.
Pearce D. Y Turner K. (1995). Economía de los recursos naturales y del medio ambiente. Celeste Ediciones, Madrid.
Pearce D. Y Turner K. (1995). Economía de los recursos naturales y del medio ambiente. Celeste Ediciones, Madrid.
Perman Roger, Ma Yue, McGilvray James (1996). Natural Resources and Environmental Economics. Addison Wesley Longman Publishers. New York.
Perman Roger, Ma Yue, McGilvray James (1996). Natural Resources and Environmental Economics. Addison Wesley Longman Publishers. New York.
Porras Gerardo (1998). Interacción entre economía y medio ambiente. SINADES-MIDEPLAN, Costa Rica.

Quirós, D. Gómez, M. 1998. Manejo sustentable de u n bosque primario intervenido en la zona Atlántica Norte de Costa Rica. Manejo Diversificado de bosques naturales (13). Turrialba, CR. CATIE. 22p.
Reyes V. Fallas J., Miranda M., Segura O., Sánchez R. (2002). Definición de parámetros hídricos para la valoración del servicios ambiental de protección del recurso hídrico brindado por los bosques y plantaciones de Costa Rica. Documento Resumen. CINPE-UNA/FONAFIFO.
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.
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.

http://www.incae.ac.cr/ES/promprof/estudiantes/entrevistas/tipos.shtml
http://www.sidar.org/visitable/indagacion/Interv.htm
http://sidar.org/visitable/nuevos/Remota.htm

## 8. LISTADO DE ANEXOS


| | |
|---|---|
| Anexo 1 | Frecuencia y volumen del bosque de coníferas (incluye Quercus sp.) |
| Anexo 2 | Frecuencia y volumen del bosque mixto |
| Anexo 3 | Frecuencia y volumen del bosque de latífoliadas subtropical (sp. comerciales) |
| Anexo 4 | Frecuencia y volumen del bosque de latífoliadas subtropical (sp. no comerciales) |
| Anexo 5 | Nombre comunes y científicos de especies de bosque de latífoliadas subtropical |
| Anexo 6 | Proyección financiera de "Costo de Oportunidad" del bosque actual |
| Anexo 7 | Proyección financiera de "Costos e ingresos" del escenario de Protección del bosque actual |
| Anexo 8 | Proyección financiera de "Costos e ingresos" del escenario de Reforestación |
| Anexo 9 | Costos por hectárea de reforestación (PINFOR, INAB) |
| Anexo 19. | Modelo Hidrológico |