

copiar

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSGRADO

**VALORACION ECONOMICA DE UN ECOSISTEMA BOSQUE SUBTROPICAL:
ESTUDIO DE CASO SAN MIGUEL LA PALOTADA, PETEN, GUATEMALA**

POR

GUSTAVO JORGE SENCION IRAZABAL



Turrialba, Costa Rica
1996

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
(CATIE)
PROGRAMA DE ENSEÑANZA
ÁREA DE POSGRADO**

2000 1996

**✓ Valoración Económica de un Ecosistema Bosque Subtropical: estudio
de caso San Miguel La Palotada, Petén, Guatemala**

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico de Postgrado y
Capacitación del Programa de Enseñanza en Ciencias Agrícolas y
Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y
Enseñanza, para optar al grado de

Magister Scientiae

por

**✓
GUSTAVO JORGE SENCIÓN IRAZÁBAL**

Turrialba, Costa Rica

1996

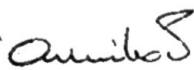
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



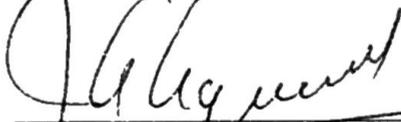
Tania Ammour, Dr.
Profesor Consejero



Daniel Marmillod, Dr.
Miembro Comité Asesor



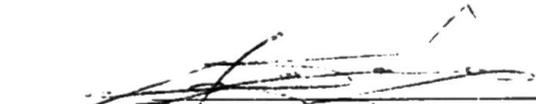
Néstor Winderloch, M.Sc.
Miembro Comité Asesor



Juan A. Aguirre, Ph.D.
Jefe, Area de Postgrado



Pedro Ferreira, Ph.D.
Director, Programa de Enseñanza



Gustavo Sención. Ec.
Candidato

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecer a los Drs. Tomás Schlichter y Mario Pareja quienes confiaron en mi desarrollo personal y profesional y facilitaron mi inserción en el CATIE. Al proyecto Olafo, su filosofía y enzeñanza en el manejo de los recursos naturales, el cual permanecerá siempre presente como la fuente intelectual y de raciocinio profesional en la obtención del desarrollo sostenible para nuestro países. Al gobierno de los Países Bajos, fuente de financiamiento de la beca que permitió mi participación en el programa de maestría del CATIE.

Quisiera agradecer al M.Sc Alejandro Imbach por su apoyo desde un inicio en la Maestría. Sus oportunas críticas y consejos tan enriquecedores como formativos permitieron mantener siempre presente el objetivo final de la investigación.

Agradezco a la compañera de trabajo y profesor consejero Dra. Tania Ammour que desde 1991 ha sabido sobrellevar y compartir los buenos y malos sabores en la búsqueda de una metodología de Valoración Económica de Ecosistemas. Su exigencia académica, aportes y dedicación en todo este proceso fueron los principales estímulos para el logro y profundidad de esta investigación.

Agradezco a los miembros del comité Daniel Marmillod y Néstor Windevoxhel por su apoyo en la revisión crítica del trabajo, por su amistad, oportunos comentarios y consejos. Especialmente a Néstor por sus horas de dedicación y comprensión.

Quisiera expresar mi agradecimiento al personal del centro de cómputos especialmente a Natalie y Gregory del laboratorio de SIG, por su colaboración constante en la elaboración de los mapas y su amistad. A todos los integrantes del proyecto Olafo, a Lorena, Alex y William que siempre tuvieron la paciencia, dedicación y apoyo en los momentos difíciles, muchas gracias.

La consecución de este trabajo en Petén dependió también del apoyo de numerosas instituciones y personas como: El proyecto Olafo/Guatemala, cuyo equipo técnico siempre brindó dedicación y amistad en todo momento. A Carlos Miss y Héctor Monroy por su apoyo incondicional al logro de esta investigación. Al personal del Consejo Nacional de Areas Protegidas (CONAP) y de Unepet-Segeplan por la información y el tiempo dedicado a esta investigación. A todos los funcionarios del Banco Central de Guatemala, Dirección de Estadísticas y Censos, Ministerio de Trabajo, Cámara de Exportadores y Universidad de San Carlos que brindaron su tiempo y conocimiento en la búsqueda de la información estadística

A Carlos y Cristina que siempre cuidaron de mi alimentación y bienestar y me brindaron de todas las amistades, la invaluable. A Carlos Linaris, Claudio Ipata y Gonzalo Madrid un muy profundo agradecimiento por todo el apoyo y amistad coterránea que me brindaron en ciudad Guatemala.

Quisiera agradecer a todo el personal del CATIE profesores, administrativos y técnicos quienes de una u otra forma colaboraron en el éxito de este trabajo, especialmente a Jorge, Luis y Tomás que incondicionalmente me brindaron su confianza y amistad. Un cordial agradecimiento a la comunidad Turrialbeña, especialmente a los Veteranos de Fútbol de Turrialba que domingo a domingo permitieron que aprendiera de la cultura futbolera azucarera y de la idiosincracia del pueblo turrialbeño. A Walter Alonso por su invaluable dedicación en la búsqueda y preparación de los materiales de lectura que apoyaron esta investigación y de sus enseñanzas en el conocimiento de la orquideología.

A mis amigos Wanda, Fernando, Jorge, Betsy y Ricardo que siempre estuvieron en los momentos difíciles, mil gracias. A mis compañeros de maestría quienes enriquecieron de una u otra forma esta experiencia personal y profesional siempre los recordaré con gratitud y cariño.

El más profundo agradecimiento para mi familia por todo su apoyo, amor y comprensión ya que desde la distancia siempre fueron un aliciente constante. A mi hermano Miguel por su confianza y respeto y a mi hermana Laura por su dedicación, amistad y esfuerzo para salir adelante cuando las cosas se tornan difíciles. Un agradecimiento a la vida por haber sido tan generosa con Sofia Carolina y a mis padres Nicolás y María por ser un ejemplo de humildad y esfuerzo constante.

Por último quiero dedicar este trabajo a Angélica Cerdas, mi compañera, ya que ella siempre estuvo.

Gustavo J. Sención Irazábal

Turrialba, Costa Rica

Octubre de 1996.

I N D I C E

RESUMEN	ix
SUMARY	xiii
LISTA DE CUADROS	xvi
LISTA DE FIGURAS	xviii
LISTA DE GRAFICOS	xviii
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	5
2.1 Características generales de un ecosistema	5
2.1.1 El ecosistema bosque tropical	6
2.1.1.1 Producción ecológica	7
2.1.1.2 Ciclaje de nutrientes	8
2.1.1.3 Descomposición de nutrientes	11
2.1.2 Existencia y flujo de nutrientes	11
2.1.3 Beneficios del bosque tropical	16
2.2 Valoración económica de un ecosistema	19
2.2.1 Propiedad del uso de los recursos	19
2.2.2 El análisis B/C y su aplicación para medir efectos intangibles..	20
2.2.3 Valoración de beneficios y costos de un ecosistema	25
2.2.3.1 Beneficios económicos	27
2.2.3.2 Costos económicos	28
2.2.4 Métodos de valoración económica	29
2.2.4.1 Cambios en productividad	30
2.2.4.2 Costo de replazo	32
2.2.4.3 Costo de sustitución	33
2.2.4.4 Pérdida de ingresos	34
2.2.4.5 Costo de oportunidad	34
2.2.4.6 Método de valoración contingente	36

III.	OBJETIVOS	38
IV.	HIPOTESIS	38
V.	METODOLOGIA	39
5.1	Area de estudio	39
5.1.1	Población	42
5.1.2	Actividades económicas principales	43
5.1.3	Suelos	44
5.1.4	Fisiografía	46
5.1.5	Biodiversidad	46
5.1.6	Actividades desarrolladas en San Miguel	48
5.2	Metodología para la valoración económica	49
5.2.1	Identificación de bienes, funciones y atributos	51
5.2.2	Jerarquización de bienes, funciones y atributos	53
5.2.3	Selección de métodos de cuantificación	57
5.2.3.1	Cuantificación física	57
5.2.3.1.1	Bienes	57
5.2.3.1.2	Secuestro de carbono	58
5.2.3.1.3	Ciclaje de nutrientes	61
5.2.3.1.4	Control de erosión	65
5.2.3.1.5	Biodiversidad	68
5.2.3.2	Cuantificación económica	70
5.2.3.2.1	Bienes	70
5.2.3.2.2	Secuestro de carbono	72
5.2.3.2.3	Ciclaje de nutrientes	73
5.2.3.2.4	Control de erosión	74
5.2.3.2.5	Biodiversidad	77
5.2.4	Valoración económica del bosque	77
VI.	RESULTADOS Y DISCUSION	80
6.	Valoración económica según escenario de uso	80
6.1	Beneficios y costos directos	80
6.1.1	Maderables	80
6.1.2	<i>Chamaedorea sp</i>	85
6.1.3	<i>Manilkara sp</i>	90
6.1.4	<i>Desmoncus sp</i>	92
6.2	Beneficios y costos indirectos	95

6.2.1	Secuestro de carbono	95
6.2.2	Ciclaje de nutrimentos	100
6.2.3	Control de erosión	102
6.2.4	Biodiversidad	116
6.3	Valor Económico del bosque de San Miguel	109
VII.	CONCLUSIONES	113
VIII.	RECOMENDACIONES	117
	BIBLIOGRAFIA	120
	MAPAS	
	ANEXOS	

SENCION I., G.J. 1996. Valoración Económica de un Bosque Subtropical: estudio de caso San Miguel La Palotada, Petén, Guatemala. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. Catie.

Palabras claves: Bosque Subtropical, Valoración Económica Ecosistemas, Reserva de la Biósfera Maya, Petén, Guatemala, Cedrela, Swietenia, Chamaedorea, Manilkara, Desmoncus, Secuestro de Carbono, Ciclaje de Nutrimientos, Control de Erosión, Biodiversidad.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objeto determinar el valor económico parcial de un Bosque Subtropical de 6,451 hectáreas ubicado dentro de la Reserva de la Biósfera Maya (RBM), El Petén, Guatemala. Se valoraron los siguientes bienes, funciones y atributos generados por dicho bosque: madera, xate, bayal, chicle, secuestro de carbono, ciclaje de nutrientes, control de erosión y biodiversidad.

Se analizaron las existencias y flujos anuales de cada uno de los bienes, funciones y atributos. En el caso de los bienes, las existencias corresponden a la abundancia comercial aprovechable valorada por su ingreso bruto. Los flujos fueron definidos con base en el potencial aprovechable anual considerando los ciclos de aprovechamiento, determinados por la tasa natural de crecimiento de la especie y valorados según el ingreso neto anual que generan.

Las funciones fueron valoradas en forma indirecta. La existencia física por hectárea de carbono se estimó con base en los datos de volúmen del fuste de todas las especies con dap \geq 10 cm. multiplicado por el factor de conversión de biomasa aérea del bosque a partir del volúmen del fuste, por el factor de densidad de la madera y por el factor de conversión de carbono.

El flujo anual de carbono se obtuvo a partir del incremento mediano anual promedio para todas las especies según clases diamétricas multiplicado por los factores de conversión de volúmen, densidad y carbono. El precio de la tonelada de carbono fue definido con base al precio internacional promedio pagado a proyectos de reforestación con fines de secuestro de carbono.

La existencia física de NPK como parte de la función ciclaje de nutrientes se estimó según el volúmen del fuste de todas las especies con $dap \geq 10$ cm. multiplicado por el factor de conversión de biomasa aérea a partir de valores de volúmen del fuste, por el factor de densidad de la madera y por la proporción de NPK en la biomasa seca del mantillo en bosques tropicales. El flujo anual de nutrientes se estimó a partir del promedio de biomasa seca en el mantillo para bosques tropicales multiplicado por la proporción de NPK en la biomasa seca. Para la valoración económica se consideraron los precios C.I.F de fertilizante en Guatemala con proporción 15,15,15 de NPK por unidad .

La existencia del suelo en el bosque de San Miguel como elemento de la función control de erosión se estimó partir de la cantidad promedio de suelo por hectárea a una profundidad de 20 cm. Para medir el flujo anual de la función control de erosión como pérdida natural del bosque se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). No se incluyó en el análisis el flujo positivo anual de formación natural de suelo. Los precios económicos por tonelada de suelo fueron obtenidos utilizando los métodos de valoración indirecta de costo de reemplazo y costo de sustitución tecnológica.

El atributo Biodiversidad fue valorado midiendo la disponibilidad a pagar de la sociedad para conservar los diferentes ecosistemas en la Reserva de la Biósfera Maya. Dicha disponibilidad a pagar por hectárea y

por hectárea/año fue evaluada con base al financiamiento aportado por los organismos nacionales e internacionales en la RBM.

Los resultados obtenidos demuestran que a nivel de existencias del bosque los bienes, funciones y atributos generan un beneficio neto por hectárea de 4,915 Q/ha (786.4 \$/ha). Los bienes tienen un beneficio neto directo de 947 Q/ha (151.5 \$/ha), mientras que las funciones generan un beneficio neto indirecto de 3.968 Q/ha (634.8 \$/ha).

La función control de erosión es la que más contribuye al valor de existencia de las funciones con el 73% del beneficio neto indirecto. En el caso de la existencia de los bienes, las especies maderables de *Cedrela* y *Swietenia* contribuyen con el 75% del beneficio neto directo.

El beneficio neto del flujo por hectárea al año del bosque asciende 189 Q/ha/año (30 \$/ha/año). Los bienes generan un beneficio neto directo de 71.8 Q/ha/año (11.5 \$/ha/año) mientras que las funciones tienen un beneficio neto indirecto de 117.6 Q/ha/año (18.8 \$/ha/año).

La planta ornamental *Chamaedorea* genera el mayor valor del flujo anual con 42.4% del beneficio neto directo. En el caso de las funciones y atributos la función ciclaje de nutrientes aporta el 61.5% del beneficio neto indirecto.

Para las 6.451 hectáreas de bosque se obtuvo un beneficio neto total de existencias de 31,705,310 Q/ha (5,072,850 \$/ha) y un beneficio neto total del flujo anual de 1,222,142 Q/ha/año (195,543 \$/ha/año).

De los resultados obtenidos de las existencias y flujos anuales del bosque de San Miguel se demuestra la hipótesis que las funciones y atributos generan en conjunto mayor valor económico que los bienes.

SENCION I, G.J. 1996. Economic appraisal of a Subtropical Forest: Case study in San Miguel La Palotada, Petén, Guatemala. Msc thesis CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Key words: Subtropical Forest, Economic Valorization, Ecosystems, Maya Biosphere Reserve, Petén, Guatemala, Cedrela, Swietenia, Manilkara, Desmoncus, Carbon Sequestering, Nutrient Cycling, Erosion Control, Biodiversity.

SUMMARY

The objective of the present study was to determine the partial economic value of a 6,451 hectare subtropical forest located within the Mayan Biosphere Reserve (RBM-initials in Spanish), in El Petén, Guatemala. Goods (wood, xate, bayal, rubber), functions (capture of carbon, cycling of nutrients, erosion control) and attribute (biodiversity) were assessed.

The stocks and annual flows of each of the goods, functions and attributes were analyzed. In the case of goods, stock corresponds to the commercially exploitable abundance valued by its gross income. The annual flow was defined based on the yearly marketable potential considering the cycles of exploitation, determined by the natural growth rate of the species and assessed according to the annual net economic income generated. The prices used were economic price.

The functions were evaluated indirectly. The physical stock of carbon per hectare was estimated based on the volume of stem of all the species with a dbh \geq 10cm. Multiplied by the conversion factor of the aerial biomass of the forest, by the density factor of the wood, and by the carbon conversion factor.

The annual flow of carbon was obtained based on the average annual median increment of all species according to diametric types multiplied by the conversion factors of volume, density and carbon. The price of a ton of carbon was defined based on the average international price paid to reforestation projects whose goal is the sequestering of carbon.

The physical stock of NPK as part of the nutrient cycle function was estimated according to the stem volume of all of the species with dbh \geq 10 cm. Multiplied by the conversion factor of the aerial biomass, by the density factor of the wood, and by the proportion of NPK in dry biomass of the litter (mantillo- in Spanish) of tropical forests. The annual flow of nutrients was estimated according to the average of the dry biomass of the litter for tropical forests multiplied by the proportion of NPK in the dry biomass. For the economical appraisal the CIF prices in Guatemala of fertilizer with a 15:15:15 nutrient proportion were taken into account.

The stock of soil in the San Miguel forest as an element of the erosion control function and was estimated based on an average depth of 20 cm of soil per hectare. The Universal Soils Loss Equation (USLE) was used to measure the annual flow of the erosion control function as a natural loss of the forest. The positive annual flow of natural soil formation was not included. The economic price per ton of soil was obtained utilizing the indirect appraisal methods of replacement cost and technological substitution cost.

The Biodiversity attribute was assessed measuring willingness to pay (WTP) society for conserving the different ecosystems of the Mayan Biosphere Reserve (MBR). This WTP per hectare and per hectare per year was evaluated based on funding provided by national and international organizations in the MBR.

The annual flow of carbon was obtained based on the average annual median increment of all species according to diametric types multiplied by the conversion factors of volume, density and carbon. The price of a ton of carbon was defined based on the average international price paid to reforestation projects whose goal is the sequestering of carbon.

The physical stock of NPK as part of the nutrient cycle function was estimated according to the stem volume of all of the species with dbh ≥ 10 cm. Multiplied by the conversion factor of the aerial biomass, by the density factor of the wood, and by the proportion of NPK in dry biomass of the litter (mantillo- in Spanish) of tropical forests. The annual flow of nutrients was estimated according to the average of the dry biomass of the litter for tropical forests multiplied by the proportion of NPK in the dry biomass. For the economical appraisal the CIF prices in Guatemala of fertilizer with a 15:15:15 nutrient proportion were taken into account.

The stock of soil in the San Miguel forest as an element of the erosion control function and was estimated based on an average depth of 20 cm of soil per hectare. The Universal Soils Loss Equation (USLE) was used to measure the annual flow of the erosion control function as a natural loss of the forest. The positive annual flow of natural soil formation was not included. The economic price per ton of soil was obtained utilizing the indirect appraisal methods of replacement cost and technological substitution cost.

The Biodiversity attribute was assessed measuring willingness to pay (WTP) society for conserving the different ecosystems of the Mayan Biosphere Reserve (MBR). This WTP per hectare and per hectare per year was evaluated based on funding provided by national and international organizations in the MBR.

The results obtained show that stocks of goods, functions and attributes in the forest generate a net economic incomes of 4,915 Quetzales per hectare (786.4 \$/ha). The goods have a direct net economic income of 947 Q/ha (151.5 \$/ha) , while the functions generated an indirect net economic income the 3,751.4 Q/ha (600.2 \$/ha) and the attribute biodiversity 216.5 Q/ha (34.6 \$/ha).

Erosion control is the function that most contributes to the existence value of the total functions, with 73% of the indirect net economic income. With the existence of goods, the timber species *Cedrela* and *Swietenia* contribute to 75% of the direct net economic income.

Total net incomes of flow per hectare per year is 189 Q/ha/year (39 \$/ha/year). The goods generate a direct net economic income of 71.8 Q/ha/year (11.5 \$/ha/year), while the functions have an indirect net economic income of 71.3 Q/ha/year (11.4 \$/ha/year) and the biodiversity have a value of 46.31 Q/ha/year (7.4 \$/ha/year).

The *Chamaedorea* ornamental plant generate the most value of annual flow with 42% direct net economic income. In the case of the functions and attributes, the nutrient cycling provides 61.5% of the indirect net economic income.

For the 6,451 hectares of forest, total net economic incomes of stock is 31,705,310 Q/ha (5,072,850 \$/ha) and total net economic income of annual flow is 1,222,142 Q/ha/year (195,543 \$/ha/year).

The results show that in all of the existence and annual flow obtained from the San Miguel forest, the hypothesis that the functions and attributes together generate a greater economic value than the goods is accepted.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Biomasa seca en bosques tropicales.....	14
Cuadro 2.	Funciones del bosque tropical.....	18
Cuadro 3.	Historia de la población en San Miguel.....	42
Cuadro 4.	Uso de la tierra en el área de estudio.....	44
Cuadro 5.	Características de los suelos de San Miguel.....	45
Cuadro 6.	Pendientes y alturas en San Miguel.....	46
Cuadro 7.	Identificación de bienes, funciones y atributos	53
Cuadro 8.	Bienes, funciones y atributos jerarquizados.....	55
Cuadro 9.	Indicadores Económicos y parámetros de Valoración.....	79
Cuadro 10.	Abundancia, Area Basal y Volúmen de <i>Cedrela y Swietenia</i>	82
Cuadro 11.	Precios de madera según destino de ventas.....	83
Cuadro 12.	Costo de aserrío ilegal.....	84
Cuadro 13.	Resultado económico de existencia y flujo de madera.....	85
Cuadro 14.	Precios de exportación de <i>Chamaedorea sp.</i>	87
Cuadro 15.	Resultado económico de existencia y flujo de <i>Chamaedorea sp.</i>	89
Cuadro 16.	Abundancia y área basal de <i>Manilkara</i>	90
Cuadro 17.	Exportación de Chicle en Guatemala 1981-1994.....	91
Cuadro 18.	Resultado económico de existencia y flujo de látex de <i>Manilkara</i> ...	92
Cuadro 19.	Metros de fibra por tallo maduro aprovechable de <i>Desmoncus</i>	94
Cuadro 20.	Resultado económico de existencia y flujo de <i>Desmoncus</i>	95
Cuadro 21.	Existencia de carbono en el bosque de San Miguel.....	96
Cuadro 22.	Precios pagados por tonelada de carbono secuestrado	98
Cuadro 23.	Resultado económico de secuestro de carbono	99
Cuadro 24.	Beneficios y costos indirectos de la función secuestro de carbono....	99

Cuadro 25.	Existencia y flujo físico de NPK en San Miguel	100
Cuadro 26.	Precios al consumidor de fertilizante en Guatemala	101
Cuadro 27.	Resultado económico de existencia y flujo de nutrimentos.....	102
Cuadro 28.	Beneficio y costo indirecto de la función ciclaje de nutrimentos.	102
Cuadro 29.	Extensión de suelo rendzinas y vertisoles en San Miguel.....	103
Cuadro 30.	Cantidad de suelo estimado en San Miguel	103
Cuadro 31.	Pérdida de suelo calculado por USLE.....	104
Cuadro 32.	Jornales para construcción de sistemas de control de erosión.....	105
Cuadro 33.	Resultado económico de la función control de erosión	106
Cuadro 34.	Presupuestos anuales del Proyecto Olafo en Petén.....	107
Cuadro 35.	Resultado Económico del Bosque de San Miguel.....	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Circulación de nutrimentos en un sistema forestal.....	10
Figura 2.	Beneficios de un ecosistema bosque tropical.....	26
Figura 3.	Metodología de Valoración Económica de un bosque tropical..	50

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1.	Datos climáticos de Tikal - prom. mensuales (1988-1994).....	40
Gráfico 2.	Precipitación y evapotranspiración, prom. mensuales (1988-1994).	41

VALORACION ECONOMICA DE UN ECOSISTEMA BOSQUE SUB TROPICAL
Estudio de Caso: San Miguel La Palotada, Petén, Guatemala

I. INTRODUCCION

La compatibilidad entre calidad del ambiente y desarrollo económico de las sociedades no ha sido un objetivo de las políticas nacionales, principalmente debido a la abundancia y el tradicional libre acceso a los recursos naturales. Actualmente se reconoce que las actividades económicas además de producir bienes para el consumo, generan también efectos positivos o negativos, directos o indirectos. Esto se aprecia por ejemplo en las emanaciones de ácidos por la actividad minera o la liberación de CO₂ por la quema del bosque tropical, que contribuyen a incrementar el efecto invernadero y los niveles de contaminación del aire.

Los ecosistemas tropicales han sufrido un acelerado deterioro y en algunos casos la extinción de muchas de sus especies. Esta situación ha obligado a reconocer la escasez de los recursos naturales como un problema para el desarrollo económico y la necesidad de valorar económicamente los efectos directos e indirectos del uso de los ecosistemas.

Lo anterior llevó a redefinir el concepto de propiedad de los recursos naturales. Hardin (1968) en el estudio "La tragedia de los comunes" clasifica los derechos de propiedad en derechos de uso común y de uso privado, marcando el inicio de la economía

ambiental. En ella se reconoce que las actividades productivas, como la extracción minera, producen efectos indirectos positivos o negativos, afectando no sólo al individuo involucrado en la actividad sino también a parte o toda la sociedad.

Para promover el manejo de los recursos en forma sostenible es necesario evaluar los impactos ecológicos a largo plazo del uso de los ecosistemas, profundizando en el conocimiento de las ventajas y desventajas de los diferentes usos de la tierra, sus efectos en el mantenimiento y mecanismos de conservación de cada ecosistema específico y de los diferentes métodos de cuantificación económica que valoren dichos efectos.

La ciencia económica tradicional parte del supuesto que los factores de producción tierra, trabajo y capital son recursos escasos, que deben ser distribuidos entre diferentes usos alternativos. El análisis financiero busca a nivel del empresario, como individuo, maximizar sus ganancias a un costo mínimo. El análisis económico sin embargo tiene como objetivo optimizar la eficiencia en el uso de los recursos maximizando el bienestar de la sociedad.

Con la valoración económica de ecosistemas se intenta medir la sostenibilidad ecológica y económica de los proyectos de manejo de recursos naturales, implementados a nivel de los sistemas de producción (Olafo, 1992). La profundización en la investigación ecológica sobre el funcionamiento de los ecosistemas y el aporte de la economía a la aproximación del valor de los recursos, podría ser la base para que determinados usos tengan una asignación real en términos de valor económico.

El mantenimiento del ciclo y nivel de nutrimentos, control de erosión, recarga y descarga de agua subterránea, captura y liberación de CO₂, biodiversidad, hábitat de especies silvestres y generación de agua son parte de los beneficios más importantes del bosque tropical (de Groot, 1992). El cambio de uso de la tierra provoca alteraciones en las funciones y servicios ecológicos las cuales se traducen en costos directos e indirectos que deben ser considerados al comparar alternativas de uso (Pearce y Turner, 1991).

Una de las herramientas utilizadas en el análisis financiero y económico para evaluar los efectos del uso de un ecosistema, es el análisis B/C. Este se sustenta en la teoría neoclásica de la preferencia y bienestar de un individuo y la sociedad (Pearce y Turner, 1991). La inclusión de métodos directos e indirectos de valoración en el análisis B/C permite obtener una aproximación al verdadero valor de dichas funciones y un marco referencial sobre la importancia económica para la sociedad de un buen manejo de los recursos naturales.

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) a través del Proyecto "Conservación para el Desarrollo Sostenible en América Central", conocido como Olafo, está formulando las pautas para un plan de desarrollo sostenible dentro de un área de Uso Múltiple de la Reserva de la Biósfera Maya en el departamento de Petén, Guatemala. Desde 1989 Olafo desarrolla acciones en el área denominada San Miguel La Palotada. El objetivo del proyecto es demostrar la viabilidad de un tipo de desarrollo basado en el uso sostenible de los recursos naturales. La búsqueda de alternativas atractivas

económicamente se da entre otras a partir del manejo comunitario del bosque natural (Olafo II, 1992).

El presente estudio, busca valorar económicamente los bienes, funciones y servicios que genera un bosque tropical dentro de una zona definida como de Uso Múltiple de la Reserva de la Biósfera Maya.

II.

REVISION DE LITERATURA

2.1 Características generales de un ecosistema

El sistema natural está compuesto por el ambiente físico, químico y biológico donde se involucran ecosistemas de varios tipos: acuáticos, terrestres y mixtos, en diferentes tipos de uso; agricultura, manejo de bosques, pastos y recursos acuáticos entre otros (Fassbender, 1987). Un ecosistema es parte del sistema natural y puede entenderse como una unidad de ambiente y biota en interacción recíproca (Odum, 1965). Finegan (1994) define un sistema como una colección de componentes conectados, asociados e interdependientes, formando una unidad compleja, cuya distribución no es al azar, sino que está directamente relacionada con el funcionamiento del sistema.

Desde el punto de vista estructural un ecosistema tiene 4 componentes: 1) sustancias abióticas o elementos básicos y compuestos del medio 2) productores de organismos autótrofos, principalmente plantas verdes que fotosintetizan y 3) macroconsumidores, organismos heterotróficos principalmente animales que ingieren otros organismos y 4) Descomponedores o microconsumidores, organismos heterotróficos principalmente bacterias y fungis (Odum, 1969).

El sustrato o componente abiótico está formado por la roca madre y el suelo, que a través de procesos de meteorización liberan nutrimentos que quedan disponibles para las plantas y que combinado con el microclima determinan la productividad de los componentes bióticos. El microclima está formado por un conjunto de variables como intensidad de radiación solar, temperatura y humedad relativa del aire.

2.1.1 El ecosistema bosque tropical

Los trópicos abarcan la zona entre el trópico de Cáncer y el trópico de Capricornio, respectivamente a 23°27' latitud norte y sur. Se caracterizan por poseer: a) clima con variaciones térmicas diarias acentuadas, considerando que todas las regiones con oscilaciones térmicas diarias mayores que las anuales son tropicales b) poca variación entre la duración del día y la noche y c) régimen pluviométrico caracterizado por una época seca y una lluviosa (Lamprecht, 1990).

En su composición botánica, los bosques tropicales son extremadamente ricos, variados y con estructura heterogénea. La organización del bosque tropical se vincula con: a) su estructura, según la distribución de las especies en categorías diamétricas y b) su arquitectura, definida por diferentes estratos.

La diversidad de especies arbóreas depende de condiciones de micro hábitats existentes en cada zona, con variaciones

entre sitios cercanos, donde en una hectárea de bosque pueden encontrarse entre 100 y 500 especies con DAP mayor a 10 cm. y cuya riqueza florística está compuesta por gran cantidad de especies leñosas (Caín, 1956; Forster, 1972; Marmillod, 1982; Richards, 1966; cit. Lamprecht, 1990).

Otra característica importante de los bosques tropicales es la existencia de lianas y epífitas que conforman una parte importante de la biomasa.

Los bosques tropicales contienen gran cantidad de biomasa viviente o materia orgánica, presentan pocas pérdidas de nutrimentos en el tiempo y son ecosistemas de alta productividad en sustratos poco fértiles (Jordan, 1985; Golley et al. 1983).

Estos han adaptado evolutivamente mecanismos muy eficientes de captura de nutrimentos de la atmósfera así como su utilización y reciclado a través del sistema. Los distintos sistemas de manejo del bosque para la extracción de bienes inciden en la productividad primaria, el ciclaje de nutrimentos y la descomposición de la materia orgánica, siendo éstos los elementos más importantes en el análisis del funcionamiento del bosque tropical.

2.1.1.1 Producción ecológica

Colinveaux (1986) define la **producción bruta** de un nivel trófico como "la energía representada por la biomasa producida junto con la energía que es gastada en el trabajo de producción". La energía representada por la biomasa es la

producción neta y la energía usada en el trabajo de producción es la **respiración** (ecuación 1).

Este último término parece un poco extraño para ser usado como flujo de energía, pero los ecólogos lo han adoptado porque toda la energía liberada por organismos involucra la respiración de dióxido de carbono (CO₂), donde la actividad siempre resulta en liberación de carbono y la liberación de carbono indica actividad.

Ecuación 1. Producción Neta + Respiración = Producción Bruta

La medición más practicada en el campo de la ecología es la masa presente de un nivel trófico en determinado momento del tiempo. La masa de un nivel trófico se define como la biomasa presente por unidad de tiempo y área, medida usualmente en gramos de materia seca por metro cuadrado (gm⁻²) o unidades equivalentes (Colinveaux, 1986).

Cuando las mediciones son realizadas en diferentes momentos del tiempo se obtiene la tasa de producción neta que es la base de la producción ecológica .

2.1.1.2 Ciclaje de nutrimentos

Golley (1983) define ciclaje biológico o de nutrimentos como "la extracción de elementos del suelo y atmósfera por parte de los organismos vivientes, involucrando la biosíntesis en la formación de componentes complejos y el retorno de elementos hacia el suelo y atmósfera por la acción de los

descomponedores de residuos orgánicos o de la muerte de organismos que son parte de la biocenosis"

Charles y Richards (1983 cit. Imbach, 1987) definen tres procesos que debe cumplir el ciclo de nutrimentos en un ecosistema natural: a) proceso de ingreso o ganancia al sistema. b) proceso de egresos o pérdidas y c) proceso de circulación interna dentro del sistema.

El polvo atmosférico, las lluvias y la fijación de nutrimentos liberados por procesos de meteorización de la roca madre son considerados como ingresos al sistema. Las pérdidas o salidas de nutrimentos se refieren a procesos de lixiviación, escorrentía superficial, percolación y volatilización (fig. 1).

Los ciclos de nutrimentos a su vez pueden ser clasificados como ciclos abiertos y cerrados. Un ciclo abierto se da cuando las entradas y salidas de nutrimentos al sistema son considerados en cantidades importantes como es el caso del nitrógeno y el carbono y se denominan macronutrientes. El calcio, magnesio, potasio y fósforo entre otros son nutrimentos de ciclo cerrado o con entradas y salidas mínimas y definidos como micronutrientes.

Investigaciones sobre los patrones de ciclaje de minerales en los trópicos y sus componentes muestran modelos diversos en el ciclaje de nutrimentos, lo que significa que no hay un bosque tropical típico (Vitousek y Sanford, 1986).

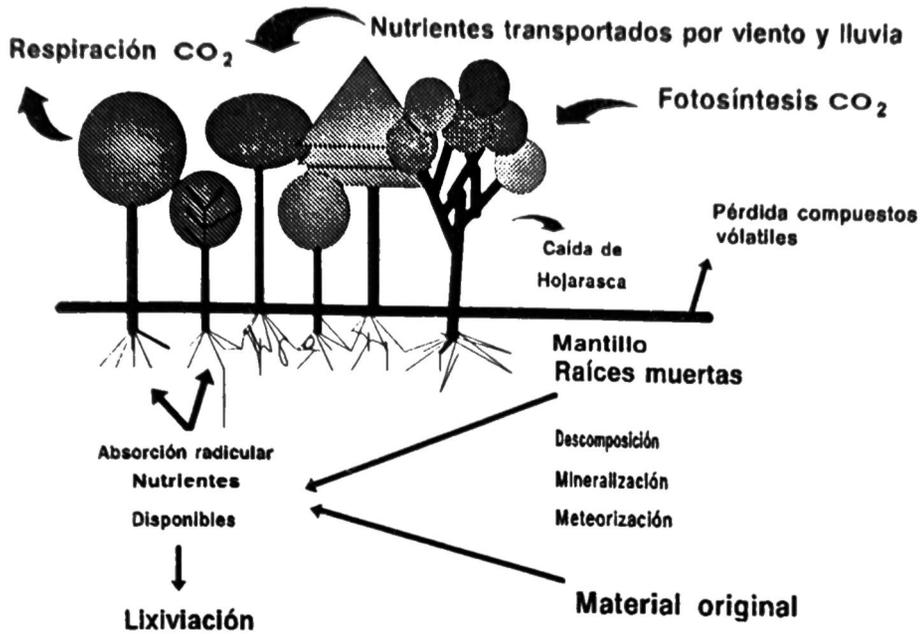


Figura 1. Circulación de nutrimentos en un sistema forestal

Fuente: Imbach, 1983

Dentro de los factores que afectan la variación del ciclaje de nutrimentos en diferentes bosques tropicales se encuentran el clima, la composición de especies, el estado sucesional y la fertilidad del suelo (Vitousek, 1982). A su vez, los mecanismos de captura, almacenaje, transferencia y pérdida de nutrimentos son explicados basicamente por la conducta colectiva de las comunidades de organismos vivos que se encuentran interactuando en el bosque.

2.1.1.3 Descomposición de nutrimentos

La descomposición de nutrimentos se refiere a los procesos físicos y químicos involucrados en la reducción de los constituyentes químicos elementales de la materia orgánica muerta vegetal y animal (Golley, 1983). Swift et al. (1981) señalan que los procesos de descomposición son regulados por tres grupos de variables: a) la naturaleza de la comunidad de descomponedores b) las características de la materia orgánica y calidad de los recursos y c) el ambiente fisicoquímico, el cual opera a escala macro y microclimática.

Dentro de las metodologías utilizadas en la medición de tasas de descomposición en bosques tropicales se encuentran: 1) el cálculo de la tasa de respiración de los microorganismos existentes en el suelo 2) el cociente entre cantidad de hojas que caen al mantillo y las que se mantienen en pie (k_1) y 3) la medición directa temporal de la diferencia de peso de las hojas. Cada uno de estos métodos representan una simplificación del proceso y ninguno provee una exacta medición de la tasa de descomposición de un ecosistema (Anderson y Swift, 1983).

2.1.2 Existencia y flujo de nutrimentos

Los nutrimentos en el bosque se pueden analizar a partir de dos componentes interrelacionados: a) existencias y b) flujos.

El contenido total o existencia de nutrimentos en un bosque se calcula por la cantidad de éstos en la biomasa aérea

2.1.1.3 Descomposición de nutrientes

La descomposición de nutrientes se refiere a los procesos físicos y químicos involucrados en la reducción de los constituyentes químicos elementales de la materia orgánica muerta vegetal y animal (Golley, 1983). Swift et al. (1981) señalan que los procesos de descomposición son regulados por tres grupos de variables: a) la naturaleza de la comunidad de descomponedores b) las características de la materia orgánica y calidad de los recursos y c) el ambiente fisicoquímico, el cual opera a escala macro y microclimática.

Dentro de las metodologías utilizadas en la medición de tasas de descomposición en bosques tropicales se encuentran: 1) el cálculo de la tasa de respiración de los microorganismos existentes en el suelo 2) el cociente entre cantidad de hojas que caen al mantillo y las que se mantienen en pie (k_1) y 3) la medición directa temporal de la diferencia de peso de las hojas. Cada uno de estos métodos representan una simplificación del proceso y ninguno provee una exacta medición de la tasa de descomposición de un ecosistema (Anderson y Swift, 1983).

2.1.2 Existencia y flujo de nutrientes

Los nutrientes en el bosque se pueden analizar a partir de dos componentes interrelacionados: a) existencias y b) flujos.

El contenido total o **existencia** de nutrientes en un bosque se calcula por la cantidad de éstos en la biomasa aérea

que se distribuye entre diferentes partes de la planta (hojas, ramas, frutos, corteza, tronco y raíces) y por el contenido de nutrimentos en la roca mineral.

Los valores de biomasa aérea incluye árboles en pie, plantas, epífitas y lianas que se encuentran en el bosque (Golley, 1983). Sanchez (1972) al igual que otros autores plantean que aproximadamente el 75% de la biomasa consiste en troncos y ramas gruesas, 15 a 20% en raíces, 4 a 6% en hojas y de 1 a 2% en la hojarasca o mantillo.

La biomasa total en bosques tropicales varían de 150 y 500 t/ha de materia seca para diferentes tipos de suelo tropical. Los cálculos de biomasa a partir del volumen de madera en pie no presentan grandes diferencias para suelos moderadamente fértiles e infértiles en bosques tropicales (Vitousek, 1982; Vitousek y Sanford, 1986; Brown y Lugo, 1984).

Vitousek y Sanford (1986) reportan valores de 316, 402 y 233 t/ha de biomasa aérea en suelos moderadamente fértiles en bosques de Panamá, Venezuela y Ghana respectivamente. Para suelos infértiles oxisoles y ultisoles se reportan valores de biomasa aérea de 510, 406, 335 y 182 t/ha en bosques tropicales de Costa de Marfil, Brasil, Venezuela y Colombia. Para bosques de Guatemala se reportan 457 y 353 t/ha de biomasa en madera a partir del fuste y de 255, 356, 259 y 164 t/ha para bosques de Panamá (Golley, 1975).

La biomasa en raíces en bosques tropicales se clasifica en raíces gruesas y finas. La cantidad de biomasa en raíces

finas ubicadas en la zona superficial del suelo aportan una parte importante del total de biomasa en raíces (Vitousek y Sanford, 1986). Biomasa seca en raíces para suelos moderadamente fértiles de Panamá (Golley et al. 1975) y Ghana (Greenland et al. 1960) son de 11.2 t/ha y 24.8 t/ha respectivamente. Para suelos infértiles de Brasil y Venezuela se reportan valores de 32 t/ha y 56 t/ha. (Klinge, 1973; Jordan et al. 1982).

El cuadro 1. indica la biomasa aérea y en raíces para diferentes bosques tropicales clasificados según temperatura y precipitación (Brown y Lugo, 1984). Para un total de 36 observaciones se obtuvo un valor promedio para la biomasa aérea de 250 t/ha (d.e 109) y 50 t/ha (d.e 32) para la biomasa en raíces, lo que hace un total promedio de biomasa seca para bosques tropicales de 307 t/ha (d.e 117).

Los nutrimentos existentes en la roca mineral y suelo, se calculan a partir del análisis químico del contenido de materia orgánica en los diferentes estratos o profundidad del suelo, variando a partir de condiciones microclimáticas, biológicas y tipos de suelo.

El flujo de nutrimentos comienza a partir de la caída de hojas, frutos, flores y ramas al suelo formando lo que se conoce como hojarasca o mantillo. A partir de la tasa de descomposición respectiva para cada tipo de bosque, la materia orgánica es transformada liberando los nutrimentos que quedan disponibles para las raíces y de esta manera reingresar al sistema de circulación interna de la planta.

Cuadro 1. Biomasa seca en bosques tropicales según temperatura y precipitación (T/ha).

TEMP °C	PREC. mm/año	AEREA	RAICES	TOTAL	(a)	(b)	FUENTE
12	1500	347	73	420	82.6	17.4	Brun, 1976
13	4000	310	39	349	88.8	11.2	Edwards, 1977
15	3000	279	65	344	81.1	18.9	Tanner, 1980
20	1270	146	35	181	80.7	19.3	Bandhu, 1973
20	1270	320	51	371	86.3	13.7	Freson, 1974
20	1600	286	46	332	86.1	13.9	Enrigt, 1979
20	2300	271	13	284	95.4	4.6	Golley, 1975
22	4200	197	39	236	83.5	16.5	Kellman, 1970
23	3450	228	89	317	71.9	28.1	Jordan, 1971
23	3450	237	116	353	67.1	32.9	Crow, 1980
23	3450	198	73	271	73.1	26.9	Odum, 1970
24	603	28	12	40	70.0	30.0	Vyas, 1977
25	1651	305	54	359	85.0	15.0	Greenland, 1960
26	1807	432	42	474	91.1	8.9	Bandhu, 1973
26	850	42	18	60	70.0	30.0	Lugo, 1978
26	800	82	58	140	58.6	41.4	Jung, 1969
26	1100	69	10	79	87.3	12.7	Ogawa, 1965
26	1200	144	16	160	90.0	10.0	Ogawa, 1965
26	1400	268	25	293	91.5	8.5	Ogawa, 1965
26	1900	243	48	291	83.5	16.5	Muller, 1965
26	2000	316	11	327	96.6	3.4	Golley, 1975
26	2100	513	25	538	95.4	4.6	Hurtel, 1975
26	3521	192	97	289	66.4	33.6	Klinge, 1978

cont..

Cuadro 1. Biomasa seca en bosques tropicales según temperatura y precipitación (T/ha) (continuación).

TEMP °C	PREC. mm/año	AEREA	RAICES	TOTAL	(a)	(b)	FUENTE
26	3521	377	104	481	78.4	21.6	Klinge, 1978
27	1800	431	24	455	94.7	5.3	Huttel, 1975
27	1147	253	10	263	96.2	3.8	Drew, 1978
27	1147	238	24	262	90.8	9.2	Sabhasri, 1968
27	2700	334	32	366	91.3	8.7	Ogawa, 1965
27	3000	326	55	381	85.6	14.4	Folster, 1976
27	3000	179	30	209	85.6	14.4	Folster, 1976
27	3000	203	34	237	85.7	14.3	Folster, 1976
27	3726	322	60	382	84.3	15.7	Hozumi, 1969
27	1771	309	132	441	70.1	29.9	Klinge, 1978
27	1771	406	67	473	85.8	14.2	Klinge, 1977
30	1100	205	34	239	85.8	14.2	Bandhu, 1973

a = Aerea/Total (%)

b = Raices/Total (%)

fuentes: Brown y Lugo, 1984

Vitousek y Sanford (1986) reportan valores de 8.1 y 9.0 t/ha de biomasa seca en el mantillo en sitios moderadamente fértiles de Costa Rica y Guatemala con valores máximos para dichos suelos de 12.4 t/ha. Para suelos infértiles de Costa de Marfil, Colombia y Venezuela los autores reportan valores de biomasa seca en el mantillo de 11.9, 12 y 5.8 t/ha. respectivamente.

2.1.3 Beneficios del bosque tropical

El área de bosque tropical se estima en 1.200 millones de ha. de las cuales 900 millones corresponden a bosques húmedos (Steinlin, 1982; Timberlake et al. 1982 cit. de Groot 1992). En la actualidad alrededor de 10 a 12 millones de ha. de bosque son perdidos anualmente por la intervención humana, lo que representa una tasa de deforestación anual de 1 a 2% (de Groot, 1992).

Gran parte de esta acelerada conversión se debe al avance de las tierras agrícolas provocando pérdidas de las especies existentes y afectando las funciones y servicios que cumplen naturalmente los bosques tanto a nivel local como global.

A su vez, los bosques tropicales son utilizados por la población como fuente de materias primas y alimentos. La madera y leña son productos importantes que se aprovechan, pero los bosques suministran bienes considerados muchas veces como "secundarios" tales como lianas, fibras, látex, corteza, medicinas, frutos, raíces, forrajes, miel y carane silvestre (Essiamah, 1983; Levingston y Zamora, 1983; cit. Lamprecht 1990).

Si bien los bosques tropicales generan beneficios por la extracción de bienes, las funciones ecológicas son las que juegan un rol primordial en el control de los cambios ambientales y como base de una producción constante de los bienes mencionados anteriormente.

El cuadro 2. resume las diferentes categorías de funciones que cumplen los bosques del trópico según De Groot (1990). Se clasifican en funciones productivas, de regulación, de información y de mantenimiento.

Dentro de las cuatro funciones principales del bosque tropical, la función productiva es la más reconocida, utilizada y valorada económicamente por el hombre. Según las formas de manejo y el grado de extracción de los recursos, la intensidad con la cual se cumplen las funciones de regulación, mantenimiento e información.

Las funciones de regulación son de gran importancia para el equilibrio del ecosistema en el tiempo y en conjunto permiten que las funciones productivas se desarrollen. A su vez, los efectos en las funciones de regulación por el mal manejo del bosque provocan impactos negativos en el ambiente y perjuicios para el hombre.

Las funciones de mantenimiento se refieren tanto a los procesos evolutivos que se desarrollan dentro del ecosistema como a su estructura, incluyendo el mantenimiento de hábitat de poblaciones humanas como la de cultivos asociados al bosque.

Cuadro 2. Funciones del bosque tropical

<p>FUNCION PRODUCTIVA</p>	<p>Alimentos Recursos medicinales Materia prima para manufactura Combustible y energía Recursos ornamentales Recursos forrajeros</p>
<p>FUNCION DE REGULACION</p>	<p>Almacenamiento y reciclaje de nutrimentos Control biológico Mantenimiento de la diversidad biológica Recarga de acuíferos Descarga de acuíferos Secuestro y liberación de CO₂ Regulación climática Control de Erosión</p>
<p>FUNCION DE MANTENIMIENTO</p>	<p>De hábitat de poblaciones humanas De cultivos asociados al bosque De la estructura del paisaje De procesos evolutivos</p>
<p>FUNCION DE INFORMACION</p>	<p>Estética Cultural Científica y educativa</p>

fuentes: Adaptado de Groot (1992)

El mantenimiento de los procesos evolutivos de las especies que habitan en el bosque y de la estructura del paisaje son funciones importantes al evaluar los impactos por diferentes tipos de intensidad de extracción del bosque. La estructura del paisaje varía con la extracción simultánea en el tiempo de diversas especies del bosque y puede influir en el desarrollo de la dinámica de la población de las mismas y de otras especies que viven interrelacionadas.

Por último, los bosques son de gran importancia para el ser humano como función de información, incluyendo la investigación científica, educativa, cultural y estética.

2.2 Valoración económica de un ecosistema

2.2.1 Propiedad del uso de recursos

El derecho de propiedad de un recurso se relaciona con el derecho de uso (Pearce y Turner, 1991).

El reconocimiento del derecho de uso común o bien público, diferenciándolo del derecho privado surge a partir del estudio de Hardin (1968). Los derechos de uso son privados si el propietario puede identificarse en forma individual y los beneficios y costos generados por el uso son también apropiados individualmente. El aire, agua y ambiente en general son bienes públicos y la propiedad de éstos es asignada a toda la sociedad.

En las áreas de bosque tropical de frontera agrícola los campesinos desarrollan sus actividades en tierras públicas/nacionales. En éste caso los beneficios y costos directos de la producción de maíz y extracción de madera son privados y los costos o beneficios indirectos del uso repercuten en toda la sociedad (liberación y secuestro de carbono, contaminación y descontaminación del aire).

El uso del ambiente en forma privada o pública, genera efectos que se identifican en el sitio o fuera del sitio y que pueden ser asumidos en forma privada o por la sociedad en su conjunto.

Por ejemplo, un efecto en el sitio se da por el uso de determinada técnica de cultivo en zonas de pendiente, donde la pérdida de suelo afecta al individuo en forma privada por la disminución de los rendimientos en los cultivos y en su ingreso económico, pero también tiene un impacto o externalidad para la sociedad por la cantidad de sedimentos que se depositan en un río que alimenta un embalse para generación de energía eléctrica.

2.2.2 El análisis B/C y su aplicación para medir efectos intangibles

Squire y Van der Tak (1980) definen el análisis de proyectos como un método de presentar la elección entre usos alternativos de los recursos de manera conveniente y global.

El análisis de proyectos valora los beneficios y costos de un proyecto y los reduce a un denominador común (\$). Si los beneficios son superiores a los costos expresados en términos del denominador común el proyecto es aceptable y en caso contrario debería ser rechazado.

El análisis económico de proyectos utiliza el método de Beneficio/Costo (B/C) como herramienta de medición de los beneficios y costos directos, valorados a sus precios sociales.

Dixon et al. (1988) definen el método beneficio/costo (B/C) como una técnica de análisis de existencias y flujos de beneficios y costos en un período de tiempo y se basa en las preferencias individuales, la disponibilidad a pagar y el bienestar social.

Las preferencias individuales son una base de medición de los beneficios (Pearce y Turner, 1991; Ruitenbeek, 1990). Estas preferencias se relacionan con la conducta de las personas ante diferentes opciones de uso de los bienes y servicios que provee el ambiente.

Una preferencia positiva puede entenderse como la disponibilidad a pagar del individuo por el disfrute de un bien o servicio (Pearce y Turner, 1991; Pearce y Warford, 1993). La suma de todas las preferencias individuales en una sociedad permite construir una curva de demanda, equivalente a la disponibilidad de la sociedad a pagar por el disfrute de determinado bien.

El valor actualizado de los beneficios y costos es un indicador de la aplicación del método B/C, que permite obtener valores de comparación en el tiempo entre diferentes alternativas de uso. El valor actualizado neto (VAN) se define como la sumatoria en (n) años de los flujos de beneficios (B_n) y costos (C_n) de un proyecto, actualizados al año 1 mediante el factor $(1 + i)^n$, siendo i la tasa de interés social o sombra (ecuación 2).

$$\text{ecuación 2. } \quad \text{VAN} = \sum_{n=1}^n (B_n - C_n) / (1 + i)^n$$

donde:

- VAN = Valor Actualizado Neto
- B_n = Beneficios en el año n
- C_n = Costos en el año n
- i = Tasa de interés sombra
- n = Años ($n = 1, 2, 3, \dots, n$)

Los precios de los productos e insumos en el análisis económico son precios sombra o económicos.

Squire y Van der Tak (1980) definen el precio sombra como el valor de la contribución que todo cambio marginal en la disponibilidad de productos o factores de producción aporta a los objetivos sociales y económicos básicos del país.

Los precios sombra o de cuenta son utilizados en el análisis económico porque reflejan los precios sociales. Son

los precios de mercado ajustados por las distorsiones del mismo (Dixon et al. 1988; Hufschmidt, 1983).

Los precios de mercado más importantes a considerar en el análisis económico, transformados a precios sombra son las divisas, precios de insumos y productos, tasa de interés y mano de obra.

Gittinger (1972) recomienda como precio sombra de la divisa el fijado por el organismo central de planificación del país donde se realiza el proyecto. Squire y Van der Tak (1980) definen Tipo de Cambio Sombra (TCS) o precio sombra de la divisa como la razón entre el Tipo de Cambio Oficial (TCO) y el Factor Estándar de Conversión (FEC).

El factor estándar de conversión (FEC) es la razón entre el valor a precios de frontera de todas las importaciones y exportaciones y su valor a precios internos (ecuación 3).

Ecuación 3.

$$\text{FEC} = \frac{M + X}{M (1+T_M) + X (1-T_X)}$$

donde:

- FEC = Factor estándar de conversión
- M = Valor cif de importaciones totales de la economía
- X = Valor fob de exportaciones totales de la economía
- T_M = Impuesto neto promedio a las importaciones totales
- T_X = Impuesto neto promedio a las exportaciones totales

El FEC multiplicado por los precios de mercado es utilizado también para transformar dichos precios a precios sombra de insumos menores y productos no comerciados internacionalmente (Squire y Van der Tak, 1980).

A falta de precios sombra calculados por el organismo de planificación, los insumos y productos comerciados internacionalmente se valoran según sus respectivos precios de mercado mundial, tanto de importación (cif = costo, seguro y flete) como de exportación (fob = libre a bordo) (Little y Mirrlees, 1974; Squire y Van der Tak, 1980).

La tasa de interés de mercado refleja la rentabilidad del capital por una opción de colocación de uso bancario. La tasa nominal de descuento social indica la tasa a la cual se optimiza el uso de los recursos a nivel de la sociedad (Pearce y Warford, 1993).

En el análisis económico temporal no debería utilizarse la tasa de interés a precios corrientes ya que ésta no considera la devaluación del capital por el aumento general de precios, siendo ésta última la mayor crítica para la utilización de precios corrientes como precios sombra.

Von Platen (1995) señala que para actualizar flujos de beneficios y costos a precios constantes no debería utilizarse la tasa de interés a precios constantes, dado por la influencia que ejerce la eliminación total del efecto inflacionario bajo el supuesto de precios constantes.

Para el análisis económico de proyectos de manejo de recursos se puede considerar la tasa real de interés internacional, conformada como un promedio de tasas reales de interés a nivel de todos los países.

La tasa de interés real internacional oscila entre 2 y 4% (Von Platen, 1995) y sería una tasa acorde para la evaluación de proyectos de manejo de recursos. Esto se debe a que los proyectos necesitan de grandes inversiones iniciales con generación de beneficios netos positivos en el mediano y largo plazo y en un análisis económico temporal, la utilización de bajas tasas de interés favorecerá el resultado del VAN.

2.2.3 Valoración de beneficios y costos de un ecosistema

Muchos autores han identificado diferentes categorías de los beneficios y costos que se obtienen del uso de un ecosistema (Dixon y Sherman, 1990; Pearce y Turner, 1989; Aylward y Barbier, 1991; Barbier, et al. 1991, Windevoxhel, 1992). Un ecosistema puede ser utilizado en forma directa o indirecta. Asimismo, pueden no ser utilizadas y sin embargo tienen un valor de opción y un valor de existencia (figura 2).

Los individuos valoran los bienes por su uso directo. Este se refiere al valor de utilizar los productos y servicios de cierto ecosistema para la obtención de beneficios directos (bienes). El valor de uso directo del ecosistema puede entenderse como el valor económico obtenido de los productos extraídos del ecosistema.

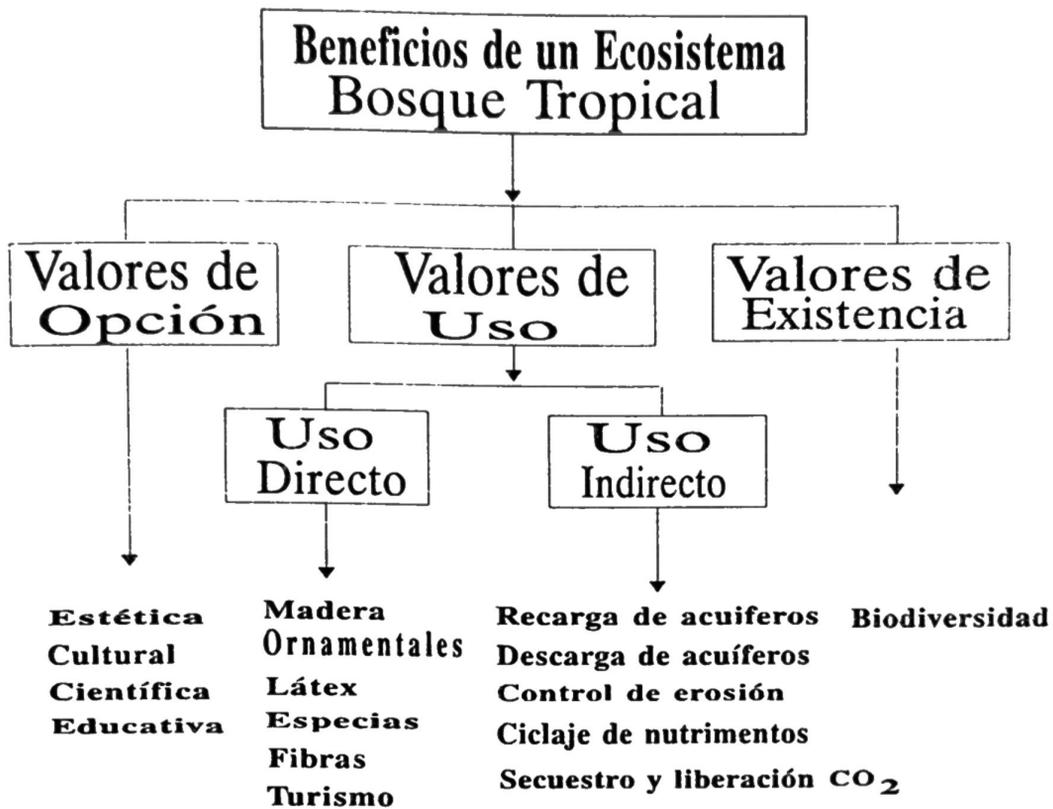


Figura 2. Beneficios de un bosque tropical

Fuente: Barbler et al, 1991

Los valores de uso indirecto se refieren al valor de las funciones y servicios ecológicos que cumplen los ecosistemas y que son afectados por algún tipo de intervención humana o natural. La función ciclaje de nutrientes, captura y fijación de CO₂, control de erosión, soporte de vida a otros ecosistemas o hábitats, descarga y recarga de aguas subterráneas y control de inundaciones son algunas de estas funciones y cuyo valor puede ser medido indirectamente.

Ruitenbeek (1990) plantea que en ausencia de valores de determinada especie o ecosistema, pueden utilizarse los valores de opción y de existencia.

El valor de opción es el valor que un individuo puede asignar según su disponibilidad a pagar para preservar el acceso futuro a un servicio o bien ambiental. Dentro de esta categoría se incluyen las funciones de estética, cultural, científica y educativa. El valor de existencia es el valor que los individuos dan a la satisfacción de conocer algunas especies y ambientes naturales. Se incluye dentro de esta categoría, la biodiversidad.

2.2.3.1 Beneficios económicos

Los beneficios económicos de un ecosistema se clasifican en beneficios directos e indirectos.

El **beneficio directo** de un ecosistema se define como el ingreso bruto. En el análisis económico el ingreso bruto es el valor obtenido de la producción/extracción de un bien con su precio sombra.

El **beneficio indirecto** de un ecosistema se define como el valor económico obtenido de una función o servicio ecológico estimado por métodos de valoración indirecta.

2.2.3.2 Costos económicos

Para obtener beneficios directos se incurren en costos que deben ser valorados económicamente. Los costos se dividen en costos directos e indirectos (Dixon et al. 1988; Hufschmidt et al. 1983; Windevoxhel, 1992).

Los **costos directos** son aquellos en los cuales se incurre en el sitio por el desarrollo de determinada actividad productiva. Se trata de los costos de insumos, mano de obra y capital y todos aquellos costos ligados al desarrollo de la actividad productiva y de transformación. La valoración económica de los costos toma en cuenta los precios sombra.

Los **costos indirectos** se refieren al valor de los impactos o "externalidades" producidos dentro o fuera del sitio por el uso del ecosistema; tal es el caso de la emisión de gases a la atmósfera por la quema del bosque o la pérdida de suelo en zonas agrícolas.

La cuantificación o aproximación física de estos impactos dependerá principalmente del: tipo de función a ser valorada y su relación con la intensidad de uso, la identificación y medición física y ecológica los efectos y de la información disponible.

Económicamente estos costos se valoran mediante la utilización de métodos de valoración indirecta que serán analizados en el próximo acápite.

2.2.4 Métodos de valoración económica

Los métodos de valoración económica de beneficios y costos indirectos de las funciones del bosque que no son considerados dentro de un mercado y que no pueden ser valorados directamente, se clasifican en métodos de valoración económica directos e indirectos.

Ambos métodos permiten aproximar el valor económico de un bien o función y calcular los beneficios y costos de los efectos dados por determinado uso.

Los métodos directos utilizan precios de mercado y/o sombra. Incluyen el método de cambio en productividad, costo de reemplazo, costo de sustitución, pérdida de ingresos, costo efectividad, costo de oportunidad y costos preventivos.

Los métodos de valoración indirecta no usan precios de mercado y dentro de esta categoría se encuentran los métodos de valoración contingente, costo de viaje y métodos de valoración hipotética.

Los más usados y que se detallarán a continuación son: cambios en productividad, costo de reemplazo, costo de sustitución, pérdida de ingresos, costo de oportunidad, método de valoración contingente y costo de viaje.

2.2.4.1 Cambios en productividad

Los cambios en productividad causados por un proyecto son identificados dentro y fuera del sitio.

Los primeros, son por ejemplo los aumentos en rendimientos de granos básicos en un proyecto como resultado de la utilización de técnicas de protección del suelo y de aportes de nutrimentos. Los cambios en productividad fuera del sitio, corresponden a las externalidades o efectos indirectos ambientales y económicos productos de la intervención (Dixon, 1988).

La productividad del suelo no sólo se relaciona con el contenido de materia orgánica, sino que depende también de la estructura del suelo, la incidencia de malezas y otros factores que afectan el crecimiento de las plantas. La disminución en productividad puede ser vinculada con la pérdida de suelo y la primera ser una aproximación al valor de dicha pérdida.

Numerosos estudios han mostrado una correlación directa entre profundidad del suelo y rendimientos de los cultivos (Gregersen, 1986). Los niveles de pérdida de suelo que pueden ser tolerados sin disminución de productividad dependen del tipo de suelo y del clima.

Valores límites de pérdida de suelo sin disminución de productividad se encuentran entre 4 y 15 t/ha/año toneladas para diferentes tipos de suelos tropicales (Bennett, 1939;

Lombardi y Bertoni, 1975 cit. Gregersen et al. 1986). En un estudio en la India se encontró que en cultivos de maíz por un cm. de suelo perdido la producción disminuyó de 100 kg/ha a 52 kg/ha en dos años (Tejwani y Babu, 1982 cit. Gregersen, 1986).

Los cambios en productividad fuera del sitio pueden analizarse por ejemplo, según los efectos del sistema de tumba y quema en la función de recarga y descarga de aguas subterráneas identificados en una zona alejada del área del cultivo. Esta variación en la función recarga y descarga puede afectar áreas aledañas de pasturas para ganado, donde el cambio en los niveles freáticos repercute en la disponibilidad de agua de las raíces pudiendo secarse áreas de pastizales, lo que conlleva a una disminución de la productividad en determinada época del año.

Sención, et al. (1992) utilizaron este método en los humedales de Petexbatún, Petén, Guatemala para valorar el beneficio de la función descarga de aguas subterráneas de los humedales hacia las zonas de pastura para ganado. Se aproximó la cantidad de hectáreas afectadas en ausencia de dicha función del humedal durante la época seca y se calculó la productividad perdida por hectárea en términos de producción agrícola.

Fleming (1983 cit. Dixon 1988) en un estudio de caso de un proyecto de conservación de suelos en Nepal utilizó la técnica de cambio en productividad de áreas de pastos y forrajes, medido en la variación en la producción de leche y fertilizante orgánico del ganado.

2.2.4.2 Costo de reemplazo

Los efectos de una función ecológica pueden ser evaluados por los costos que implicarían reemplazar dicha función artificialmente. Este reemplazo se considera como una aproximación al valor del servicio que el ecosistema natural ofrece (Dixon 1988). Esta técnica tiene dos supuestos: la magnitud de los daños pueden ser medidos y el costo de reemplazo no puede superar el valor de la calidad del recurso productivo destruido.

En un estudio de caso en Corea, Dixon (1988) utilizó este método para valorar las toneladas de suelo depositadas en la parte baja de la cuenca de un uso inadecuado en la parte alta de la cuenca. La pérdida de nutrientes y suelo no solo redujo la productividad y el valor de la tierra de la parte alta de la cuenca sino que también afectó los niveles de sedimentos en los ríos de la parte baja.

El método de costo de reemplazo incluyó la reposición de la cantidad de suelo y nutrientes perdidos, así como los costos de mantenimiento, compensación e irrigación. El costo de reposición del suelo incluyó el valor de la tierra, transporte y mano de obra para el esparcimiento del suelo en el sitio. En el caso de los nutrientes fue calculado con instrumentos la cantidad de nutrientes perdidos por ha. y el costo de reemplazo se valoró a precios de mercado.

Gregersen (1986), plantea que los beneficios del control de erosión de un proyecto de manejo de cuencas, pueden ser valorados a partir del costo en fertilizante que sería

necesario aplicar para mantener un determinado nivel de producción. El valor c.i.f y f.o.b de estos fertilizantes pueden ser una buena aproximación al costo de reemplazo.

2.2.4.3 Costo de sustitución

El método de costo de sustitución se define como el costo de utilizar diversas prácticas que controlen físicamente la pérdida de suelos y es utilizado para valorar la función control de erosión de determinados usos de la tierra.

Sung-Hoon et al. (1988 cit. Dixon 1988)) utilizaron éste método considerando siete sistemas de manejo de suelos en cultivos, comparándola con la práctica existente. Se obtuvo información de parcelas durante dos años definiendo así la pérdida de suelos (kg/ha/año) y sus costos de manejo (\$/ha).

Métodos de control de erosión y sedimentos utilizados en el este y oeste de los Estados Unidos han sido evaluados por Thronson (1973, cit. Gregersen et al. 1978). Datos de costos fueron aplicados en métodos de control de pérdida de suelos, considerando costos de mano de obra, equipo y materiales. Los costos de las prácticas de conservación de suelos fueron comparados con los costos de dragado de sedimentos en los canales de agua y lagunas de inundación. Los resultados de dichos estudios indicaron que la inversión en métodos de control de erosión es menos costosa que la remoción de sedimentos de los canales.

Una de las limitaciones de éste método en ecosistemas tropicales es que su aplicación depende de la disponibilidad

de información y la escogencia de sustitutos coherentes y adecuados a la realidad de la zona estudiada.

2.2.4.4 Pérdida de ingresos

Esta técnica es utilizada principalmente para medir los daños de la contaminación del agua y el aire. Las pérdidas de ingresos de la población y los costos médicos de las personas afectadas por la contaminación ambiental deben ser considerados como un costo del proyecto (Mishan 1982; Dixon et al. 1988).

Cuando el efecto ambiental puede ser conocido en el corto plazo esta técnica da una aproximación a dicha pérdida, pero si el efecto ambiental no es conocido en el largo plazo o no puede ser fácilmente identificado no es recomendable su utilización. (Hufschmidt et al. 1983). Dixon (1988), plantea que para obtener buenas aproximaciones se debe conocer la causa y el efecto del impacto, asignando valores reales de atención médica dependiendo del tipo de efecto.

2.2.4.5 Costo de oportunidad

El costo de oportunidad de un recurso que no tiene precio, puede ser estimado por el valor de otros usos alternativos sea agrícola, forestal u otros (Pearce y Turner, 1991, Dixon, 1988; Ruitenbeek, 1990). El costo de oportunidad de preservación es el costo de no uso comercial de un recurso (preservación de un parque nacional), estimado mediante los ingresos generados por otros usos próximos (Dixon 1988).

Este método es aplicado en el caso de valoración de bosques, establecimiento y protección de hábitats de vida silvestre, sitios histórico y culturales.

Esta técnica ha sido utilizada en el estudio de Hell's Canyon (Krutilla y Fisher, 1985), donde la construcción de una presa de generación hidroeléctrica provocaba una alteración irreparable a un hábitat de vida silvestre único. Los resultados del análisis concluyeron que los beneficios del proyecto propuesto y bajo ciertos supuestos no justificaban las pérdidas del hábitat natural. El costo de oportunidad aplicado para el valor de conservación fué definido como el costo de generación de energía de otras fuentes.

Fleming (1983) la utilizó para aproximar el valor de la leña en un bosque de Nepal, a partir del tiempo que demora una familia en recoger determinada cantidad de leña, valorada al costo de oportunidad de la mano de obra del lugar. Kramer et al. (1993; cit. Ruitenbeek, 1990) utilizaron como costo de oportunidad de la creación de un parque nacional en Madagascar los ingresos por actividades agrícolas que dejarían de percibir los pobladores que viven cercanos al parque.

Este método da valores confiables cuando se tiene buena información sobre las actividades productivas del sitio estudiado como: jornales, desempleo, ingresos y costos.

2.2.4.6 Método de valoración contingente

Esta técnica se aplica para simular un mercado inexistente y construir la curva de demanda de la preferencia de determinado bien ambiental (Pearce y Turner, 1990).

Es un método que utiliza las encuestas cuando un recurso natural no tiene precio de mercado. Permite determinar la voluntad de pago de una sociedad para la protección o mejoramiento de un recurso natural. Se aplica para valorar la preservación de especies, la diversidad genética, la conservación de patrimonio histórico y cultural.

Otras técnicas de valoración contingente utilizan cuestionarios para determinar la reacción del consumidor ante ciertas situaciones y se incluyen también: juegos de construcción, experimentos de aceptación, opciones de menor costo y técnicas de especialistas (Dixon, 1988; Hufschmidt, 1983; Pearce y Turner, 1991).

Los métodos de valoración hipotética sin precio de mercado, se aplican mediante encuestas a los afectados por el proyecto para conocer la disponibilidad a pagar por el desarrollo de determinada actividad, incluyéndose entre otros: juegos de intercambio y encuestas de costo-precio (Pearce y Turner, 1990; Dixon y Sherman, 1990).

Estas técnicas de valoración indirecta han sido utilizadas en países desarrollados, pero los resultados de las encuestas no son muy confiables cuando hay desconocimiento por

parte de los encuestados de información sobre el recurso natural o importancia del ecosistema analizado.

III. OBJETIVOS

VALORAR ECONOMICAMENTE LOS BIENES Y FUNCIONES GENERADOS POR EL ECOSISTEMA BOSQUE TROPICAL, EN EL AREA DE LA CONCESION COMUNITARIA DE SAN MIGUEL LA PALOTADA.

IV. HIPOTESIS

EL BENEFICIO ECONOMICO GENERADO POR LAS FUNCIONES ECOLOGICAS ES SUPERIOR AL OBTENIDO POR LOS BIENES

V. METODOLOGIA

5.1 Area de estudio

El área de estudio está ubicada dentro de una zona de uso múltiple, adyacente al lado oeste del biotopo San Miguel La Palotada, en la Reserva de la Biósfera Maya (RBM). Pertenece al municipio de San Andrés, El Petén, Guatemala. Se localiza entre las coordenadas 17°07'40"-17°25'45" latitud norte y 89°53'30"-90°03'27" longitud oeste, dentro de lo que se denomina el Area Demostrativa del proyecto CATIE-Olafo.

El área demostrativa del proyecto Olafo tiene una extensión de 57,800 ha y abarca tres aldeas El Cruce a dos Aguadas, San Miguel la Palotada y La Pasadita y siete caseríos, con una población de 317 familias, un promedio de 6 personas por familia y una densidad de 3 habitantes por km². Al área se ingresa por una carretera de balastro a una distancia aproximada de 46 km de la cabecera municipal de San Andrés (Catie, 1992).

El área de estudio de la Tesis denominada en adelante X Unidad de Consección Comunitaria de San Miguel (UMSM) tiene una extensión de 7,060 ha. e incluye la comunidad de San Miguel y los asentamientos de Yarché, La Milpa y Chinhá.

Según datos de la estación meteorológica del Parque Nacional Tikal se registran dos estaciones: la seca que se extiende desde diciembre a abril y la lluviosa de mayo a noviembre (Morales, 1995). En el gráfico 1. se muestran los datos de temperatura y precipitación promedio mensual para el período 1988-1994.

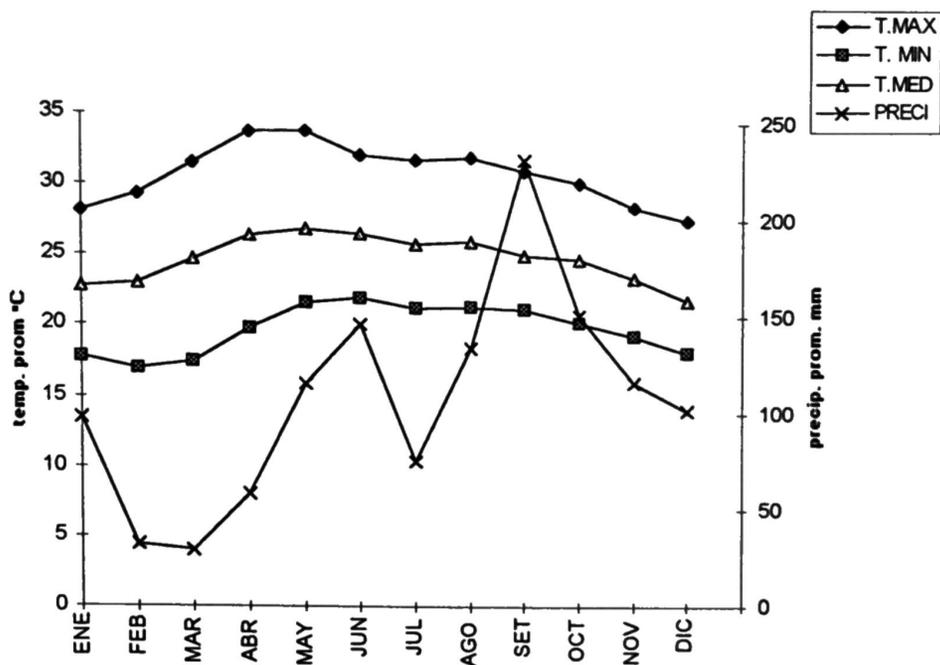


Gráfico 1. Datos climáticos de Tikal - prom. mensuales (1988-1994)

La temperatura promedio anual es de 25° C con mínimos de 16° y máximos de 34° C. La precipitación promedio anual fue de 1,283 mm/año con una mínima mensual de 28 mm/mes y un máximo de 251 mm/mes.

En el gráfico 2. se muestra el estrés hídrico del área al comparar los niveles de precipitación y evapotranspiración potencial. Entre los meses de enero a agosto la evaporación es mayor que la precipitación y solamente se presenta una situación inversa durante 4 meses al año.

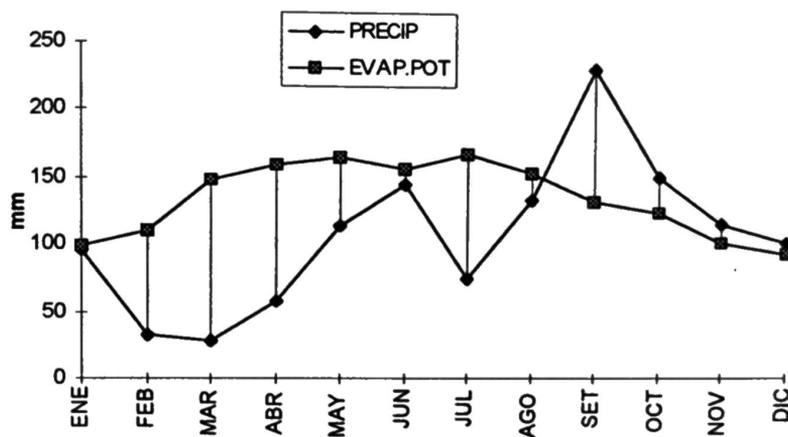


Gráfico 2. Precipitación y evapotranspiración potencial en Tikal, prom. mensuales (1988-1994)

Con base en los datos de latitud, precipitación, biotemperatura y elevación sobre el nivel del mar aplicados a la metodología de clasificación de zonas de vida de Holdridge (1982) el área de estudio corresponde a la zona de vida de bosque subtropical seco con transición a húmedo (Luján, 1996)¹.

5.1.1 Población

Según datos de 1980 del IV Censo de Habitación y IX de Población de Guatemala en las comunidades de San Miguel y la Milpa había 43 personas. En el año 1990 en la comunidad de San Miguel, la Milpa y Yarché se registraron 169 habitantes (Catie, 1992) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Historia de la población en San Miguel (personas)

CASERIOS	1980	1990	1995
San Miguel	43	111	103
La Milpa	4	25	52
Yarché	s/d	33	27
Total	47	169	182

fuentes: Censo de Población de Guatemala
Datos de campo

¹ Luján, R. Instituto Tecnológico de Costa Rica (com. pers)

Reyes (1996) contabilizó para el año 1995 un total de 182 habitantes en el área de estudio de los cuales 103 eran de San Miguel, 52 de la Milpa y 27 de Yarché.

La tasa anual de incremento de la población de la UMSM entre el período 1981-1995 fue de 17.9 personas/año. Este incremento es producto de los flujos migratorios de campesinos en busca de tierras agrícolas.

5.1.2 Actividades económicas principales

El área de San Miguel es característica de las zonas de frontera agrícola en las cuales existe una intensa conversión de bosque a agricultura, la tierra es propiedad del Estado, los servicios sociales y la infraestructura vial es escasa con débil presencia institucional.

Las actividades desarrolladas en la zona son la tumba y quema del bosque para agricultura migratoria, la extracción de hojas de *Chamaedorea* spp (xate), de látex del árbol *Manilkara achras* (chicle), maderas de las especies *Swietenia Macrophylla* (caoba), *Cedrela odorata* (cedro) y caza de fauna silvestre. El ingreso promedio mensual por familia es de Q. 300 (quetzales) o aproximadamente \$ 50 (Catie, 1990)².

El cuadro 4. detalla el uso de la tierra en el área de estudio para los años 1987 y 1991. La categoría de "agricultura" incluye las áreas de cultivos y zonas en

² (T.C. \$ 1 = 5 Q.)

descanso llamadas guamiles. La tierra se deja en descanso después de 2 ó 3 años de cultivo.

La tasa de deforestación promedio en el período 1987-1991 ascendió a 47 ha/año (mapas 1,2 y 3). La proyección lineal de la información disponible para 1987-1991 permite estimar que en 1994 la extensión de bosque será de 6,451 ha. y el área agrícola de 609 ha.

Cuadro 4. Uso de la tierra en el área de estudio (ha)

USO	1987	1991	1994 ^a
Bosque	6,825	6,592	6,451
Agricultura	235	468	609

a - datos proyectados con base en información 1987-1991

5.1.3 Suelos

Según Collinet (1990) el área del Petén pertenece a la extensa meseta sedimentaria terciaria del Yucatán, México y se desarrolla sobre formaciones calcáreas del Cretácico superior y del Eoceno.

Su evolución geomorfológica fue típicamente kárstica con manifestaciones de dolinas y ausencia de ríos permanentes. En el área bajo estudio los suelos que predominan son denominados Pellic vertisols y Typic rendolss (Collinet, 1990) (cuadro 5 y mapas 4 y 5).

Cuadro 5. Características de los suelos de San Miguel

TIPO DE SUELO	ORIGEN	RELIEVE	RIESGO DE EROSION	DRENAJE	FERTILIDAD NATURAL
Vertisols	calizas suaves	plano	muy bajo	lento	alta
Rendolls	calizas duras	quebrado	media alta	bueno	alta

fuentes: Collinet, 1990

Los suelos vertisols tienen 170 cm de espesor de color negro a gris oscuro en la superficie y gris verde aceituna sin manchas hidromórficas, textura arcillosa homogénea, con estructura dominante angular bien desarrollada en los 20 a 30 cm. Entre 0-10 cm se encuentra 17.23% (c.v 25%) de materia orgánica y 4.46 % (c.v 21%) entre 25 y 30 cm.

El ph es ligeramente alcalino en la superficie y bastante alcalino en la profundidad con valores de 7.86 entre 0-10 cm y de 8.32 entre 75 y 80 cm. El N en los primeros 10 cm es de 0.93% (c.v 23.8%) y 0.27% (c.v 19.7%) entre 25 y 30 cm de profundidad.

Los suelos rendolls tienen entre 40 y 80 cm de espesor, color pardo oscuro sin manchas hidromórficas, franco arcilloso y después arcilloso, con pedregosidad media, estructura bien desarrollada dentro de todo el perfil y muchas raíces finas que penetran los agregados. En promedio tiene 10.57% (c.v 29.27%) de materia orgánica entre 0-10 cm y 6.60% (c.v 28%)

entre 30 y 40 cm. El nitrógeno (N) de estos suelos se encuentra entre 0.13 a 1% y el ph > 7.

5.1.4 Fisiografía

En la UMSM predominan terrenos planos, ondulados y colinares (mapas 4 y 5). Tal como se puede apreciar en el cuadro 6 en el área predominan pendientes que oscilan de 0 a 8%. Asimismo la altura máxima es de 360 msnm.

Cuadro 6. Pendientes y Alturas en San Miguel

PENDIENTES			ALTURA		
(%)	(Ha)	%	(msnm)	(Ha)	%
0-4	4,702	66.60	90-119	56	0.79
4-8	1,625	23.02	120-167	224	3.17
8-16	680	9.63	168-215	1,386	19.63
16-32	47	0.67	216-263	3,350	47.45
> 32	6	0.08	264-311	1,954	27.68
			312-360	90	1.28

Fuente: Hall, M y Sención, G (1995)

5.1.5 Biodiversidad

El perfil ambiental del país de 1984 y el informe del World Resources Institute de 1989 indican que existen en Guatemala 17 especies de coníferas nativas, más de 450 especies de árboles y cerca de 8000 especies de plantas, de las cuales casi 300 se consideran raras o amenazadas de extinción (Godoy, 1990).

Entre las plantas existen grupos particularmente numerosos como el de las orquídeas con 527 especies de las cuales 57 son endémicas o el de los musgos con 519 especies y 55 endémicas.

Guatemala tiene 10 órdenes de mamíferos terrestres representando 30 familias y más de 250 especies. De las especies conocidas de mamíferos terrestres sólo unas pocas pueden ser consideradas abundantes, la mayoría son raras y algunas excepcionalmente raras (Godoy, 1990). La avifauna está compuesta por 46 familias agrupadas en 394 géneros y 661 especies.

La UICN lista para Guatemala un total de 99 especies de anfibios y 231 de reptiles y en peces se tienen identificados 220 especies de agua dulce. En la cuenca del Río Usumacinta (El Petén) se encuentra el 53% de los Cichilidos y el 60% del género *Ciclosoma* de toda centroamérica (Godoy, 1990).

Esta riqueza de especies se traduce en una gran diversidad de material genético. Muchas de las especies de esta región han sido y siguen siendo utilizadas para mejorar factores especiales de plantas alimenticias emparentadas, se les emplea para aumentar su resistencia a enfermedades, incrementar el contenido de proteínas o cambiar las propiedades de otras plantas.

El Petén con una extensión de 35,854 km² representa la tercera parte del territorio de Guatemala y posee el 45% de los bosques del país. El 48% de los reptiles y anfibios se

Entre las plantas existen grupos particularmente numerosos como el de las orquídeas con 527 especies de las cuales 57 son endémicas o el de los musgos con 519 especies y 55 endémicas.

Guatemala tiene 10 órdenes de mamíferos terrestres representando 30 familias y más de 250 especies. De las especies conocidas de mamíferos terrestres sólo unas pocas pueden ser consideradas abundantes, la mayoría son raras y algunas excepcionalmente raras (Godoy, 1990). La avifauna está compuesta por 46 familias agrupadas en 394 géneros y 661 especies.

La UICN lista para Guatemala un total de 99 especies de anfibios y 231 de reptiles y en peces se tienen identificados 220 especies de agua dulce. En la cuenca del Río Usumacinta (El Petén) se encuentra el 53% de los Cichilidos y el 60% del género *Ciclosoma* de toda centroamérica (Godoy, 1990).

Esta riqueza de especies se traduce en una gran diversidad de material genético. Muchas de las especies de esta región han sido y siguen siendo utilizadas para mejorar factores especiales de plantas alimenticias emparentadas, se les emplea para aumentar su resistencia a enfermedades, incrementar el contenido de proteínas o cambiar las propiedades de otras plantas.

El Petén con una extensión de 35,854 km² representa la tercera parte del territorio de Guatemala y posee el 45% de los bosques del país. El 48% de los reptiles y anfibios se

encuentran en el Petén de los cuales 28 especies son anuros, 43 especies son lagartijas, 67 serpientes y 7 especies de tortugas de agua dulce.

En el último listado de avifauna de la zona de Tikal- San Miguel (100.000 ha) se contabilizaron 333 especies de aves lo que representa el 50% de las existentes en el país (Godoy, 1992) y Galvez (1996) identificó en dos parcelas de 0.25 ha del bosque de San Miguel un total de 71 especies arbóreas con dap \geq a 5 cm.

Duro (1992) con base en un estudio etnobotánico en zonas de bosque, bosque secundario y cultivos en el área de uso múltiple, Tikal, Uaxactún y San Andrés identificó 101 especies maderables y no maderables con utilidad en aceites esenciales, fibras, barbascos, insecticidas, medicinales, ornamentales, taníferas, tintóreas y tóxicas.

5.1.6 Actividades desarrolladas en San Miguel

El proyecto Olafo está promoviendo el uso sostenible de los recursos naturales en la zona de San Miguel a nivel comunitario. Es así como fue creada y legalizada una Concesión Comunitaria para mejorar los sistemas de producción de las familia con base en la diversificación de actividades productivas (manejo de bosques, apicultura, cultivos de cobertura, módulos agroforestales de caprinos).

Para promover la organización comunitaria fue necesario impulsar actividades tendientes a solucionar problemas básicos: agua, caminos y salud.

Esta Asociación recibió una Concesión de 7.060 ha. de tierra a 25 años plazo y 15 de prórroga. En 1994 en la parcela denominada "Yarché-1" se aprovecharon 40 ha. de bosque de los cuales se extrajeron troceados 101 m³ de cedro y caoba y 39 m³ de especies secundarias. En 1995 con el segundo aprovechamiento en "Los Camarones" se extrajeron 199 m³ de cedro y caoba en un área de 160 ha y 121 m³ en especies secundarias para una extensión de 20 ha. de bosque.

A partir de los beneficios obtenidos del manejo, la comunidad reinvirtió recursos en la compra de un pequeño aserradero portátil.

5.2 Metodología para la valoración económica

Con base en la metodología diseñada y utilizada en los manglares de la costa pacífica de Nicaragua se presenta en la figura 3 el esquema metodológico que se utilizó para valorar económicamente el ecosistema bosque tropical de San Miguel (Windevoxhel, 1992; Barbier et al, 1991; Sención et al, 1992) (figura 2.1, anexo 2).

Esta se divide en cuatro etapas o fases que son:

- 1) Identificación de bienes, funciones y atributos del ecosistema

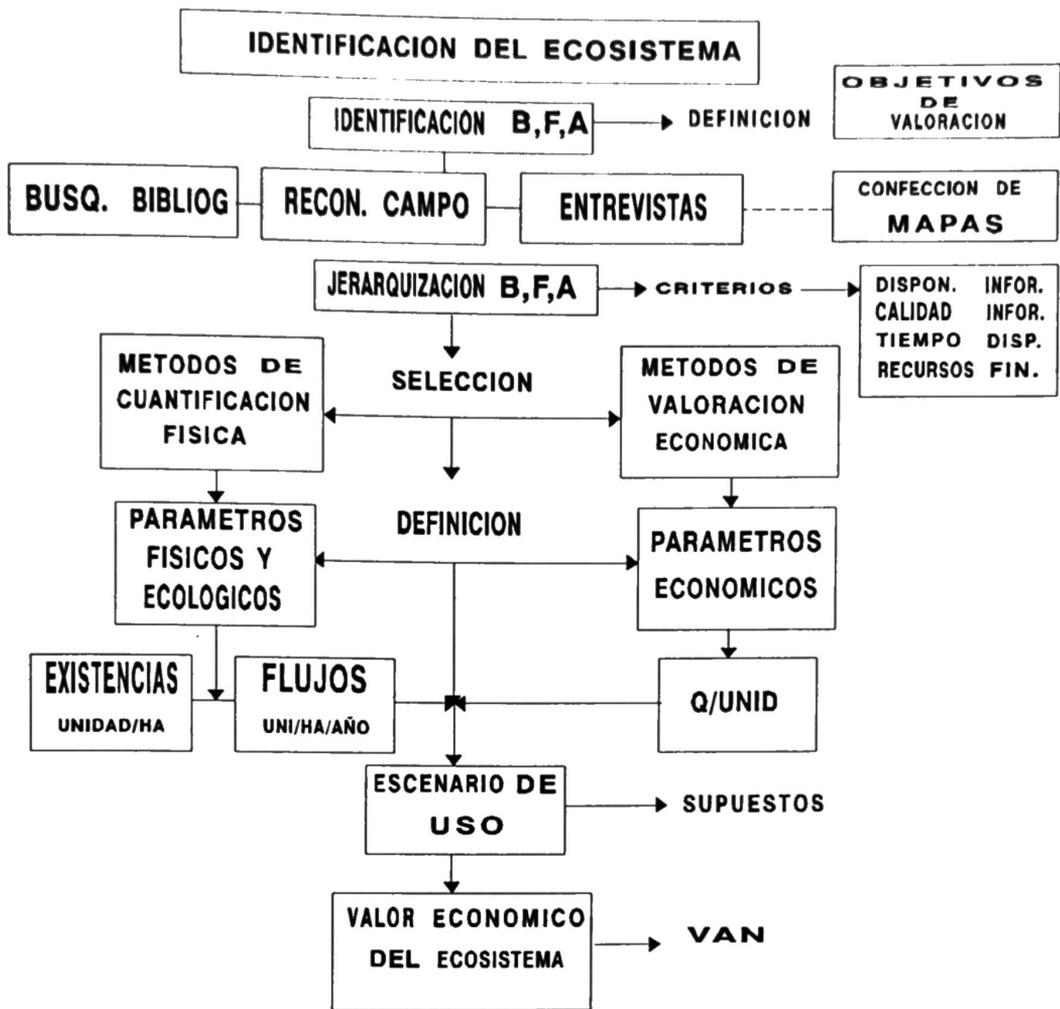


Figura 3. Metodología de valoración económica de un bosque tropical

- 2) Jerarquización de bienes, funciones y atributos potencialmente valorables
- 3) Selección de métodos de cuantificación física y económica
- 4) Valoración económica del ecosistema

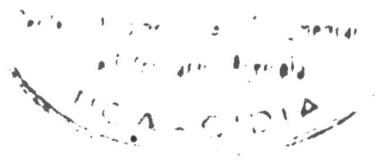
5.2.1 Identificación de bienes, funciones y atributos

Esta etapa constituye un proceso de planificación que se dividió en tres pasos: a) determinación de los límites del área de estudio y su zona de influencia b) identificación de los bienes, funciones y atributos asociados al ecosistema y c) recopilación de información secundaria física y económica.

a) En el caso bajo estudio, el área corresponde al Area de Concesión Comunitaria de San Miguel (7,060 ha).

La identificación de la(s) zona(s) de influencia del ecosistema evaluado se basó en el análisis de los impactos de las zonas adyacentes (impactos físicos y ecológicos) así como de los impactos del ecosistema estudiado sobre estas mismas zonas adyacentes.

Estos impactos varían acorde con: el tipo y extensión del ecosistema y sus funciones asociadas 2) situación del ecosistema con respecto a la cuenca o subcuencas circundantes y 3) importancia relativa económica y demográfica en la micro y macro región.



En el caso de la UMSM su área es relativamente pequeña. Presenta características fisiográficas de microcuencas, baja intensidad de uso y poca población por lo que se consideró que los impactos de las áreas agrícolas sobre las funciones del bosque actualmente no son significativas.

b) Los bienes, las funciones ecológicas y los atributos relacionados al ecosistema en estudio se identifican mediante giras de campo, entrevistas informales con campesinos del lugar y discusión con equipos multidisciplinarios.

c) La búsqueda de información secundaria sobre características ecológicas y económicas de los bienes extraídos y del comportamiento de las funciones se realizó como un proceso continuo.

Cuando no fue posible obtener resultados de investigación de todos los componentes del ecosistema en estudio, se utilizó la información secundaria de otras investigaciones analizando su validez en las condiciones específicas del ecosistema evaluado.

El cuadro 7. detalla los bienes, funciones y atributos seleccionados para su posterior valoración.

Cuadro 7. Identificación de bienes, funciones y atributos en San Miguel

BIENES	FUNCIONES	ATRIBUTOS
<p style="text-align: center;">Maderables</p> <p>Cedrela odorata (Cedro) Swietenia macrophylla (Caoba) Otras^a</p> <p style="text-align: center;">No maderables</p> <p>Chamaedorea (Xate) Manilkara (Látex de chicle) Desmoncus (fibra de bayal) Pimienta dioica (Pimienta) Caza silvestre Miel Turismo</p>	<p>Secuestro de carbono</p> <p>Ciclaje de nutrimentos</p> <p>Control de erosión</p> <p>Recarga de acuíferos</p>	<p>Biodiversidad</p>

a - Estas especies (grupo 2, anexo 1) están siendo incentivadas por el proyecto Olafo para su manejo comercial.

5.2.2 Jerarquización de bienes, funciones y atributos

Los bienes, funciones y atributos identificados anteriormente son clasificados según sus valores cualitativos de uso, utilizando la metodología aplicada por Barbier et al. (1991) (figura 2).

Esta metodología permite ordenar los distintos componentes del bosque como beneficios según su uso para que posteriormente sean analizados y jerarquizados con base en el objetivo final de valoración económica.

posteriormente sean analizados y jerarquizados con base en el objetivo final de valoración económica.

Los usos del ecosistema se clasificaron en usos directos e indirectos.

Los usos directos incluyen todos los bienes que son extraídos del bosque y el servicio de turismo. Este último es un servicio real/potencial como consecuencia de la existencia del bosque.

Los usos indirectos del ecosistema corresponden a las funciones ecológicas que cumple el bosque. Se indentificaron las funciones de secuestro y liberación de CO₂, de control de erosión y de ciclaje de nutrimentos, entre otras.

El valor cultural, estético, científico y educativo así como la biodiversidad son atributos. Los atributos de un ecosistema existen naturalmente pero no generan un beneficio por uso.

Los criterios utilizados para jerarquizar los bienes, funciones y atributos fueron los siguientes:

- 1) Extensión del ecosistema e importancia física y económica del bien, función y atributo para el tipo de ecosistema en estudio.
- 2) Impactos en el sitio y fuera del sitio por el uso, tanto a nivel ecológico como socioeconómico.

- 3) Existencia y calidad de la información ecológica y económica para cuantificar física y económicamente los usos directos e indirectos.
- 4) Tiempo disponible para la recolección de toda la información física y económica necesaria para investigación.

En el cuadro 8. se muestran los bienes, funciones y atributos seleccionados para la valoración.

Cuadro 8. Bienes, funciones y atributos seleccionados para la valoración

BIENES	FUNCIONES	ATRIBUTOS
Maderables Cedro Caoba	Secuestro de carbono Ciclaje de nutrimentos Control de erosión	Biodiversidad
No Maderables Xate Chicle Bayal		

Los bienes se seleccionaron con base en el tiempo de desarrollo de la actividad, significancia económica para la comunidad y nivel de información disponible. El servicio de turismo si bien puede tener potencial no se seleccionó por ser una actividad de poca significancia económica.

Dadas las características topográficas, hidrológicas y edáficas de la zona se consideró imposible calcular los efectos en la recarga de acuíferos del bosque, descartándose de la valoración (Solís, 1995)³.

Las funciones de secuestro y liberación de CO₂, ciclaje de nutrimentos y control de erosión fueron seleccionadas por la importancia que tienen para el tipo de bosque analizado y por el respaldo bibliográfico que permite aproximarlas física y económicamente.

Si bien la abundancia, diversidad e importancia relativa de especies para el ecosistema pueden ser los principales criterios de inclusión del atributo biodiversidad en la valoración, muchas veces no es posible obtener la información necesaria para su cuantificación física y económica.

El criterio de selección que primó para la inclusión de dicho atributo fue la importancia dada a nivel nacional e internacional a la Reserva de la Biósfera Maya.

Esta importancia se refleja en la disponibilidad a pagar del gobierno de Guatemala y organismos internacionales en conservar la Reserva de la Biósfera Maya y su biodiversidad.

³ Solís, H. Proyecto Renarm Cuencas, Catie (com. personal)

5.2.3 Selección de métodos de cuantificación
5.2.3.1 Cuantificación física
5.2.3.1.1 Bienes

Los bienes extraídos del bosque se cuantificaron físicamente teniendo en cuenta: existencia y flujo anual.

La existencia física de un bien (EF_B) es definida como la abundancia aprovechable del recurso en el año de inicio de la investigación. Esta existencia es medida en unidad/hectárea. ✓

Las EF_B son calculadas para estimar el valor físico y económico por hectárea y del área total de bosque de San Miguel en el año de inicio de la investigación.

El flujo físico de bienes (FF_B) se define como el cantidad potencial aprovechable que genera el bosque anualmente y depende del ciclo de aprovechamiento productivo de la especie (u/ha/año). El ciclo de aprovechamiento se calcula con base en la información de crecimiento.

En el caso de madera el parámetro es el tiempo de crecimiento en diámetro para pasar de una clase de 50 cm a 60 cm o más. En *Chamaedorea* es la producción anual de hojas aprovechables por planta. En *Manilkara* es el tiempo de producción de látex y en *Desmoncus* el tiempo de crecimiento de una vara aprovechable.

Esta información fue proporcionada en parte por el proyecto Olafo como resultado de las investigaciones

ecológicas realizadas desde 1989 a la fecha en el área de estudio y su zona de influencia y de información secundaria.

5.2.3.1.2 Secuestro de carbono

En el proceso natural de crecimiento de un bosque las plantas capturan y liberan carbono del ambiente.

Este proceso comienza con la fotosíntesis realizada por las hojas de las plantas que capturan el CO₂ que se encuentra en la atmósfera. La liberación de carbono a la atmósfera se da por la Respiración (R) de las plantas. También se libera carbono por la combustión de la materia orgánica del bosque.

La reserva de carbono en un bosque se cuantifica mediante el estudio químico de la composición de éste elemento en la biomasa total del bosque, diferenciando según especies y clases diámétricas.

La cantidad de carbono fijada en la materia orgánica oscila entre 40 y 60% (Beer, 1995)⁴. Brown y Lugo (1984) utilizaron para diferentes bosques tropicales, clasificados según zonas de vida, un valor de 50% como factor de conversión de biomasa seca a carbono.

En la investigación se utilizó como factor de conversión de biomasa a carbono (FCC) 50%.

⁴ Beer J. Proyecto GTZ, Catie (com. pers)

a. Existencias de carbono

La Existencia Física de Carbono (EF_c) por hectárea del bosque en San Miguel es la cantidad de carbono en la Biomasa Aérea Seca (BAS) del bosque, sin incluir raíces y suelo. Para evitar un doble conteo en la valoración, el carbono que se encuentra en el suelo se consideró como un componente más de éste y será tomado en cuenta en la valoración de la función control de erosión.

La cantidad de biomasa aérea seca (BAS) es el resultado de $V * FEB * D$ (ecuación 4).

ecuación 4. $EF_c = V * FEB * D * FCC$

donde:

- EF_c = Existencias físicas de carbono (t/ha)
- V = Volúmen del fuste (m^3/ha)
- FEB = Factor de expansión de biomasa (1.6)
- D = Densidad de la madera ($0.62 t/m^3$)
- FCC = Factor de conversión de biomasa a carbono (0.5)

Para estimar la biomasa aérea ($BA = V * FEB$) del bosque se tomó en cuenta el volúmen del fuste (V), de las ramas y de las hojas. El volúmen del fuste por hectárea de bosque de San Miguel se estimó a partir de la información de 14 parcelas de una hectárea cada una para todas las especies con $dap \geq a 10$ cm del estrato de muestreo número 610 definido en el inventario realizado en el Plan de Manejo de la Pasadita ubicado en la zona adyacente (CONAP, 1995).

Con respecto a la proporción de ramas y hojas de la biomasa aérea del bosque Brown y Lugo (1984) estiman que el factor de expansión de biomasa (FEB) a partir de valores del fuste es de 1.6. La estimación fue realizada en bosque tropicales no intervenidos.

Valores promedios de densidad de madera (D) para especies de América son utilizados para convertir valores de volumen a biomasa seca (Lugo y Brown, 1984).

b. Flujo de carbono

El Flujo Físico de Carbono (FF_c) es la cantidad de carbono capturado anualmente en la madera y se estima con base en el incremento mediano anual (imeda) del área basal, medido en $m^2/ha/año$ diferenciando por especies y clases diamétricas (Galvez, 1996) (ecuación 5).

ecuación 5. $FF_c = imeda * FCV * D * FCC$

donde:

FF_c	=	Flujo físico de secuestro de carbono (t/ha/año)
imeda	=	Incremento mediano anual ($m^2/ha/año$)
FCV	=	Factor de conversión de volumen (m)
D	=	Densidad de la madera ($0.62 t/m^3$)
FCC	=	Factor de conversión de carbono (0.50)

Esta información se obtuvo de los resultados de dos mediciones a intervalos de 1.4 años a especies maderables con $dap \geq 10$ cm. Las mediciones fueron realizadas en 21 parcelas

permanentes de control (PPC) de 0.25 hectáreas cada una ubicadas en Yarché-1 (Galvez, 1996).

No existe información en el Area sobre crecimiento en altura según diferentes diámetros y especies. El cociente aritmético entre el volúmen y el área basal para distintas clases de diámetro da una estimación de la altura del bosque, siendo este valor definido como el Factor de Conversión de Volúmen (FCV).

No se incluyó el factor de expansión de biomasa (FEB) en el cálculo del flujo de carbono secuestrado anualmente debido al supuesto que la biomasa de ramas y hojas se mantiene en relativo equilibrio en el tiempo.

Los valores de densidad (D) y factor de conversión de carbono (FCC) son los mismos que para el cálculo de las existencias de carbono.

La cantidad de carbono que anualmente secuestra el bosque remanente de San Miguel es considerado como un beneficio anual indirecto con valor positivo.

5.2.3.1.3 Ciclaje de nutrimentos

Los nutrimentos que se encuentran en la biomasa aérea, mantillo, raíces y suelo del bosque cumplen en conjunto la función de retención y ciclaje dentro del sistema (Vitousek y Sanford, 1986).

La cantidad de nutrimentos NPK por hectárea de bosque de San Miguel se podría conocer de los estudios químicos de la materia orgánica para todos los compartimentos del bosque según diferentes estratos.

Los nutrimentos más comunes y considerados en el presente estudio son el Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K). La cantidad disponible de estos elementos y demandada por las plantas varía según tipos de suelo, especies y condiciones climáticas.

La proporción o cantidad de NPK (P_{NPK}) en la biomasa seca se evaluó con información secundaria de la cantidad de nutrimentos en la Biomasa Seca del Mantillo (BSM) para diferentes bosques tropicales (Vitousek y Sanford, 1986).

Se supone que los porcentajes de NPK por tonelada de biomasa seca en el mantillo mantienen una relación directa con los porcentajes (%) de nutrimentos en las hojas, ramas y troncos y son un promedio para todas las especies del bosque.

En el cuadro 8 (Anexo 3) se observan los valores en biomasa seca y la proporción de NPK en el mantillo reportados para distintos bosques tropicales en suelos moderadamente fértiles e infértiles según Vitousek y Sanford (1986).

La proporción de NPK (P_{NPK}) por tonelada de biomasa seca en el bosque de San Miguel se estimó como promedio de los dos tipos de suelo (infértiles y moderadamente fértiles).

Para un total promedio de 9.65 T/ha de biomasa seca en el mantillo se obtuvo un valor promedio de 0.17245 T_{NPK}/ha o el equivalente a 0.01787 T_{NPK}/T de biomasa seca.

La proporción de NPK (P_{NPK}) por tonelada de biomasa seca fue aplicado al valor de biomasa seca por hectárea estimado para el bosque de San Miguel, tanto para los valores de existencia como para el flujo de nutrimentos.

a. Existencias de NPK en San Miguel

La existencia de un ciclo cerrado de nutrimentos en bosques maduros tropicales fue reconocido por primera vez por Hardy (1936) en Trinidad. El ciclo tiene dos fuentes principales de acumulación: biomasa y suelo.

Los nutrimentos en el suelo no serán contabilizados dentro de la existencia del ciclaje de nutrimentos porque se incluyen como un solo componente del suelo en la valoración de la función control de erosión.

La Existencia Física de NPK (EF_{NPK}) en el bosque de San Miguel se define como la proporción de NPK (P_{NPK}) en la biomasa aérea seca (BAS).

Para ello se utilizó la misma metodología que para estimar las existencias de carbono donde la BAS es igual al producto del volumen maderable (V), multiplicado por el factor de expansión de biomasa (FEB) y por el factor de densidad (D).

La ecuación 6. indica la forma de cálculo de las existencias de NPK en el bosque de San Miguel.

ecuación 6.
$$EF_{NPK} = V * FEB * D * P_{NPK}$$

donde:

- EF_{NPK} = Existencia física de NPK en San Miguel (T_{NPK}/ha)
- V = Volúmen del fuste comercial (m^3/ha)
- FEB = Factor de expansión de biomasa (1.6)
- D = Densidad de la madera ($0.62 T/m^3$)
- P_{NPK} = Proporción de NPK en la biomasa seca (T_{NPK}/T)

b. Flujo de NPK

El flujo físico anual de NPK (FF_{NPK}) se define como la proporción de nutrimentos NPK (P_{NPK}) en la biomasa seca del mantillo (BSM) y se estima con base en información secundaria (cuadro 8, Anexo 3).

La transferencia de nutrimentos en el bosque o flujo comienza con la caída de la biomasa aérea al suelo y por el escurrimiento de las gotas de lluvia entre las hojas y corteza.

La caída de troncos, hojas, ramas, frutos y flores en el suelo conforman lo que se denomina hojarasca o mantillo. Según las tasas de descomposición y la acción de detritívoros y desintegradores, los nutrimentos capturados en la materia orgánica son capturados por las raíces entrando nuevamente en el ciclo del sistema.

Parker (1983, cit Lieth, 1989) analizó estudios realizados en bosques tropicales sobre el aporte de

nutrimentos por escurrimiento de agua entre hojas y corteza, sin llegar a conclusiones contundentes sobre la incidencia de este componente en el ciclaje de nutrientes del sistema y no se incluye en el cálculo del flujo de nutrientes de la función ciclaje de nutrientes.

En el bosque de San Miguel no existen datos sobre tasas de descomposición de la materia orgánica ni sobre la cantidad de biomasa seca en el mantillo.

La ecuación 7. indica la forma de cuantificación del flujo anual por hectárea de nutrientes NPK en el bosque de San Miguel.

ecuación 7.

$$FF_{NPK} = BSM * P_{NPK}$$

donde:

FF_{NPK} = Flujo físico de NPK en San Miguel ($T_{NPK}/ha/año$)

BSM = Biomasa seca en el mantillo ($T/ha/año$)

P_{NPK} = Proporción de NPK en la biomasa seca (T_{NPK}/T)

5.2.3.1.4 Control de erosión

La cobertura aérea del bosque, mantillo y raíces cumplen la función de proteger en forma parcial las existencias físicas de suelo (EF_s) acumuladas en el tiempo. La cobertura aérea protege el mantillo del impacto directo de las gotas de lluvia disminuyendo la velocidad de escorrentía y las raíces retienen el suelo en el sitio.

La función de control de erosión del bosque es parcial ya que siempre hay determinada pérdida anual de suelo (P_s) o flujo negativo. A su vez, el bosque genera mediante procesos bioquímicos nueva formación de suelo (F_s) que se consideran entradas al sistema o flujos positivos.

La diferencia anual entre la cantidad de suelo que se genera (flujo positivo) y la cantidad que se pierde (flujo negativo) es el flujo neto.

a. Existencias de suelo en San Miguel

La Existencia Física de suelo (EF_s) por hectárea de bosque se define como la cantidad de suelo en una hectárea a una profundidad de 20 cm (ecuación 8).

ecuación 8.
$$EF_s = P * E * D_s$$

donde:

- EF_s = Existencia física de suelo en San Miguel (t/ha)
- P = Profundidad del suelo (0.20 m)
- E = Extensión de una ha. en metros (10.000 m²/ha)
- D_s = Densidad del suelo (t/m³)

Para obtener un valor aproximado de existencia de suelo por hectárea se calculó el promedio ponderado de las existencias para los dos tipos de suelo según el área correspondiente a cada uno de ellos en la unidad de manejo de San Miguel.

El factor de densidad del suelo (D_s) se utilizó para convertir unidades de volumen (m^3) a toneladas (t/m^3). En San Miguel los suelos Rendolls tienen una densidad de $1.5 t/m^3$ y los suelos Vertisols de $1.2 t/m^3$ (Collinet, 1990).

b. Flujo de suelo

Para conocer el flujo neto de suelo ($F_s - P_s$) que anualmente genera un bosque se necesita información de largo plazo sobre los procesos que involucran la formación de suelo (entradas) y pérdida de suelo (salidas).

En este trabajo no se incluyeron las entradas o formación de suelo (F_s) por no disponer de ésta información.

Se consideró como salidas (P_s) solamente la cantidad de suelo perdido anualmente en un bosque como consecuencia de erosión por lluvia. Para cuantificar ésta pérdida se utilizó la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) (ecuación 9).

ecuación 9.
$$P_s = R * K * LS * C$$

donde:

- P_s = Pérdida de suelos (Ton/ha/año)
- R = Factor de erosividad de la lluvia
- K = Factor de erodabilidad del suelo
- LG = Factor de longitud y gradiente de la pendiente
- C = Factor de cobertura en diferentes estratos

Pese a que la USLE utiliza los parámetros aplicables a las dos terceras partes orientales de los Estados Unidos su

aplicación a otras condiciones físicas y climáticas ha permitido concluir que es una herramienta válida para aproximar la pérdida de suelo por el uso de la tierra (Kirby y Morgan, 1984). Según Solís⁵ (1994) los valores estimados en la USLE son una aproximación general de la cantidad de pérdida de suelo que puede existir en el área para bosques.

En el anexo 4. se definen los parámetros de la USLE y los valores considerados a partir de información secundaria.

5.2.3.1.5 Biodiversidad

La biodiversidad es definida como la totalidad de genes, especies y ecosistemas de una región (WRI, UICN, PNUMA, 1992).

Los mismos autores definen diversidad genética como la variación entre genes dentro de especies. La diversidad de especies es la variedad o número de especies diferentes existentes en una región y la diversidad de ecosistemas es la combinación de asociaciones de especies, sus relaciones entre sí y con el medio físico que las rodea.

De Groot (1994) estima que existen entre dos y 100 millones, considerando la mejor aproximación de alrededor de 10 millones de especies en el mundo, de las cuales sólo han sido identificadas 1.4 millones. En un bosque de Panamá en 19 árboles se encontró que el 80% de las 1200 especies de escarabajos descubiertos eran desconocidos (Thomas, 1990).

⁵ Solís Hernán, Hidrólogo Renarm, Catie (com. pers)

La Reserva de la Biósfera Maya tiene una extensión de 1,593,600 hectáreas y durante los últimos años ha aumentado significativamente el interés internacional en el desarrollo sostenible y la protección de su biodiversidad.

El financiamiento destinado a la RBM desde su creación es un indicador del interés de los organismos nacionales e internacionales en la conservación y manejo de la Reserva, medido por la disponibilidad a pagar por la conservación de dicha biodiversidad.

Este valor pretende asignar en forma indirecta una disponibilidad de la sociedad a conservar el atributo "biodiversidad".

El 30 de agosto de 1990 el gobierno de Guatemala y USAID firmaron el Convenio que dió comienzo al Proyecto de la Biósfera Maya (PN 520-0395), anteriormente llamado Mayarema. Como meta principal se estipula "mejorar el bienestar económico de la población de Guatemala a través del manejo racional de los recursos naturales renovables"; en el caso específico de la Reserva de la Biósfera Maya se plantea "mejorar el manejo de los recursos naturales renovables y la protección de la diversidad biológica y de bosques tropicales".

La institución responsable de implementación y administración del proyecto es el Consejo Nacional de Areas Protegidas (CONAP) que reúne a varias instituciones nacionales. El proyecto "Conservación para el desarrollo sostenible en Centroamérica" (OLAFO) trabaja en forma coordinada con CONAP desde 1991.

5.2.3.2 Cuantificación económica

5.2.3.2.1 Bienes

El valor económico de cada bien se mide a través del Ingreso Bruto y Neto por año.

El valor económico de la existencia física de los bienes corresponde al Ingreso Bruto de Existencia (IBE_B) (ecuación 10).

ecuación 10.
$$IBE_B = VEE_B = EF_B * P_B$$

donde:

IBE_B	=	Ingreso bruto de existencia de un bien (Q/ha)
VEE_B	=	Valor económico de existencia de un bien (Q/ha)
EF_B	=	Existencia física del bien (u/ha)
P_B	=	Precio económico FOB (libre a bordo) del bien (Q/u)

El ingreso bruto de existencia (IBE_B) corresponde al valor económico bruto (sin incluir costos de extracción) que el bosque genera por su uso directo.

El flujo de bienes producido por el bosque se mide en función de la tasa de extracción, los costos que implican dicha extracción y los precios de los productos (ecuación 11).

ecuación 11.
$$IND_B = IBF_B - CD$$

donde:

IND	=	Ingreso Neto directo de un bien (Q/unidad)
IBF_B	=	Ingreso Bruto del flujo extraído (Q/u)
CD	=	Costo Directo (Q/u)

El costo directo (CD) de la extracción incluye el costo de insumos, mano de obra familiar y costo de transporte hasta la frontera de exportación.

Los costos directos de producción y transporte son valorados a sus precios de mercado, multiplicados por el Factor Estándar de Conversión (FEC) para su equivalente en precios económicos. El costo de mano de obra es valorado por el costo de oportunidad de la mano de obra en San Miguel y el precio económico de la divisa es el tipo de cambio oficial multiplicado por el inverso del FEC.

El ingreso bruto anual del flujo de un bien (IBF_B) se obtiene del producto de la cantidad aprovechable anualmente del bien (CPE_B) por su precio económico respectivo (P_s).

El ingreso neto directo (IND) anual por la extracción de bienes se obtiene de la diferencia entre el ingreso bruto del flujo extraído (IBF_B) y el costo directo (CD).

Los precios de mercado de insumos y costos de producción fueron obtenidos de las investigaciones realizadas por el proyecto Olafo.

Las series de precios f.o.b de los bienes se obtuvieron de datos del Banco Central de Guatemala, Servicio General de Planificación, Consejo Nacional de Areas Protegidas, Cámara de Exportadores, empresarios privados e investigaciones de mercado del proyecto Olafo.

5.2.3.2.2

Secuestro de carbono

Los precios de carbono utilizados en la investigación se basan en la información de organismos internacionales que financian a proyectos de reforestación con énfasis en secuestro de carbono (Dixon et al. 1993).

Para calcular el valor económico de las existencias de carbono (VEE_c) y del flujo anual de carbono (VEF_c) en el bosque de San Miguel se utilizó el precio promedio en quetzales (P_c), al tipo de cambio económico de 6.25 Q/\$, aplicado a los valores físicos de existencias (EF_c) y flujos (FF_c) de carbono estimados en la cuantificación física de dicha función (ecuación 12 y 13).

ecuación 12.
$$VEE_c = EF_c * P_c$$

donde:

- VEE_c = Valor económico de existencia de carbono (Q/Ha)
- EF_c = Existencias físicas de carbono (T/ha)
- P_c = Precio del carbono (Q/T)

ecuación 13.
$$VEF_c = FF_c * P_c$$

donde:

- VEF_c = Valor económico del flujo de carbono (Q/Ha)
- FF_c = Flujo físico de carbono (T/ha)
- P_c = Precio del carbono (Q/T)

5.2.3.2.3 Ciclaje de nutrimentos

El valor económico de la existencia (VEE_{NPK}) y flujo (VEF_{NPK}) de la función ciclaje de nutrimentos del bosque, se obtuvo del producto del precio económico o precio c.i.f (costo, seguro y flete) del fertilizante (P_f) por las cantidades físicas de NPK obtenidas en la cuantificación física (EF_{NPK} y FF_{NPK}).

En la investigación se consideró el precio cif multiplicado por 0.45. Este valor es la proporción del contenido total de NPK distribuido en partes iguales por tonelada de fertilizante (P_{NPK}).

Las ecuaciones 14 y 15 detallan el cálculo del valor económico de las existencias VEE_{NPK} y flujos VEF_{NPK} realizado para estimar los beneficios indirectos generados por la función ciclaje de nutrimentos en el bosque de San Miguel.

ecuación 14. $VEE_{NPK} = EF_{NPK} * P_f * 0.45$

donde:

VEE_{NPK} = Valor económico de existencias de NPK (Q/Ha)

EF_{NPK} = Existencias físicas de NPK (T_{NPK}/ha)

P_f = Precio cif de fertilizante (Q/Tf)

0.45 = NPK por tonelada de fertilizante (T_f/T_{NPK})

ecuación 15. $VEF_{NPK} = FF_{NPK} * P_f * 0.45$

donde:

VEF_{NPK} = Valor económico del flujo de NPK (Q/Ha)

FF_{NPK} = Flujo físico de NPK (T_{NPK}/ha)

P_f = Precio cif de fertilizante (Q/Tf)

0.45 = NPK por tonelada de fertilizante (T_f/T_{NPK})

5.2.3.2.4

Control de erosión

Para estimar el valor económico de la función control de erosión se utilizaron dos métodos: el costo de reemplazo de suelo y el costo de sustitución tecnológica.

El costo de reemplazo (CR) de una tonelada de suelo se define como la suma del costo de la compra de suelo (CCS), traslado al sitio (T) y esparcimiento del suelo a las parcelas específicas (ES) (ecuación 16).

ecuación 16.

$$CR = CCS + T + ES$$

donde:

- CR = Costo de reemplazo de suelo (Q/t)
- CCS = Costo de la compra del suelo (Q/t)
- CT = Costo de transporte al sitio (Q/t)
- CES = Costo de esparcimiento del suelo (Q/t)

En el estudio solo se incluyeron los costos de la compra de suelo (CCS) en ciudad Santa Elena, Petén y de transporte en camión a la comunidad de San Miguel (CT) distante 60 km del lugar de compra.

Por no disponer de elementos objetivos para medir las distancias promedio que separan la comunidad de San Miguel de las parcelas donde debe ser esparcido el suelo y costo en mano de obra de la actividad, no se incluyó la variable CES en la valoración.

En el caso de la compra de suelo se realizaron consultas a 2 empresas de extracción y transporte de suelo y piedrin en la ciudad de Santa Elena y San Benito. El precio de una tonelada transportada en camión hasta la comunidad de San Miguel es de 40 y 90 Q/t respectivamente. Como costo de reemplazo (CR) se consideró un precio promedio de 65 Q/t por tonelada de suelo.

Las ecuaciones 17 y 18 indican la forma de cálculo del valor económico de la existencia y flujo de suelo valorados según el método de costo de reemplazo.

ecuación 17.
$$VEES_{CR} = EF_s * P_{CR}$$

donde:

$VEES_{CR}$ = Valor económico de existencia de suelo s/método de costo de reemplazo (Q/ha)

EF_s = Existencias de suelo (t/ha)

P_{CR} = Precio de suelo por costo de reemplazo (Q/t)

ecuación 18.
$$VEFS_{CR} = FF_s * P_{CR}$$

donde:

$VEFS_{CR}$ = Valor económico del flujo de suelo s/método de costo de reemplazo (Q/ha/año)

FF_s = Flujo físico de suelo s/USLE (t/ha/año)

P_{CR} = Precio de suelo por costo de reemplazo (Q/t)

El costo de sustitución (CS) se refiere al costo de implementación de diferentes sistemas de control de erosión utilizados en áreas tropicales. Los sistemas de control de erosión considerados son: a) barreras de piedra b) acequias c) terrazas de banco y d) terrazas de huerto.

El costo de sustitución (CS) incluye el costo de mano de obra necesario para la construcción de dichos sistemas y no se considera el costo anual de mantenimiento.

La cantidad de jornales por sistema de control de erosión se obtuvo de información secundaria (Palma, 1993) y el precio de la mano de obra se valoró según el costo de oportunidad del jornal en San Miguel (Reyes, 1996).

En la investigación el costo de sustitución (CS) medido en Q/t de suelo es igual al promedio simple del costo por hectárea de los sistemas de barreras de piedra, acequias, terrazas de banco y terrazas de huerto.

Las ecuaciones 19 y 20 indican el método del costo de sustitución para estimar el valor económico de la existencia (VEES_{CS}) y flujo (VEFS_{CS}) de suelo.

$$\text{ecuación 19. } CS = VEES_{CS} = EF_s * P_{CS}$$

donde:

CS = COSTO DE SUSTITUCION (Q/ha)

VEES_{CS} = Valor económico de existencia de suelo s/método costo de sustitución (Q/ha)

EF_s = Existencia física de suelo (t/ha)

P_{CS} = Precio de suelo por costo de sustitución (Q/t)

$$\text{ecuación 20. } VEFS_{CS} = FF_s * P_{CS}$$

donde:

VEFS_{CS} = Valor económico del flujo de suelo s/método costo sustitución (Q/ha/año)

FF_s = Flujo físico de suelo s/USLE (t/ha/año)

P_{CS} = Precio de suelo por costo de sustitución (Q/t)

5.2.3.2.5

Biodiversidad

Las inversiones en proyectos de conservación y manejo sostenible realizadas por instituciones nacionales y extranjeras dentro de la Reserva, son tomadas como un indicador económico de la importancia nacional e internacional que tiene la conservación de la RBM.

La disponibilidad a conservar (DaC) del atributo biodiversidad por hectárea de bosque de San Miguel como valor de existencia es igual a la suma de los presupuestos totales por hectárea según área de influencia de los proyectos Mayarea y Olafo. El flujo anual por hectárea de bosque o disponibilidad a conservar anual (DaCa) de la biodiversidad es igual al promedio ponderado del valor por hectárea obtenido en DaC según los años de duración de los proyectos respectivos.

5.2.4 Valoración económica del bosque

La valoración económica del ecosistema se hizo para el área de 6,451 ha. de bosque, obteniendo valores económicos de existencia y de flujos anuales.

Los resultados económicos de existencia de bienes aprovechables son valorados únicamente según el ingreso bruto que generarían (IBE), sin incluir los costos de extracción y es igual al beneficio neto directo de existencia (BNDE_B) (cuadro 9).

En efecto los bienes en existencia aún no han sido cosechados y no han generado un costo. El costo directo (CD) se aplica sólo cuando se da un proceso de extracción. al considerar los costos directo, se obtiene el beneficio neto directo del flujo de bienes (BNDF_B).

El beneficio neto directo anual del flujo de bienes aprovechables (BNDF_B) es la diferencia entre el ingreso bruto del flujo (IBF_B) y su costo directo correspondiente (CD).

No fue posible cuantificar Los efectos o costos indirectos en las funciones de control de erosión, biodiversidad, ciclaje de nutrientes y secuestro de carbono provocados por la extracción de maderables y no maderables. Esto se debe a la escala de análisis de la investigación y a la falta de información física y ecológica.

Por esta razón se consideró que el valor de las funciones evaluadas aproximan el valor económico actual del bosque independiente del impacto que genera cualquier sistema de extracción selectiva que se realice.

El beneficio indirecto de existencias (BIE) y el beneficio indirecto de los flujos (BIF) se obtienen de la sumatoria de los beneficios indirectos asignados para cada función y atributo (ecuación 21a y 21b).

Ecuación 21. a) $BIE = VEE_C + VEE_{NPK} + VEES_{CR} \text{ ó } VEES_{CS} + DaC$
 b) $BIF = VEF_C + VEF_{NPK} + DaCa$

No se generan costos indirectos de existencia (CIE) en el bosque. En los costos indirectos de flujos (CIF) sólo se contabilizó el resultado obtenido por la pérdida de suelo (P_s) calculada por la USLE y valorada según los métodos de costo de reemplazo y/o costo de sustitución tecnológica ($VEFS_{CR}$ y $VEFS_{CS}$).

Cuadro 9. Indicadores económicos y parámetros de valoración según existencias (Q/ha) y flujos (Q/ha/año).

INDICADORES ECONOMICOS	VALOR ECONOMICO DEL BOSQUE	
	EXISTENCIA	FLUJO
BENEFICIO DIRECTO	IBE	IBF
COSTO DIRECTO TOTAL	--	CD
BENEFICIO NETO DIRECTO	$BNDE = IBE$	$BNDF = IBF - CD$
BENEFICIO INDIRECTO	BIE	BIF
Secuestro de carbono	VEE_C	VEF_C
Ciclaje de nutrientes	$VEE_{(NPK)}$	$VEF_{(NPK)}$
Control de erosión (REPLAZO)	$VEES_{CR}$	--
Control de erosión (SUST. TECNOLOGICA)	$VEES_{CS}$	--
Biodiversidad	DaC	DaCa
COSTO INDIRECTO	CIE	CIF
Secuestro de carbono	--	--
Ciclaje de nutrientes	--	--
Control de erosión (REPLAZO)	--	$VEFS_{CR}$
Control de erosión (SUST. TECNOLOGICA)	--	$VEFS_{CS}$
Biodiversidad	--	--
BENEFICIO NETO INDIRECTO	$BNIE = BIE - CIE$	$BNIF = BIF - CIF$
BENEFICIO NETO TOTAL	$BNTE = BNDE + BNIE$	$BNTF = BNDF + BNIF$

Nota: IBE, ingreso bruto existencias. IBF, ing.bruto flujo. CD, costo directo. VEE_C, valor económico de existencias de carbono, VEF_C, valor económico del flujo de carbono (igual para NPK y Suelo). DaC, Disponibilidad a Conservar. DaCa, Disponibilidad a conservar anual. (BIE), suma de los benef.indir. de existencia. (BIF), suma de benef.ind. flujo. (igual para costo indirecto existencia y flujo (CIE,CIF)).

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6. Valoración económica del bosque de San Miguel

El manejo del bosque evaluado de 6,451 ha en la Unidad de Manejo Forestal de San Miguel (UMFSM) para el año 1994 se caracteriza por:

- 1) Extracción selectiva de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) con dap > a 60 cm. (grupo 1).
- 2) No hay extracción de especies maderables secundarias (grupo 2) debido a la ausencia de mercado.
- 3) Extracción de la planta ornamental xate (*Chamaedorea* sp).
- 4) Extracción del látex de chicle (*Manilkara achras*).
- 5) La existencia de fibra de bayal (*Desmoncus* sp.) como un recurso potencial comercial.

6.1. Beneficios y costos directos

6.1.1. Maderables

Reyes⁶ (1995) señala que la extracción selectiva de Cedro y caoba se realiza durante los cuatro meses de la estación seca,

⁶ Reyes, R. Proyecto Olafo Petén (com. pers)

seleccionando los árboles cuyo diámetro a la altura del pecho es mayor a 60 cm (dap > 60 cm).

El equipo de tumba, troceado y entablado de las trozas lo conforman grupos de 2 a 3 personas, donde un equipo asierra 1,000 pt en dos días. El equipo utilizado para la tumba y troceado es una motosierra con espada 0.70 y el tableado de las trozas se realiza con el sistema de motosierra con marco.

La tumba no es dirigida ni se realiza ningún tratamiento silvicultural anterior. El troceado depende del estado del árbol tumbado pero se buscan largos de 7, 8, 9, y 10 pies. El factor de conversión en unidades de volumen en rollo a flitche es de 1m^3 en rollo = 224 ⁷pie tablar (pt).

La madera en flitche es llevada a las ciudades de Santa Elena y San Benito en camión para ser comercializadas en el mercado nacional.

Los resultados de abundancia obtenidos del estrato 610⁸ y asignados para el bosque de San Miguel indican una cantidad de árboles cosechables con dap $\geq 60\text{cm}$ de 0.2 individuos para ambas especies con un área basal de 0.067 m^2/ha para Swietenia y 0.054 m^2/ha para Cedrela.

⁷ Valor asignado en forma arbitraria de la experiencia de madereros en Petén

⁸ Estrato con características del bosque similares a las de San Miguel (Plan de manejo forestal de la Pasadita (1995))

El volumen aprovechable por hectárea para ambas especies con $dap \geq 60$ cm y definido como existencia física (EF_M) asciende a $0.59 \text{ m}^3/\text{ha}$ o el equivalente a $132.16 \text{ pt}/\text{ha}$ (cuadro 10).

Cuadro 10. Abundancia (N/ha), Area Basal (m^2/ha) y Volumen (m^3/ha) de Cedro y Caoba (estrato 610).

Especies	Clases diamétricas (cm)						Total
	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60 +	
Swietenia							
N/ha	0.7	0.1	0.4	0.1	0.0	0.1	1.5
m^2/ha	0.011	0.004	0.040	0.019	0.000	0.067	0.141
$\text{m}^3/\text{ha}^{(a)}$	-	-	-	-	-	0.407	0.407
Cedrela							
N/ha	1.1	0.8	0.8	0.3	0.2	0.1	3.3
m^2/ha	0.021	0.046	0.076	0.049	0.054	0.054	0.299
m^3/ha	-	-	-	-	-	0.183	0.183

(a)- El volumen corresponde solo para la clase con diámetro mínimo de corta
fuente: Plan de Manejo Forestal, La Pasadita (1995)

Para calcular el flujo físico anual aprovechable (FF_M) se tomó el ciclo de aprovechamiento estimado en el bosque de San Miguel. Galvez (1996) reportó para Yarché-1 incrementos medianos anuales por clase diamétrica que varían de 0.7 a 2.1 mm/año para *Cedrela odorata* y de 1.4 a 4.2 mm/año para *Swietenia macrophylla*. Con base en estos resultados Galvez calculó un ciclo de aprovechamiento para *Cedrela* y *Swietenia* de 40 años lo que representa un flujo anual aprovechable de $3.30 \text{ pt}/\text{ha}/\text{año}$.

Estos resultados deben ser tomados como preliminares debido a que corresponden a mediciones de dos períodos correspondientes a un intervalo de 1.4 años.

Los precios de la madera en la zona fueron obtenidos de los estudios de mercado realizados por Olafo durante el periodo 1994-1995 y de los datos de la venta de madera del aprovechamiento en las parcelas de Yarché-1 y Los Camarones (Bianco, 1995⁹; Detlefsen, 1995¹⁰ (Cuadro 11).

Cuadro 11. Precios de madera según destino de venta (Q/pt).

Destino	Precios 94/95	CEDRELA - SWIETENIA
San Miguel ^a		2.50
Petén ^b		3.60
Guatemala ^c		6.00
Belice ^d		5.40
Estados Unidos ^e		4.80-8.40

- a - Precio pagado por el proyecto para infraestructura en el sitio (madera aserrada)
- b - Precio vendido para madera en rollo en el primer aprovechamiento de Yarché
- c - Precio vendido para madera en tabla en el aprovechamiento Los Camarones
- d - Precio promedio FOB frontera con Belize para madera en tabla (Estadística Banco del Nororiente, Melchor de Mencos, Petén (1994).
- e - Oferta de compra de madera en tabla en la comunidad desde compradores en EUA.

Asumiendo que la madera extraída en el área de estudio se exporta hacia Belice se consideró un precio FOB de 5.40 Q/pt.

El análisis de costo por pie tablar de madera aserrada de cedro y caoba se obtuvo de información de campo a consultas realizadas a extractores ilegales del lugar (Reyes, 1995). En el cuadro 12. se indica el costo económico de aserrió por un equipo

⁹ Bianco, L. Especialista Mercadotecnia Olafo (com. pers)

¹⁰ Detlefsen, G. Catie Petén, Guatemala (com pers)

de extractores donde el costo de aserrar 1,000 pt asciende a 491 quetzales lo que representa un costo por pie tablar de 0.49 Q/pt.

Cuadro 12. Costo económico de aserrio (Q/1,000 pt)

RUBRO	COSTO TOTAL
Mano de obra	263.5
Gasolina	44.2
Aceite 2t.	13.0
Aceite AE40	32.6
Cadena	41.0
Limas	20.5
Motosierra	52.2
Marco	23.8
Total	490.8

fuentes: datos de campo (Reyes, com. pers)

El costo de transporte de San Miguel a Belice asciende a 0.57 Q/pt. El Costo directo (CD) a precios económicos de la extracción y transporte hasta la frontera con Belize de un pie tablar de madera aserrada es de 1.06 Q/pt.

En el cuadro 13 se indica el resultado económico obtenido para la existencia y flujo anual de madera.

El valor económico aprovechable de existencia de madera (VEE_M) ascendió a 714 Q/ha (114.24 \$/ha) con un valor económico de flujo anual aprovechable medido por el ingreso bruto de 17.82 Q/ha/año. El ingreso neto anual del flujo aprovechable ascendió a 14.32 Q/ha/año o el equivalente a 2.29 \$/ha/año al tipo de cambio económico de 6.25 Q/\$.

Cuadro 13. Resultado económico de existencia y flujo de madera

Precio f.o.b (Q/pt)	EF _M ^a (pt/ha)	VEE _M (Q/ha)	FE _M ^b (pt/ha/año)	VEF _M (Q/ha/año)	CD ^c (Q/ha/año)	ING.NETO (Q/ha/año)	ING. NETO ^d (\$/ha/año)
5.40	132,16	714	3.30	17.82	3.50	14.32	2.29

- a - La existencia física de madera es para individuos con dap ≥ 60 cm
 b - El sistema tradicional extrae esta cantidad en un solo año (ciclo 40 años).
 c - Costo directo a precio económico o sombra = CD (precio de mercado) * FEC
 d - El ingreso neto corresponde solo al flujo de extracción anual (TCE 6.25 Q:19).

6.1.2 Chamaedorea spp.

En el bosque de la comunidad de San Miguel se extraen dos tipos de palma: *Chamaedorea elegans* (xate hembra) y *Chamaedorea oblongata* (xate macho). *Chamaedorea* es un género de unas 100 especies que crecen bajo el dosel de bosques lluviosos y nubosos tropicales ubicados desde el territorio central de México hasta Brasil y Bolivia (Reining et al. 1992).

Ceballos (1993) caracteriza a *Ch. elegans* como una planta delgada que puede llegar a medir más de 2 m cuando es adulta, floreciendo a menudo cuando tiene 30 cm de altura. Sus tallos son erectos y sus hojas son gruesas en número variable de 5 a 8 alternas pinadas. Un raquis que puede llegar a 55 cm de largo con 11 a 20 pinas de cada lado. La vaina u hoja en formación es de 8 a 10 cm de largo.

Ch. oblongata es en general más alta que la anterior pudiendo llegar hasta 3 m de altura con un tallo de 1 a 2.5 cm

de grosor. Las hojas son pinadas y pueden medir entre 17 a 40 cm de largo. El raquis es de aproximadamente de 55 cm de largo con 6 a 9 pinas alternas de cada lado (Ceballos, 1993)

Galvez (1996) indica que ambas se encuentran usualmente juntas en el mismo bosque distribuidas en agregados. La densidad de la población varía según el tipo de suelo, topografía, dispersión de semillas, microclima, desarrollo del bosque e historia de uso. Crecen en terrenos bien drenados encontrándose en las faldas y cimas de los cerros, requiriendo de cobertura forestal que le provea de sombra y humedad.

La época de extracción se realiza durante todo el año, aunque su período de mayor aprovechamiento es de febrero a mayo disminuyendo entre noviembre y enero. La actividad extractiva consiste en la corta con navaja o cuchillo de las hojas de la planta que según el recolector cumple con los requisitos comerciales exigidos para la exportación. No existe control y regulación en la cantidad y calidad de las hojas extraídas ni tampoco de los sitios a recolectar. Las hojas son vendidas al intermediario y éste al exportador que las clasifica como hojas buenas y malas.

Galvez (1996) reporta para ambas especies una existencia física en número de hojas aprovechables de individuos de cosecha de 457 hojas/ha (EF_{CH}) ó el equivalente a 5 gruesas/ha.

El flujo físico aprovechable (FF_{CH}), cuantificado con respecto al ciclo de crecimiento de 2.28 hojas por planta año asciende a 879 hojas/ha/año ó 10 gruesas/ha/año.

En el cuadro 14 se indican los precios de exportación f.o.b en Guatemala de xate según diversas fuentes consultadas.

Precios promedio de exportación (f.o.b) obtenidos de las estadísticas del Banco de Guatemala en el período 1985-1994 oscilan entre 0.40 y 1.03 Q/kg.

Cuadro 14. Precios de exportación de Xate según diversas fuentes

FUENTE	Q/HOJA
Banco de Guatemala	
DIGESA/MAGA	0.005
Emp. exportadora (elegans)	0.007
Emp. exportadora (oblongata)	0.067
Ramlett (1991)	0.058
Reining (1992)	0.080
	0.050

Una hoja de Ch. elegans pesa aproximadamente 3 gr. y de Ch. oblongata 10 gr. y como los datos del Banco de Guatemala están agregados se va a considerar un valor aproximado de 5 gr/hoja donde el valor por hoja exportada se encontraría entre 0.002 a 0.00515 Q/hoja.

La información de DIGESA/MAGA y del Banco de Guatemala debe ser tomada con cierto cuidado ya que estos datos no discriminan entre especies y tampoco se realizan controles de peso declarado por el exportador, salvo que el importador lo solicite. Esto puede repercutir en valores tan bajos por hoja exportada.

Según información obtenida en una empresa exportadora de arreglos florales en ciudad Guatemala (1995), un rollo de 25 manojos con 40 hojas de elegans en cada manajo se exporta a Europa a un precio de 66.7 Q/manajo lo que representa un valor por hoja de 0.067 Q/hoja. Para el caso de oblongata que se exporta principalmente a EUA cada rollo de 30 manojos con 35 hojas tiene un precio f.o.b de entre 8.50 y 10.50 Q/manajo lo que equivale a un valor de entre 0.046 Q/hoja y 0.058 Q/hoja.

Ramlett (1991) indica precios de exportación en el período 1990/91 de un manajo de 40 hojas entre de 2.5 a 3.2 Q/manajo. Esto representa un precio de entre 0.0625 y 0.08 Q/hoja. Para el caso de exportaciones a Europa en el mismo período se reportaron para dicho estudio valores de 0.125 Q/hoja. Según Reining (1992) el precio al exportador en ese año por un manajo o gruesa de 90 hojas fue de 5.10 Q/gruesa lo que equivale a 0.05 Q/hoja.

En la investigación se tomó como precio f.o.b el promedio aritmético simple de todos los precios obtenidos el cual asciende a 0.044 Q/h. ó 3.96 Q/gruesa.

El costo por gruesa extraída se calculó con base en los datos obtenidos del seguimiento realizado en los alrededores de la comunidad de San Miguel durante el año 1995 (Reyes, 1995)¹¹. Se hicieron 97 observaciones a recolectores mayores donde cada observación es un día de trabajo.

La extracción de Ch. elegans fue de 568 gruesas (36%) y 64 gruesas Ch. oblongata (64%). En promedio un xatero adulto recoge

¹¹ Reyes, R. Proyecto Olafo Petén, Com. pers

16.5 gruesas/día distribuyéndose en promedio en 5.85 gruesas de Ch. elegans y 10.61 de Ch. oblongata.

Un recolector adulto necesita 0.60 días para recoger el flujo anual aprovechable por hectárea, lo que representa un costo de 9.08 Q/ha/año valorado según el costo de oportunidad de la mano de obra que asciende a 15.14 Q/día.

Para calcular el costo hasta puerto de embarque para la exportación deberían incluirse los costos de transporte a bodegas, selección, empaque y transporte a puerto de embarque. Esta información no se tiene completa al momento de la investigación y no se tomará en cuenta.

En el cuadro 15 se indica el resultado económico por hectárea de los valores de existencia y flujo aprovechable de xate. El valor económico de existencia ascendió a 19.8 Q/ha (3.16 \$/ha) con un flujo anual aprovechable de 39.6 Q/ha/año. El ingreso neto anual del flujo físico aprovechable ascendió a 30.5 Q/ha/año o el equivalente a 4.88 \$/ha/año.

Cuadro 15. Resultado económico de existencia y flujo de Xate

Precio f.o.b (Q/G)	EF _{CH} (G/ha)	VEE _{CH} (Q/ha)	FF _{CH} (G/ha/año)	VEF _{CH} (Q/ha/año)	CD (Q/ha/ha/año)	ING. NETO (Q/ha/año)	ING. NETO (\$/ha/año)
3.96	5	19.8	10	39.6	9.08	30.5	4.88

6.1.3

Manilkara spp.

La cosecha de látex del árbol *Manilkara achras* (chicle) se realiza en la época lluviosa y el chiclero sube al árbol utilizando cuerdas y con un machete le infringe cortes perpendiculares en todo el fuste. El látex comienza a escurrir por dichos cortes y es recolectado en una bolsa plástica ubicada en la base del árbol. El látex es cocinado para quitarle la humedad y puesto en moldes para la exportación (Reining et al 1992).

El problema del sistema de cosecha según los recolectores repercute en la mortalidad de la especie, si los cortes son muy profundos o se vuelve a aprovechar el árbol al poco tiempo la posibilidad de sobrevivencia disminuye, produce pocos frutos y la regeneración natural se ve afectada.

Los datos de abundancia estimados para San Miguel se tomaron de la información del plan de Manejo de la Pasadita (1995). La existencia física de árboles de Chicle con $dap \geq 30$ cm es de 9.4 árb/ha (cuadro 16)

Cuadro 16. Abundancia y Area Basal de Manilkara estrato 610.

Parámetr o	10-19	20-29.9	30-39	40-49	50-59	60 +	total
N/ha	10.1	5.9	4.4	2.5	1.4	1.1	25.4
m ² /ha	0.180	0.280	0.407	0.384	0.327	0.432	2.009

Fuente: Plan de Manejo Forestal, La Pasadita (1995).

No hay información de extracción y estado de los árboles en el área de estudio. Los valores a continuación deben ser tomados como una estimación del potencial productivo.

Un árbol produce en promedio 0.46 kg de látex procesado por ciclo de aprovechamiento de 5 años (Reining et al, 1992). Considerando una abundancia promedio de 9.4 árboles/ha. se obtiene una existencia física de látex estimado para el bosque de San Miguel de 4.32 kg/ha.

El flujo anual aprovechable por hectárea considerando un ciclo productivo de cinco años asciende a 0.86 kg/ha/año.

El cuadro 17 indica las cantidades exportadas de chicle con sus respectivos valores f.o.b en quetzales. Considerando un precio para 1994 de 23 Q/kg. se obtiene un valor económico de existencia de 99.36 Q/ha.

Cuadro 17. Exportación de Látex de Chicle en Guatemala (1981-1994)

Año	VALOR FOB (Q)	CANTIDAD (Kg)	Q/Kg
1981	1942291	485260	4,00
1982	1866667	496348	3,76
1983	1822667	452450	4,03
1984	890201	204084	4,36
1985	210000	46000	4,57
1986	30020	11619	2,58
1987	21623	13234	1,63
1988	702333	207065	3,39
1989	4952500	454545	10,90
1990	5154969	363636	14,18
1991	8049995	522727	15,40
1992	10717696	509615	21,03
1993	8287902	394662	22,00
1994	730940	31780	23,00

fuentes: Estadísticas Banco Central de Guatemala
Reining, et al. (1991)
Registros de Conap (Consejo Nacional de Areas Protegidas)

El costo directo de extracción se obtuvo de los datos de campo del estudio de Reining et al. (1992) realizado en el Petén, donde un chiclero recolecta 3.9 kg de látex por día lo que representa un costo de 3.88 Q/kg valorado al costo de oportunidad de la mano de obra.

En el cuadro 18 se indica el resultado económico para la existencia y flujo de aprovechamiento de látex, donde el valor económico de existencia aprovechable (VEE) asciende a 99.36 Q/ha (15.89 \$/ha) con un valor económico de flujo anual de 19.78 Q/ha/año. El ingreso neto del flujo físico anual aprovechable asciende a 16.45 Q/ha/año o el equivalente a 2.63 \$/ha/año.

Cuadro 18. Resultado económico de existencia y flujo de Chicle

precio f.o.b (Q/kg)	EF _{Mz} (kg/ha)	VEE _{Mz} (Q/ha)	FF _{Mz} (kg/ha/año)	VEF _{Mz} (Q/ha/año)	CD (Q/ha/año)	ING. NETO (Q/ha/año)	ING. NETO (\$/ha/año)
23	4.32	99.36	0.86	19.78	3.33	16.45	2.63

6.1.4 Desmoncus sp.

El *Desmoncus* (bayal) es una palma del bosque conocido desde el sur de México hasta Honduras y taxonómicamente aún no muy caracterizado pertenece al género de Arecaceae. Es una planta trepadora y su fibra se utiliza en artesanía. Según Lundell (1937; cit. Galvez, 1996) en la región puede haber tres especies.

El bayal pertenece a la flora nativa de los bosques del Petén y está formado por un conjunto de vástagos nacidos de la base de un mismo pie y denominado macolla. Los tallos son flexibles y alcanzan las copas del estrato medio del bosque apoyándose en los árboles por medio de sus hojas. Los tallos se encuentran cubiertos medianamente por finas espinas de hasta 6 cm de largo. La base de las macollas es por lo general inferior a 40 cm y no superior al metro.

El número de tallos por macolla raramente sobrepasa la cantidad de 8, con diámetro medio de 16 mm (rango 8-40 mm), presentando largos no mayores a 25 m, encontrándose en Yarché-1 tallos de hasta 45 m, dependiendo del tipo de bosque (Galvez, 1996).

El tallo provee de materia prima a los artesanos. Estos son cortados y bajados de los árboles en un proceso repetitivo de eliminación de espinas y tirado hacia el suelo. A partir de allí se corta la parte apical y se juntan las varas cosechadas en pares de manojo que son trasladados hasta el taller de artesanía. Los artesanos preparan la fibra, rajando las varas según la necesidad de cada artículo artesanal, removiendo la parte carnosa interior.

La abundancia del largo de tallo aprovechable se obtuvo del largo en metros (m) de los tallos cosechados en 12 parcelas permanentes de 0.25 ha cada una (Chinchilla, 1994). El promedio de tallos cosechados ascendió a 95.13 metros o el equivalente a una existencia física de 381 m/ha de fibra aprovechable para uso artesanal (cuadro 19).

Cuadro 19. Metros de fibra por tallo aprovechable de *Desmoncus*

Parcela	Tallos maduros cosechados (#)	Tallos cosechados (metros)
132	5	
223	4	51.25
340	0	44.26
304	3	0.00
221	5	31.14
115	15	62.49
19	24	177.64
28	17	207.02
225	10	161.72
124	9	88.92
314	13	81.1
34	11	116.06
		119.99

Fuente: Chinchilla, 1994

Para obtener nueve metros de fibra cosechable de una planta es necesario esperar un ciclo de corta de cuatro años por lo que el flujo físico anual cosechable asciende a 95.25 m/ha/año (Galvez, 1996).

La información económica del diagnóstico de la producción y comercialización de artículos elaborados con fibra de bayal en los municipios de Santa Ana, San Francisco, San José, San Andrés y Flores del departamento del Petén entre 1991-1992 indica que se utilizaron 115.510 metros de bayal para la fabricación de 2.321 artículos diversos para un total de 26 artesanos encuestados, lo que equivalió a una demanda anual por artesano de 4.442 metros (Chinchilla, 1993).

Por día de trabajo o jornal un artesano prepara 81.25 metros de fibra de bayal pronta para el tejido. Considerando un costo de oportunidad de la mano de obra de 15.14 Q/Jornal se obtiene un costo económico de 0.1863 Q/metro.

Dado que en Guatemala no se obtuvo información sobre exportación de fibra de bayal para tejido se obtuvo el precio cif para Centro América de un metro de fibra de un bien sustituto como es el caso del mimbre (*Salix sp*), obteniendo en este caso un precio económico de 0.2976 Q/metro (Bianco, 1996)¹².

El valor económico de existencia aprovechable de bayal ascendió a 113.68 Q/ha. (18.14 \$/ha) con un flujo anual aprovechable de 28.34 Q/ha/año y un ingreso neto del flujo de 10.59 Q/ha/año (1.69 \$/ha/año) (cuadro 20).

Cuadro 20. Resultado económico de existencia y flujo de Bayal

precio (Q/mt)	EF _D (mt/ha)	VEE _D (Q/ha)	FF _D (mt/ha/año)	VEF _D (Q/ha/año)	CD (Q/ha/año)	ING.NETO (Q/ha/año)	ING. NETO (\$/ha/año)
0.2976	381	113.7	95.25	28.34	17.74	10.59	1.69

6.2 Beneficios y costos indirectos ✓

6.2.1 Secuestro de carbono

El cuadro 21 indica la cantidad de carbono por hectárea estimado como existencia del bosque en el área de estudio para todas las especies con dap \geq a 10 cm. (ecuación 1). El valor en volumen ascendió a 32.93 m³/ha lo que representa un valor de existencia física de carbono (EF_C) de 16.33 t/ha.

¹² Bianco, L. Proyecto Olafo (com pers)

El valor en biomasa aérea seca (BAS) estimado para la investigación ascendió a 32.66 t/ha y es considerado bajo con respecto a los citados en la bibliografía (Lugo y Brown, 1984; Vitousek y Sanford, 1986). Esto repercute en un valor por hectárea de existencia de carbono (EFC) muy bajo (16.33 t/ha).

Cuadro 21. Existencia de carbono en San Miguel por grupos de especie con dap \geq 10 cm

ESTRATO	GRUPOS DE ESPECIES ^a	VOLUMEN (m ³ /ha)	D ^b	FEB ^c	FCC ^d	EF _c (t/ha)
610	1	1.174	0.62	1.6	0.5	0.5823
	2	4.069	0.62	1.6	0.5	2.0182
	3	15.808	0.62	1.6	0.5	7.8407
	4	6.715	0.62	1.6	0.5	3.3306
	5	5.159	0.62	1.6	0.5	2.5588
	total	32.925				16.3306

a. anexo 1.

b. Factor de densidad en bosques de América 0.62 (± 0.01), N=146. Lugo y Brown, 1984.

c. Factor de expansión de fuste a biomasa total (Lugo y Brown, 1984)

d. Factor de conversión de carbono

Para la cuantificación del flujo físico anual Gálvez (1996) calculó una tasa de incremento diamétrico mediano anual para todas las especies de Yarché-1 de 0.196 a 0.29 cm/ha/año y un incremento mediano anual en área basal de 0.0015 m²/ha/año para un total de 565 árb/ha.

El Factor de Conversión de Volúmen (FCV) estimado ascendió a 2.12 metros, obtenido como resultado del cociente entre el

volúmen (29.22 m³) y el área basal (13.79 m²) por hectárea para todas las especies con dap \geq a 25 cm del estrato 610.

El crecimiento en volúmen para el bosque de San Miguel obtenido es de 0.00318 m³/ha/año lo que representa un flujo físico de carbono (FFC) estimado en 0.000098 t/ha/año (ecuación 2).

Esto valores en crecimiento también son considerados bajos con los citados en la bibliografía. En el bosque lluvioso tropical de Surinam se han reportado incrementos diamétricos de 0.7 cm. por año para individuos con diámetros de 5 a 15 cm, 0.9 cm/año para 15 a 30 cm de dap. y 0.1 cm/año para individuos entre 30 y 60 cm. de dap (Jonkers, 1987).

En la finca Los Laureles en Guápiles, Costa Rica se reportan incrementos para especies comerciales aceptables con diámetros superiores a 10 cm. de 0.44 cm por año (PNB/RENARM, 1994). Siteo (1992) reporta un incremento medio de 0.5 cm anuales para algunas especies comerciales en la Tirimbina de Sarapiquí, Costa Rica.

En relación a unidades volumétricas, Jordan (1985) reportó valores de 2 a 4m³ de crecimiento anual del fuste comercial para bosques tropicales, mientras que Veillon (1985) en bosques de Venezuela, encontró valores de crecimiento de entre 4 y 12 m³/ha/año con una media de 8 m³/ha/año.

En el cuadro 22. se observan diferentes precios ofrecidos por organismos internacionales a proyectos de reforestación y

conservación de bosques por tonelada de carbono secuestrado (Dixon, 1993).

Cuadro 22. Precios pagados por tonelada de carbono secuestrado

PAIS	DOLARES/TONELADA (\$/t)
Ecuador	
Guatemala	4
Malasia	9
Paraguay	2
Rusia	1.5
USA Oregon	2
USA Utah	5
	15

fuelle: Dixon et al. 1993

Estos precios por tonelada de carbono secuestrado oscilan en valores de entre 1.5 y 9 \$/t para proyectos en América, Asia y Rusia y de entre 15 a 30 \$/t en bosques de Utah y 5 \$/t en bosques de Oregón en los EUA.

En la investigación se tomó el promedio aritmético de los precios pagados por tonelada de carbono secuestrado reportados por Dixon (1993) el cual asciende a 5.5 \$/t (± 4.9) o el equivalente a 34.37 Q/t. Cline (1992; cit Carranza, 1996) indica que el costo por tonelada de carbono secuestrado varía de \$ 5.0 en los trópicos a \$ 20.0 en las zonas templadas de los países desarrollados.

En el cuadro 23. se observan los resultados obtenidos de la cuantificación física y económica de la función secuestro de carbono del bosque de San Miguel, donde el valor económico de existencia ascendió a 561 Q/ha (89.76 \$/ha) con un valor

económico de flujo anual de 0.0033 Q/ha/año (0.000528 \$/ha/año). MINAE (1996) estimó para plantaciones de bosque en Costa Rica un beneficio de fijación anual de carbono de 1.89 \$/ha/año.

Cuadro 23. Resultado económico de existencia y flujo de la función secuestro de carbono

FUNCION	Cuantificación Física		Precio (Q/t)	Valoración Económica	
	EF _c (t/ha)	FF _c (t/ha/año)		VEE _c (Q/ha)	VEF _c (Q/ha/año)
SECUESTRO DE CARBONO	16.33	0.000098	34.37	561.0	0.00336

Bajo el supuesto que no se generan costos indirectos en la función secuestro de carbono para el sistema de extracción selectiva se obtuvo un beneficio económico indirecto de existencia de 561 Q/ha y un beneficio indirecto como flujo anual de 0.0033 Q/ha/año (cuadro 24).

Cuadro 24. Beneficios y costos indirectos de la función secuestro de carbono

FUNCION	Beneficio Indirecto		Costo Indirecto	
	Q/ha	Q/ha/año	Q/ha	Q/ha/año
	VEE _c	VEF _c	VEE _c	VEF _c
SECUESTRO DE CARBONO	561	0.0033	0	0

6.2.2 Ciclaje de nutrimentos

El cuadro 25 indica la existencia física (EF_{NPK}) y flujo (FF_{NPK}) por hectárea y año como estimación en el bosque de San Miguel (ecuación 5 y 6). El valor de existencia física de nutrimentos NPK ascendió a 0.5836 t/ha con un flujo físico anual de 0.14296 t/ha/año.

Imbach (1995)¹³ indica que los valores de existencia obtenidos en la investigación son bajos con respecto a valores citados en la bibliografía (Fasbender, 1987; Imbach, 1987), pero que se justifican en la estimación de la proporción de NPK en la biomasa seca y no tanto en el valor de volúmen del fuste utilizado para el bosque de San Miguel.

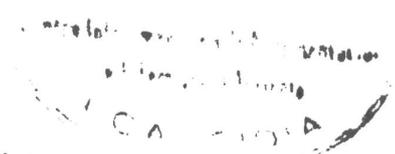
Con referencia al flujo anual Brown y Lugo (1984) estimaron para diversos bosques tropicales valores de producción de hojarasca en el mantillo de 9.22 t/ha/año. Valores promedio de 10.5 (± 1.4) t/ha y de 8.8 (± 1.9) t/ha de biomasa seca en el mantillo en bosques húmedos tropicales en suelos moderadamente fértiles e infértiles son reportados por Vitousek y Sanford (1986).

Cuadro 25. Existencia y flujo físico de NPK en San Miguel

EF_{NPK} (T/ha)	V	FEB	D	P_{NPK}
0.5836	32.925	1.6	0.62	0.01787
FF_{NPK} (T/ha/año)	BSM		P_{NPK}	
0.14296	8		0.01787	

V = volúmen del fuste, FEB - factor de expansión de biomasa, D - densidad de la madera, P_{NPK} - proporción de npk en la biomasa seca, BSM biomasa seca en el mantillo

¹³ Imbach, A. Lider Proyecto Olafo, Catie, Costa Rica (com. pers)



Como valor conservador de biomasa seca en el mantillo (BSM) en la investigación se tomó 8 t/ha lo que representa un flujo anual de 0.14296 T/ha/año de NPK.

En el cuadro 26. se observan los precios al consumidor de fertilizante en diversos departamentos de Guatemala y su respectivo precio de importación CIF para Centro América (Alvarado, 1996)¹⁴. En la investigación se consideró como precio económico del fertilizante 45% del precio CIF al tipo de cambio económico de 6.25 Q/\$ obteniendo un valor de 506.25 Q/T_{nPK}.

Cuadro 26. Precios de fertilizante (15,15,15% NPK)

Departamento	(Q/t)
Guatemala	1,673.0
Suchitepéquez	1,333.0
Quezaltenango	1,427.0
Zacapa	1,511.0
Alta Verapaz	1,466.0
Petén	1,511.0
Importación CIF	1,125.0

fuelle: Boletín No. 12 de precios, insumos, herramientas y productos del sector agroforestal en Guatemala (Enero, 1995), Alvarado (1996)

Con un valor de existencia física de 0.5836 t/ha de NPK y un flujo anual de 0.14296 t/ha/año, se obtuvo un beneficio indirecto de la función ciclaje de nutrimentos de 295.44 Q/ha (47.27 \$/ha) para las existencias (VEE_{NPK}) y 72.37 Q/ha/año (11.58 \$/ha/año) para el flujo anual (VEF_{NPK}) (cuadro 27).

¹⁴ Alvarado, R. Gerencia de Ventas Fertica de Costa Rica (com. pers)

Cuadro 27. Resultado económico de existencia y flujo de la función ciclaje de nutrimentos

FUNCION	Cuantificación Física		Precio (Q/t)	Valoración Económica	
	EF _{NPK} t/ha	FF _{NPK} t/ha/año		VEE _{NPK} Q/ha	VEF _{NPK} Q/ha/año
CICLAJE DE NUTRIMENTOS NPK	0.5836	0.14296	506.25	295.44	72.37

El cuadro 28 indica los beneficios y costos indirectos asignados a la función ciclaje de nutrimentos bajo el supuesto que no se generan costos indirectos en esta función por el sistema de extracción selectiva.

Cuadro 28. Beneficio y costo indirecto de la función ciclaje de nutrimentos

FUNCION	Beneficio Indirecto		Costo Indirecto	
	Q/ha	Q/ha/año	Q/ha	Q/ha/año
CICLAJE DE NUTRIMENTOS NPK	VEE _{NPK} 295.44	VEF _{NPK} 72.37	VEE _{NPK} 0	VEF _{NPK} 0

6.2.3 Control de erosión

En el cuadro 29. se indican las áreas de suelos Rendzinas y Vertisols estimadas según diferentes grupos de pendientes en San Miguel.

Para áreas con pendientes entre 0-4% se asignó un valor para suelos vertisoles de 50% y 50% rendzinas, entre 4-16% un

75% rendzinas y 25% vertisoles y mayor a 16% suelos solamente del tipo rendzinas (Collinet, 1995)¹⁵.

Cuadro 29. Extensión de suelos rendzinas y vertisols en San Miguel

PENDIENTES (%)	AREA S/PENDIENTE (HA)	PROPORCION DE SUELO S/PENDIENTES (%)		AREA DE SUELOS S/PENDIENTES (HA)	
		rendzinas	vertisols	rendzinas	vertisols
0-4	4,605	50	50	2,302	2,303
4-16	1,735	75	25	1,301	434
>16	720	100	-	720	0

Con base en los % asignados por tipos de pendientes y las hectáreas para cada clasificación de suelo se calculó para el bosque de San Miguel una extensión total de 4,323 ha de suelos rendzinas y 2,737 ha de suelos vertisoles.

El cuadro 30 indica la cantidad de suelo estimado por hectárea y para todo el bosque de San Miguel.

Cuadro 30. Cantidad de suelo estimado en San Miguel

PENDIENTES (%)	AREA DE SUELOS S/PENDIENTES (Ha)		CANTIDAD DE SUELO (t/Ha)		SUELO TOTAL EN SAN MIGUEL (millones de ton)	
	rendzinas	vertisols	rendzinas	vertisols	rendzinas	vertisols
0-4	2,302	2,303	2,400	3,000	5,524	6,909
4-16	1,301	434	2,400	3,000	3,122	1,302
>16	720	0	2,400	3,000	1,728	0
total	4,323	2,737	2,400	3,000	10,375	8,211

De la aplicación de la ecuación 5 se obtuvo una existencia física de suelo (EFS) para los suelos rendzinas de 2,400 t/ha y

¹⁵ Collinet, J. Proyecto Renarm Cuencas, Catie (com. pers)

3,000 t/ha para los suelos vertisols, lo que representa un total de 10.3 millones de toneladas de suelos rendzinas y 8.2 millones de toneladas de suelos vertisoles para las 7.060 ha.

Para obtener un único dato por hectárea se calculó la razón entre la cantidad total de suelo (18:586,200 toneladas de suelo) y las hectáreas totales en San Miguel (7,060 ha) obteniendo un valor promedio de existencia física de suelo (EFS) de 2,632 t/ha.

Para el análisis del flujo anual, de la aplicación de la USLE en el bosque de San Miguel se obtuvo un valor de pérdida de suelo (PS) anual por erosión de lluvia de 0.94 t/ha/año (cuadro 31).

Cuadro 31. Pérdida de suelo (PS) calculado por USLE (T/ha/año)

PS	R	K	LS	C
0.94	427	0.23	0.96	0.01

Young (1986) estimó tasas de erosión en bosques tropicales y cultivos obteniendo para bosque lluvioso natural valores entre rangos de 0.03 t/ha/año y 6.16 t/ha/año con valores medios de 0.30 t/ha/año. En cultivos los valores de pérdida de suelo se encuentran entre 0.40 y 70 t/ha/año y para bosques secundarios de entre 0.05 t/ha/año y 7.40 t/ha/año. Smith y Greenland (1960) reportan valores de pérdida de suelo de 0.98 t/ha en bosques secundarios de Costa de Marfil.

El precio de mercado del suelo por el método costo de reemplazo es de 65 Q/t (10.4 \$/ha). Aplicando el factor estándar de conversión (FEC) al precio de mercado según recomiendan Squire y Van der Tak (1980) se obtuvo un precio económico de 60.51 Q/t.

El valor económico de existencia de suelo (VEE_s), valorado por el método de costo de reemplazo ascendió a 159,262 Q/ha (25,481 \$/ha). El valor económico del flujo anual (VEF_s) como costo indirecto es de -56.87 Q/ha/año (-9.09 \$/ha/año).

Por el método del costo de sustitución, los valores promedios de jornales según diferentes porcentajes de pendiente ascendió a 192 jornales/ha (cuadro 32). Utilizando el costo de oportunidad de la mano de obra en San Miguel que asciende a 15.14 Q/jornal se obtuvo un costo económico de sustitución de la función control de erosión de 2,907 Q/ha (465 \$/ha).

Cuadro 32. Jornales para construcción de sistemas de control de erosión s/diferentes % de pendientes (J/ha)

PENDIENTES (%)	A	B	C	D	media
12	172	53	191	187	151
21	206	76	191	236	177
30	225	103	191	303	205
38	253	128	191	378	237
media	214	90	191	276	192

Nota : A) barreras de piedra B) acequias C) terrazas de banco D) terrazas de huerto
fuente: Palma, 1993

El precio económico por tonelada de suelo mediante este método asciende a 1.10 Q/t (2,907 Q/ha / 2,632 t/ha) representando un VEES_{cs} de 2,895 Q/ha (463 \$/ha) como beneficio indirecto de la función control de erosión y un flujo anual como costo indirecto de -1.03 Q/ha/año (-0.1648 \$/ha/año) (cuadro 33).

Cuadro 33. Resultado económico de existencia y flujo de la función control de erosión s/métodos de valoración

Método de Valoración	EF _s (t/ha)	FF _s (t/ha/año)	Precio (Q/t)	VEE _s (Q/ha)	VEF _s (Q/ha/año)
Costo de Reemplazo	2,632	-0.94	60.51	159,262	-56.88
Costo de Sustitución	2,632	-0.94	1.10	2,895	-1.03

Para la valoración de la función control de erosión del bosque de San Miguel se tomó el precio por tonelada de suelo más conservador o sea el obtenido por el costo de sustitución tecnológica que asciende a 1.10 Q/t de suelo (0.17 \$/t). Vazquez y Rodríguez (1995; cit Carranza, 1996) utilizaron para la Cuenca Hidrográfica El Arenal en Costa Rica un precio por tonelada de suelo erosionado de 2.19 \$/t.

6.2.4 Biodiversidad

El costo total del proyecto Mayarema en la RBM fue de \$ 22:410.000 a un plazo de ejecución de seis años lo que representa un valor por hectárea de 14.94 \$/ha (93.37 Q/ha) y un

flujo anual promedio de 2.49 \$/ha/año o su equivalente a precios económicos de 15.56 Q/ha/año.

El cuadro 34. indica los presupuestos anuales del proyecto Olafo entre el período 1989-1995 utilizados en investigación, infraestructura y capacitación en el área demostrativa en una extensión de 57,800 ha.

En siete años se han invertido en desarrollo sostenible un total de \$ 1:138,691 lo que equivale a 19.70 \$/ha ó 123.12 Q/ha. Anualmente el área demostrativa ha recibido fondos de Olafo que en promedio ascienden a 2.81 \$/ha/año ó 17.56 Q/ha/año.

Cuadro 34. Presupuestos anuales del Proyecto Olafo en Petén

AÑOS	PRESUPUESTO (\$)
1989	116,407
1990	130,013
1991	117,806
1992	140,764
1993	229,101
1994	211,300
1995	193,300
total	1:138,691

fuelle: Proyecto Olafo, Catie

La disponibilidad a conservar (DaC) de una hectárea asignado en la investigación como valor de existencia del atributo Biodiversidad asciende a 216.49 Q/ha (34.63 \$/ha). El flujo anual según el promedio por hectárea ponderado por los

años de duración de los proyectos asciende a 46.31 Q/ha/año (7.40 \$/ha/año).

Carranza et al (1996) indican un valor de 10 \$/ha/año con rangos de entre 5 y 15 \$/ha/año por el atributo Biodiversidad como parte del pago del Certificado de Conservación de Bosque en Costa Rica. Valores de existencia de biodiversidad para los bosques en áreas protegidas de México se encuentran en rangos de 0.03 a 10.40 \$/ha/año y valores de 12,80 a 32 \$/ha/año para los bosques de Costa Rica (Adger et al. 1994; Kishor y Constantino, 1994; cit Carranza, 1996)

6.3 Valor Económico del bosque de San Miguel

En el cuadro 35 se observan los resultados económicos por hectárea y para las 6.451 ha de bosque de San Miguel de los valores de existencia y flujo anual.

Cuadro 35. Resultado económico del bosque de San Miguel.

INDICADORES ECONOMICOS	VALOR ECONOMICO POR HECTAREA		VALOR ECONOMICO DEL BOSQUE	
	EXISTENCIA (Q/ha) (Q/ha/año)	FLUJO	EXISTENCIA (Q)	FLUJO (Q/año)
BENEFICIO DIRECTO				
Cedrela y Swietenia	946.9	105.4		
Chamaedorea	714.0	17.8	4,606,014	114,828
Manilkara	19.8	39.6	127,730	255,460
Desmoncus	99.4	19.7	641,229	127,085
	113.7	28.3	733,479	182,563
COSTO DIRECTO				
Cedrela y Swietenia	0	(33.6)		
Chamaedorea	--	-3.5	--	-22,578
Manilkara	--	-9.1	--	-58,704
Desmoncus	--	-3.3	--	-21,288
	--	-17.7	--	-114,183
BENEFICIO NETO DIRECTO	946.9	71.8	6,108,452	463,183
BENEFICIO INDIRECTO				
Secuestro de carbono	3,968	118.68		
Ciclaje de nutrimentos	561.0	0.0033	3,619,011	21.3
Control de erosión (SUST)	295.4	72.37	1,905,625	466,859
Biodiversidad	2,895	--	18,675,645	--
	216.5	46.31	1,396,577	298,746
COSTO INDIRECTO				
Secuestro de carbono	0	(1.03)		
Ciclaje de nutrimentos	--	--	--	--
Control de erosión (SUST)	--	--	--	--
Biodiversidad	--	-1.03	--	-6,644
	--	--	--	--
BENEFICIO NETO INDIRECTO	3,968	117.65	25,596,858	765,625
BENEFICIO NETO TOTAL	4,915	189.45	31,705,310	1,222,142
	(\$ 786,4)	(\$ 30.31)	(\$ 5,072,850)	(\$ 195,543)

Con referencia a los resultados globales de existencia por hectárea se obtuvo un beneficio neto total de 4,915 Q/ha (786.4 \$/ha) donde las funciones y atributos con 3,968 Q/ha (635 \$/ha) generan el 80% del beneficio neto total y el 20% restante con 946.9 Q/ha. (151.50 \$/ha) corresponden al aporte de los bienes.

De los 3,968 Q/ha de beneficio neto indirecto de existencia, la función control de erosión aporta el 73% de dicho valor, seguido por la función secuestro de carbono con 14%, ciclaje de nutrientes con 7% y biodiversidad con 6%.

A su vez el beneficio neto directo de existencia con 946.9 Q/ha se distribuye en 75% para Cedrela y Swietenia, 12% para Desmoncus, 11% para Manilkara y 2% para Chamaedorea.

Del análisis del flujo anual aprovechable por hectárea se obtuvo un beneficio directo de 105.4 Q/ha/año (16.86 \$/ha/año), el cual se distribuye en 38% para la especie Chamaedorea, 27% para Desmoncus, 19% para Cedrela y Swietenia y 16% para Manilkara.

El beneficio neto directo del flujo anual de los bienes ascendió a 71.8 Q/ha/año donde la especie Chamaedorea aporta 43% de dicho valor, Manilkara 23%, Cedrela y Swietenia 20% y Desmoncus 14%.

De los resultados comparativos a nivel del flujo anual de los bienes extraídos se observa que las especies no maderables generan más valor económico que las maderables. Esto se justifica en: 1) las especies no maderables tienen un ciclo de recuperación anual para su aprovechamiento más rápido que las

especies maderables 2) baja abundancia de cedro y caoba por hectárea y 3) no se incluyeron en la valoración las especies maderables secundarias.

El beneficio indirecto del flujo anual por hectárea de las funciones ascendió a 118.68 Q/ha/año y se distribuye principalmente en 61% para la función ciclaje de nutrientes y 39% para biodiversidad. La función secuestro de carbono sólo aporta 0.0000028% del valor total y es explicado por la lenta tasa de crecimiento del bosque.

El valor de biodiversidad podría ser aún mayor si se incluyera en forma más exhaustiva todos los ingresos a la RBM por concepto de inversión en desarrollo sostenible.

La función control de erosión que en las existencias generaba el mayor valor de las funciones (2,895 Q/ha) tiene en el flujo un costo indirecto de apenas -1.03 Q/ha/año. El cálculo de la tasa de formación del suelo en el bosque como flujo anual positivo permitiría asignar un mayor valor al beneficio indirecto del flujo de la función control de erosión e incrementar el beneficio neto indirecto del flujo de las funciones.

Del análisis del conjunto de bienes se obtuvo que para un valor económico de existencia de 946.9 Q/ha (151.5 \$/ha) como beneficio neto directo se obtuvo un flujo neto directo anual de 71.8 Q/ha/año (11.48 \$/ha/año) o el equivalente al 7.58% del valor económico de existencia. A su vez el flujo de las funciones genera anualmente 117.65 Q/ha/año (18.84 \$/ha/año) o

el 2.96% del valor económico de existencia que ascendió a 3,968 Q/ha (635 \$/ha).

Para todos los bienes y funciones valorados se obtuvo un beneficio neto total del flujo anual de 30 \$/ha/año que representa el 3.82% del beneficio neto total de las existencias del bosque de San Miguel. De este porcentaje los bienes contribuyen con el 38% y las funciones con el 62% restante.

Carranza et al. (1996) citan valores económicos de bosques tropicales en rangos de entre 24 y 72 \$/ha/año dependiendo del tipo de bosque y funciones ambientales analizadas. Los mismos autores recomiendan un pago por Certificado de Conservación de Bosques en Costa Rica de 58.0 \$/ha/año.

El resultado de 30 \$/ha/año como beneficio neto total por hectárea año del bosque se encuentra dentro de los rangos citados y se podría afirmar que éste valor bajo condice con el estado actual del bosque de San Miguel debido al uso no manejado que ha sido objeto en su historia de extracción.

Para las 6,451 ha de bosque se obtuvo un beneficio neto de existencia de Q. 31,705,310 (\$ 5,072,850) con un flujo anual de 1,222,142 Q/año (195,543 \$/año) o sea el 3.85% del valor económico de existencia.

VII. CONCLUSIONES

- 1) Se cumple la hipótesis para las existencias y flujos del bosque en el cual las funciones generan mayor valor económico que los bienes. Las diferencias de los valores obtenidos entre los bienes y funciones analizados se deben principalmente a: i) sobreuso de una cantidad reducida de especies, lo cual implica baja abundancia por hectárea de las especies comercializadas actualmente. ii) importancia del suelo donde la función control de erosión tiene siete veces más valor que la subsiguiente función en importancia, siendo el valor total generado por todos los bienes en existencia el 33% del valor obtenido por la función control de erosión.

- 2) Los valores individuales de existencia de las funciones y atributos generan mayor valor económico que cualquiera de los bienes evaluados (salvo el caso de Cedro y Caoba). Esto se explica en parte porque: i) los bienes fueron valorados utilizando el criterio de existencia aprovechable comercial y no por su existencia total y ii) la utilización de métodos de valoración indirecta de las funciones y atributos podría en algunos casos estar sobrestimando los resultados obtenidos.

- 3) El sistema de extracción selectiva de bienes mantiene en general la estructura del bosque sin repercusiones o alteraciones graves en las funciones ecológicas estudiadas. Esto se ve al analizar el flujo de costos obtenidos por las funciones, que representan alrededor del 3% de los generados por los bienes. Lo anterior no indica que no haya costos indirectos en las funciones por el sistema de extracción selectiva sino que en la investigación no se realizaron estudios más detallados de los costos indirectos provocados por dichos sistemas extractivos.
- 4) A nivel metodológico se pueden sacar las siguientes conclusiones:
- 4.1 La división del análisis del bosque en términos de existencias y flujos permite un mejor entendimiento y relacionamiento del concepto de capital natural (existencias) y de rentabilidad anual (flujo) en el manejo de recursos naturales. El valor del flujo anual de este capital natural dependerá de la intensidad de manejo dado por el nivel de la tasa anual de extracción y de la forma de manejo tendiente a mejorar la productividad del bosque.
- 4.2 La cuantificación física de los bienes en términos de su potencial aprovechable permite una mejor aproximación al uso extractivo sostenible de un recurso natural. En el caso del bosque de San Miguel ésto fue posible debido a la cantidad y calidad de las investigaciones ecológicas llevadas a cabo por el proyecto Olafo de las especies analizadas.

4.3 En el proceso de valoración económica de los bienes y funciones con la metodología utilizada es necesario contar con tres grandes tipos de información: i) datos ecológicos productivos del ecosistema. ii) precios económicos de los productos/sustitutos y iii) costos económicos de transformación y comercialización. En este último caso se encontraron vacíos de información para obtener los costos unitarios económicos de los bienes y funciones.

La utilización de precios económicos o sombra en el proceso de producción y comercialización de los bienes permite obtener una mejor aproximación al verdadero valor social del manejo de un recurso natural. En el caso de toma de decisiones entre varias alternativas de manejo sería necesario un esfuerzo de investigación en este campo.

4.4 Los resultados obtenidos por los métodos de valoración económica indirecta deben considerarse aún como aproximaciones con rangos de variabilidad altos. La comparación y sistematización de los diferentes métodos de valoración indirecta utilizados para diversos ecosistemas tropicales y la utilización de análisis energéticos permitirán con el tiempo disminuir dichos rangos de variación.

4.5 De la evaluación realizada se identificó i) viabilidad de la metodología para cuantificar bienes y funciones ii) límites de esta metodología porque se basa en valores de uso en mercados imperfectos iii) herramienta valiosa en la toma de decisión sin olvidar que pueden haber otros

criterios complementarios de decisión en el manejo de un recurso natural.

- 5) De los resultados globales de la investigación se concluye que conviene mantener el bosque en su estructura y composición manejando la población de la diversidad de especies como forma de mantener una producción sostenible en el tiempo.

VIII RECOMENDACIONES

- 1) Continuar con las mediciones temporales de crecimiento del bosque en parcelas permanentes, para garantizar la confiabilidad de la información final del flujo de la función secuestro de carbono.
- 2) Profundizar en la metodología de cuantificación física del flujo anual de nutrimentos y cuantificar los nutrimentos en la biomasa aérea, mantillo y raíces del bosque.
- 3) Realizar estudios de cuantificación de pérdida de suelo del bosque por escorrentía superficial mediante la instalación de parcelas experimentales para obtener valores más exactos que el calculado por la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE).
- 4) Profundizar en los métodos de valoración indirecta de costo de reemplazo y sustitución tecnológica utilizados en la valoración de la función control de erosión con información del área tanto en sistemas que se adapten a la realidad de la zona como en los costos de implementación por hectárea.
- 5) Recopilar mayor información sobre los montos presupuestarios de los proyectos que trabajan en la Reserva de la Biósfera Maya con fines de conservación de la biodiversidad y manejo de los recursos naturales. Esto permitiría asignar valores más exactos de la disponibilidad a pagar por la sociedad para conservar estos ecosistemas y

en forma indirecta la biodiversidad que se encuentra en ellos.

- 6) Identificar y cuantificar física y económicamente las especies que tienen valor medicinal, aceites, fibras, tintes e insecticidas entre otros, profundizando en la investigación del aporte económico que generan en los países donde son manufacturados y vendidos con un alto valor agregado. Con ello se lograría tener valores comparativos con el obtenido por el método de la disponibilidad a pagar o conservar utilizado en la valoración del atributo biodiversidad.
- 7) Obtener mayor información para San Miguel de las actividades de caza de vida silvestre, turismo y extracción de otras especies del bosque para uso doméstico, como forma de asignar mayor valor económico de los bienes sin variar la estructura del bosque.
- 8) Profundizar la información económica de los bienes extraídos con especial interés en los precios y costos económicos o sociales, desde la etapa de producción hasta la comercialización de los productos finales. La implementación y el desarrollo de bancos de datos sistematizados con información física y económica de los ecosistemas tropicales es una tarea recomendable que debe ser llevada adelante a nivel de todos los países de Centroamérica.
- 9) Con fines de planificación temporal del manejo del ecosistema se recomienda ordenar la información para

elaborar modelos de simulación que permitan analizar diferentes escenarios posibles de uso de la tierra, donde la combinación de Sistemas de Información Geográfica con el uso de modelos de simulación permitiría un gran avance en este campo.

- 10) Para la comunidad de San Miguel se recomienda: i) fomentar el uso de la diversidad de especies con alto valor comercial ii) fomentar y promover la transformación de los recursos extraídos con el fin de incrementar el valor agregado y el precio de comercialización por unidad producida iii) fomentar investigaciones de mercado para especies maderables y no maderables como forma de diversificar el uso de la biodiversidad.
- 11) Por último se recomienda el manejo sostenible de los recursos naturales y de los bosques tropicales como forma de garantizar las necesidades de desarrollo económico y la conservación de los recursos naturales renovables para las futuras generaciones.

MAPAS

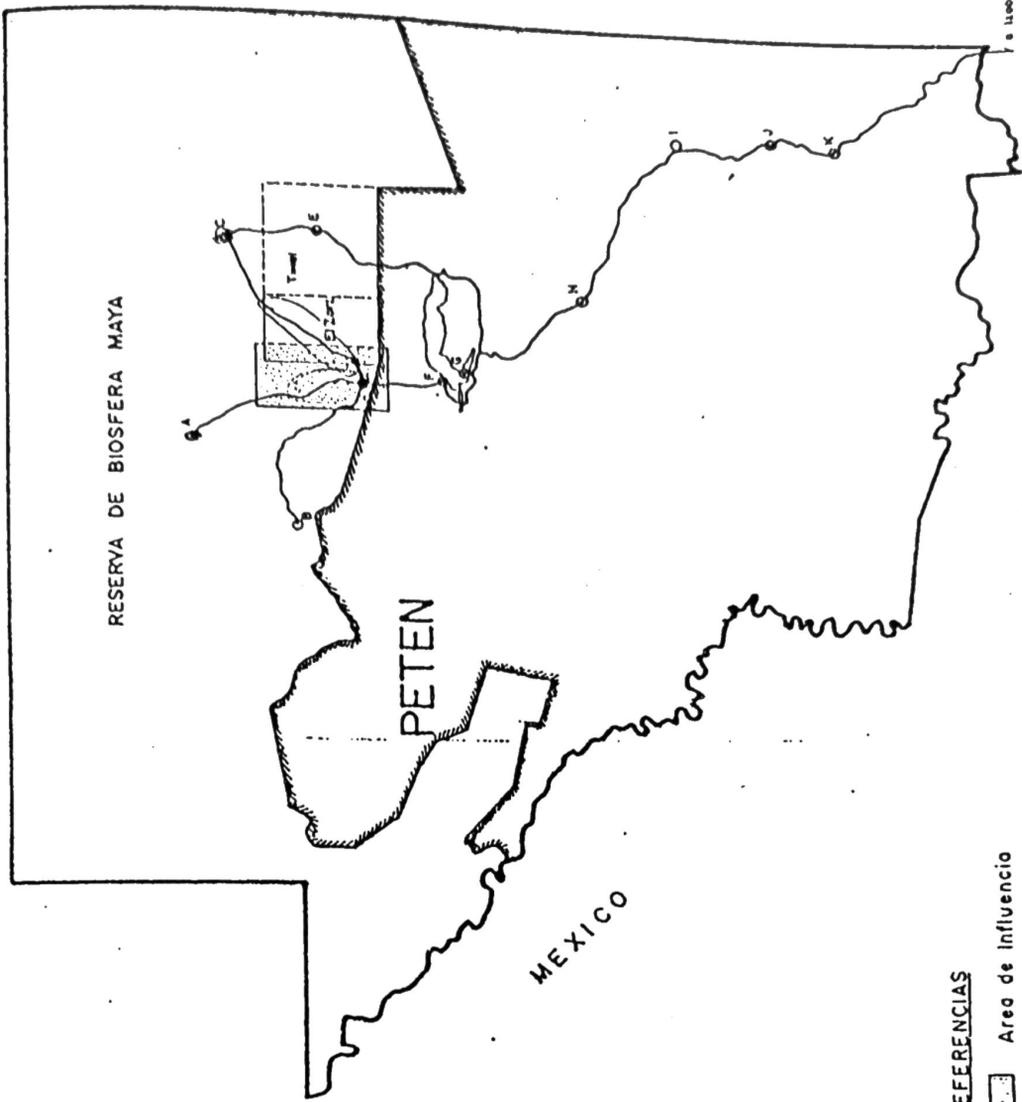


POBLADOS:

- A. Carmelita
- B. Paso Cabellos
- C. Uaxactún
- D. Cruce a dos equedas, (Chunyó)
- E. Tikal
- F. San Andrés
- G. Flores
- H. Santa Ana
- I. Dolores
- J. Popitún
- K. San Luis

REFERENCIAS

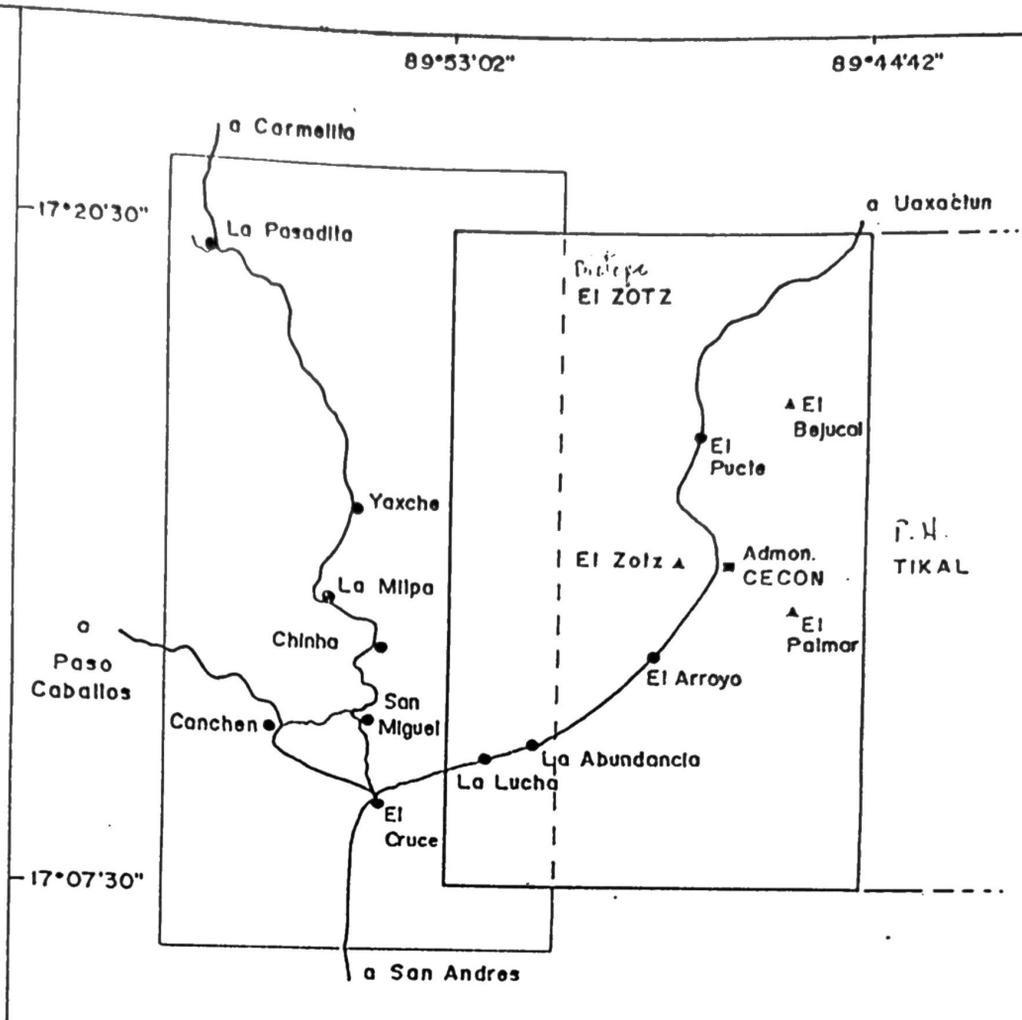
-  Area de Influencia
-  Poblados
-  Area de amortiguamiento de la zona R.B.M.



BELIZE

Figura No. 1	AREA DE INFLUENCIA	Escala 1:10
	MAPA DE LOCALIZACION	

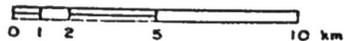
Area de amortiguamiento de la zona R.B.M.



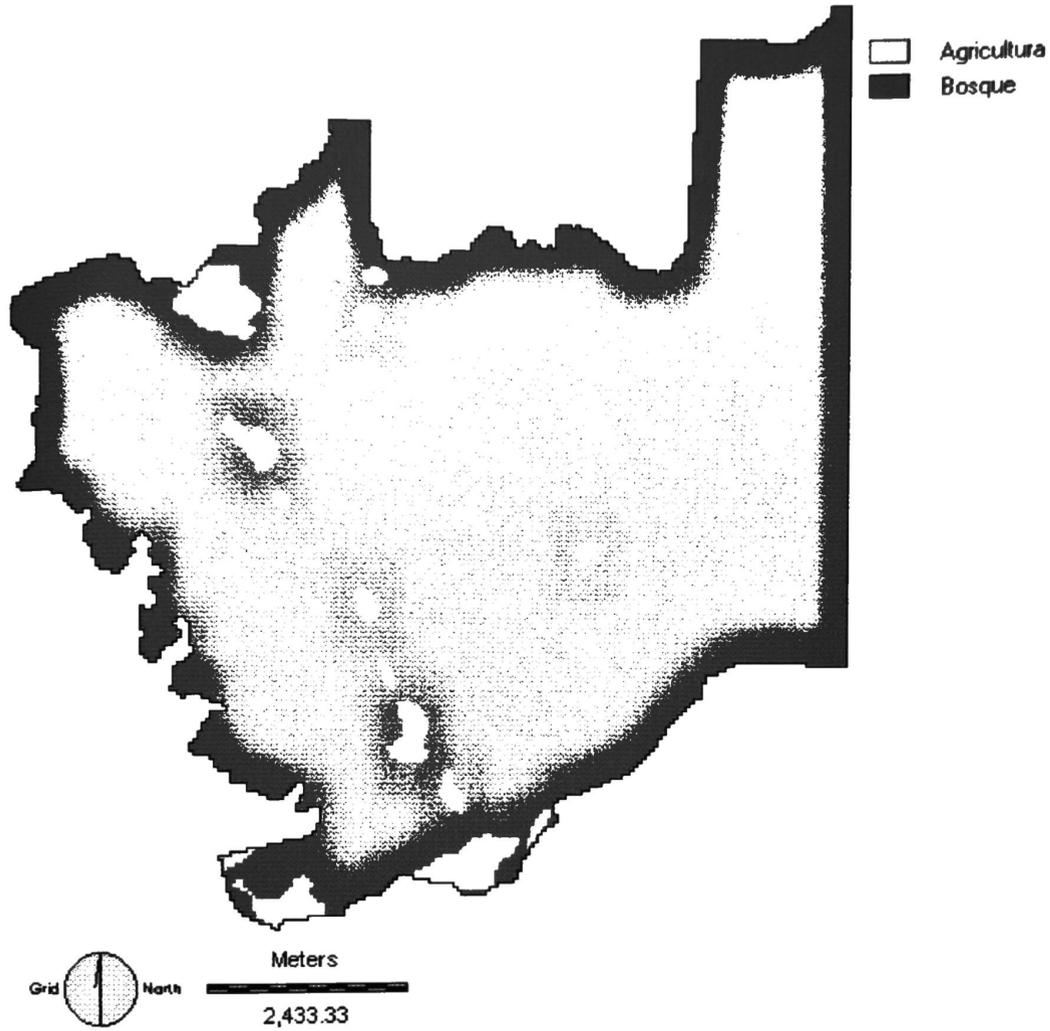
VIAS DE ACCESO, COMUNIDADES Y SITIOS ARQUEOLOGICOS

- POBLADOS
- ~ CAMINOS
- ▲ SITIOS ARQUEOLOGICOS
- ADMINISTRACION DE CECON

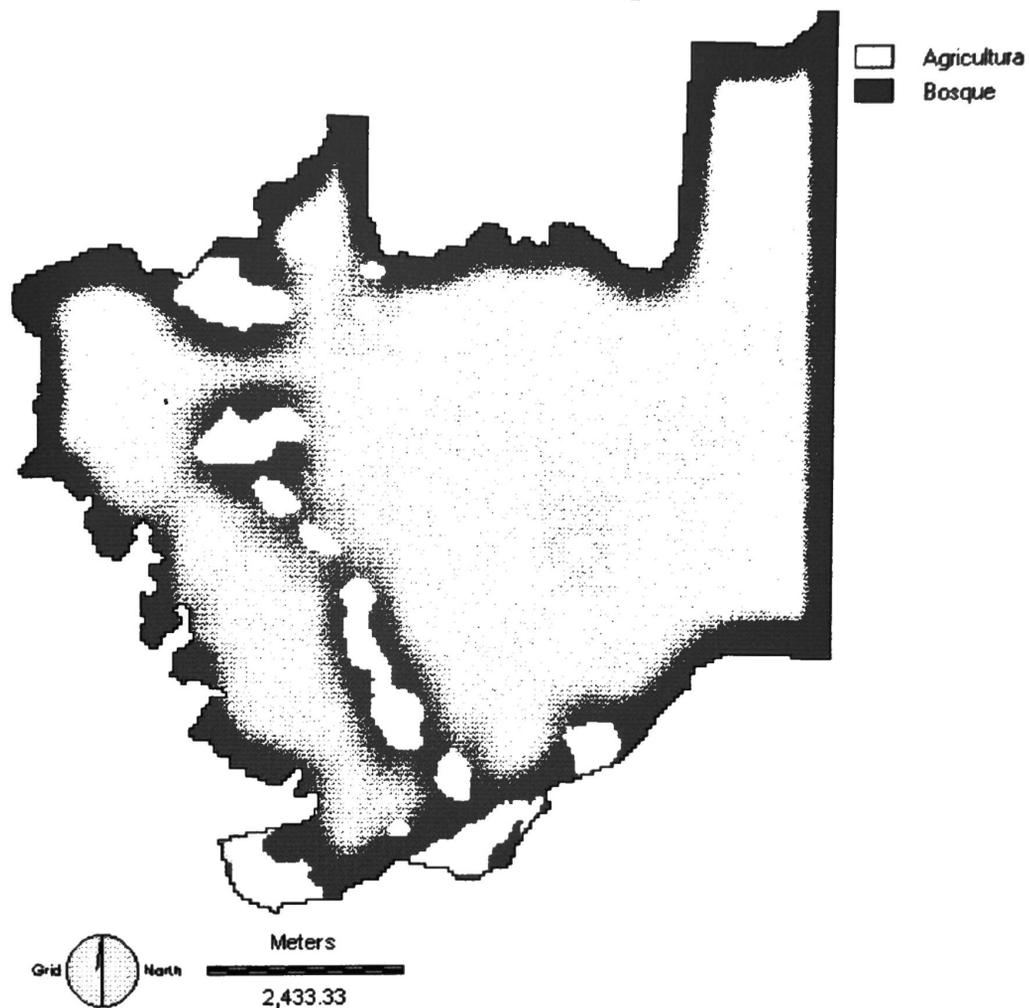
ESCALA 1:250 000



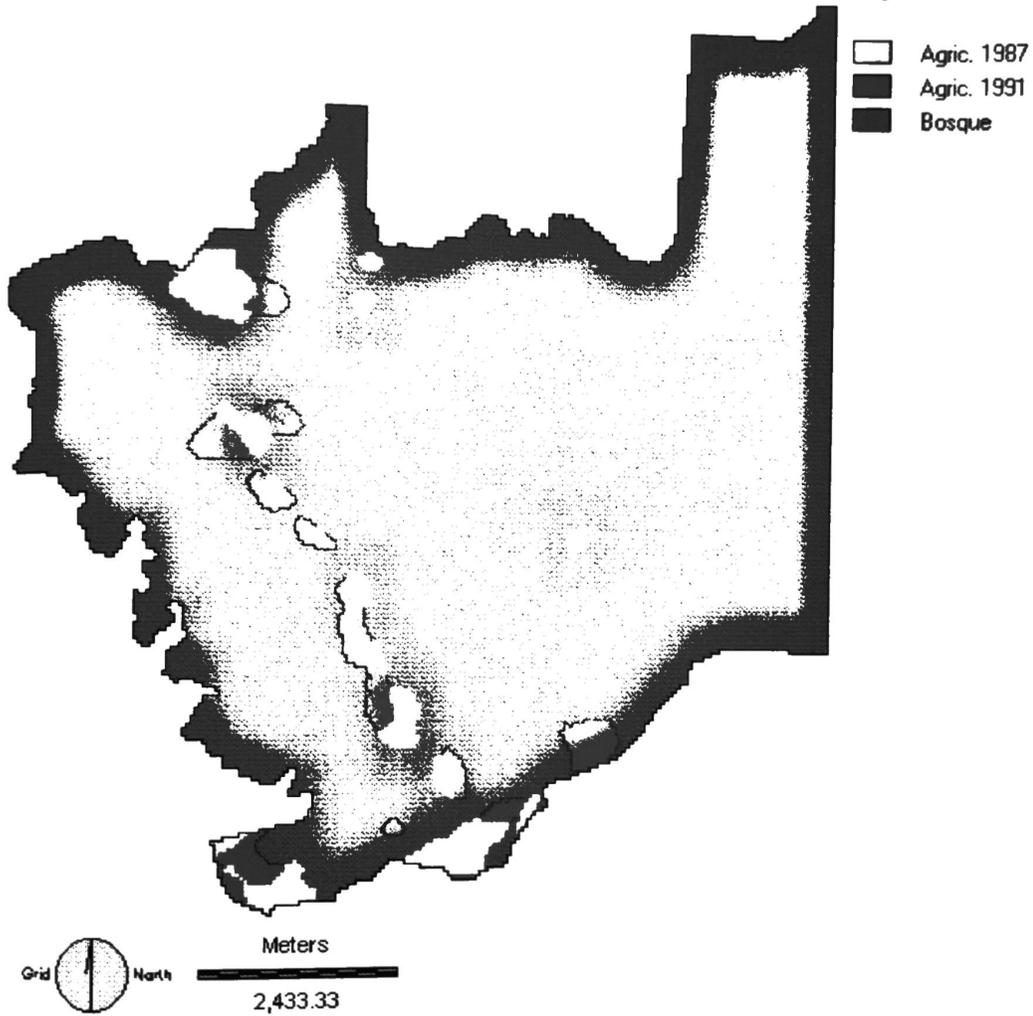
Mapa 1. Uso de la tierra San Miguel 1987



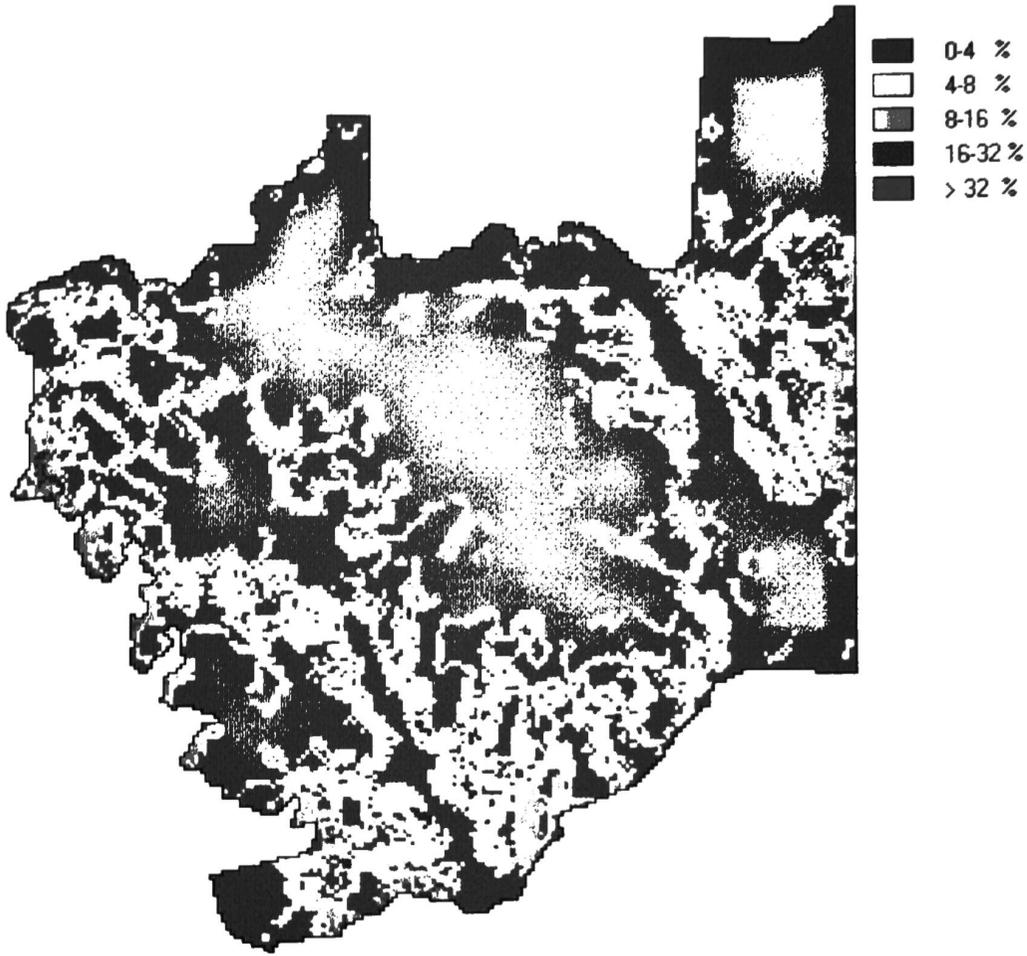
Mapa 2. Uso de la tierra San Miguel 1991



Mapa 3. Deforestacion en San Miguel (1987-1991)



Mapa 4. Pendientes de San Miguel

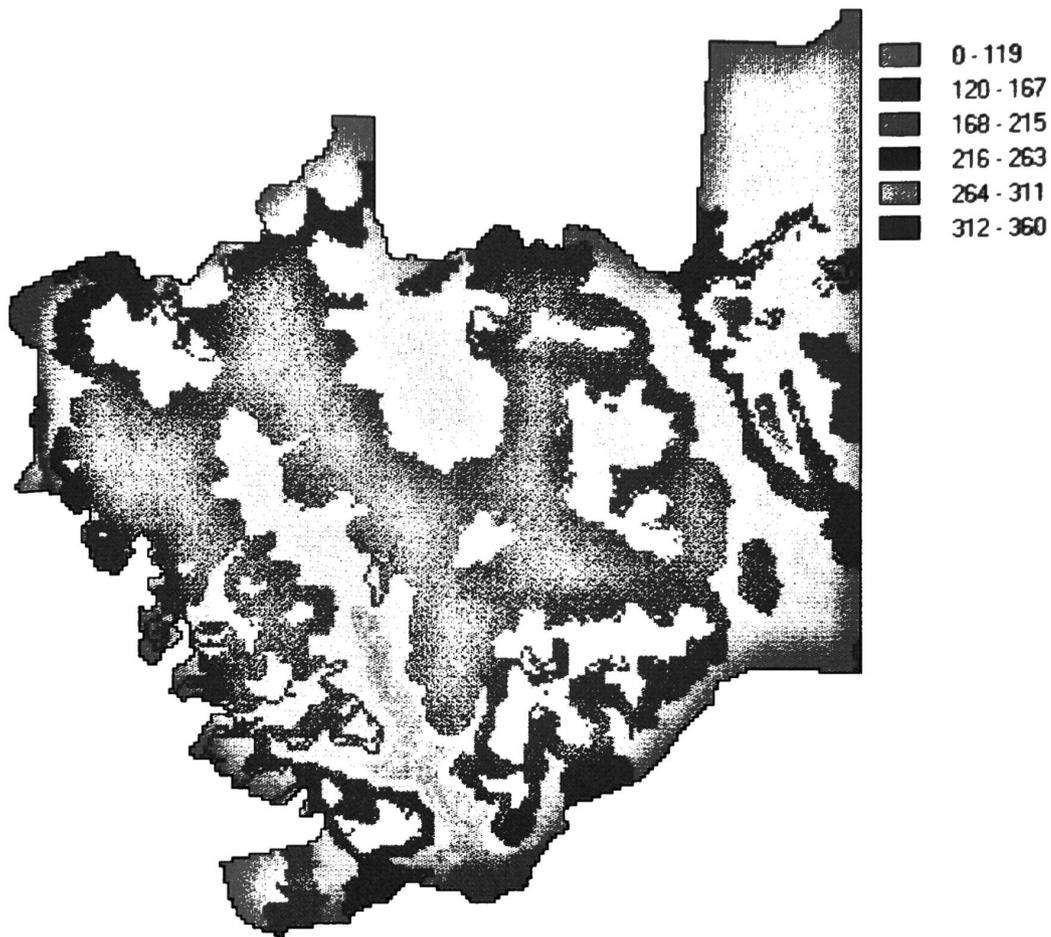


- 0-4 %
- 4-8 %
- 8-16 %
- 16-32 %
- > 32 %



Meters
2,433.33

Mapa 5. Hipsometría de San Miguel (msnm)



Meters

2,433.33

A N E X O S

Anexo 1. Flora y Fauna en San Miguel

Cuadro 1.A Especies forestales por grupo definido

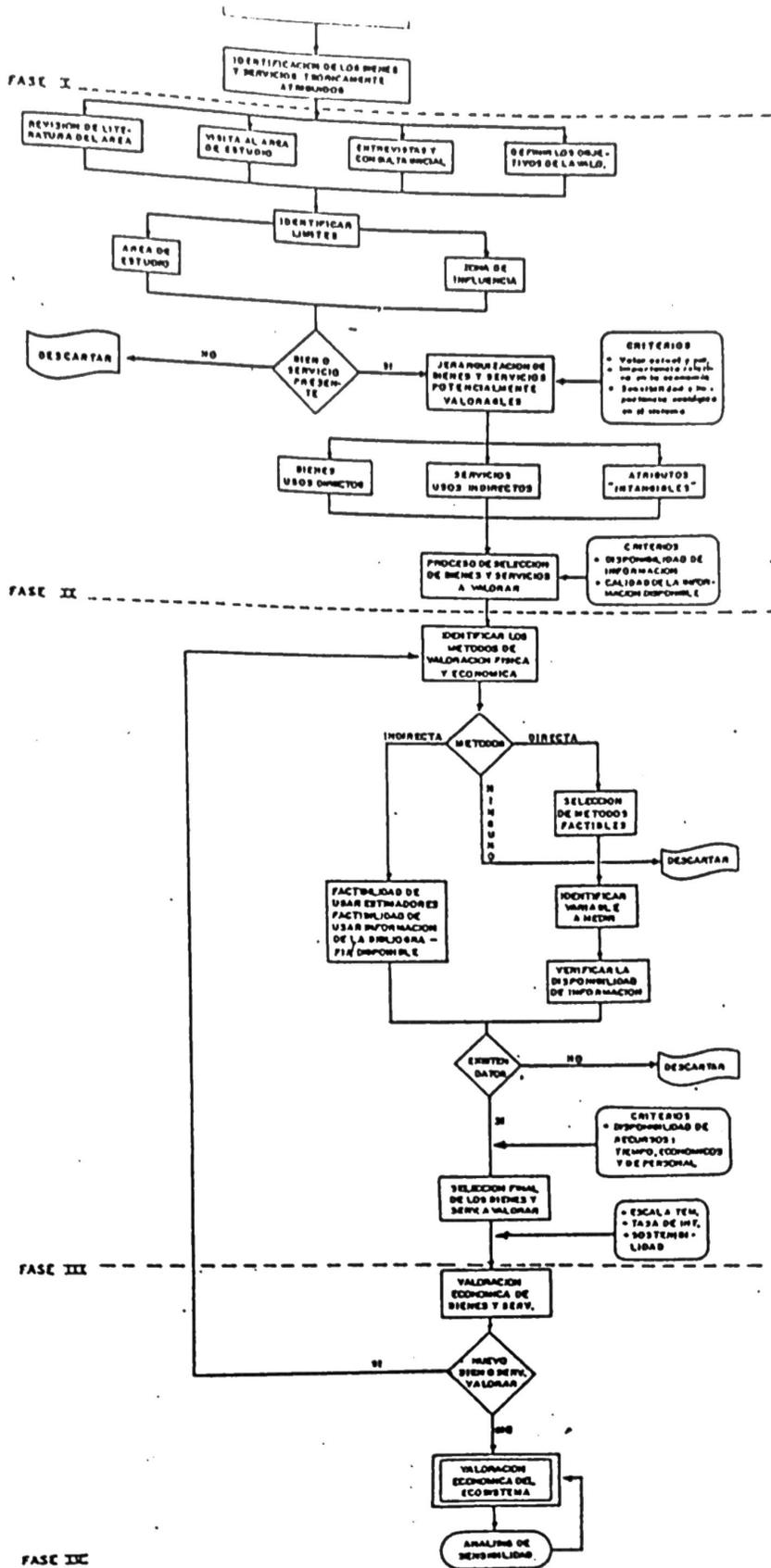
GRUPO	NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO
1	Cedro	Cedrela odorata
2	Caoba	Swietenia macrophylla
	Amapola	Pseudobombax ellipticum
	Cola de coche	Pithecelobium arboreum
	Danto	Vatairea lundelli
	Jobillo	Astronium graveolens
	Malerio colorado	Aspidosperma megalocarpum
	Manax	Pseudolmedia oxiphyllaria
	Manchiche	Lonchocarpus castilloi
	Santa maria	Calophyllum brasiliense
3	Amate	Ficus sp.
	Cedrillo	Guarea sp.
	Chacaj	Bursera simaruba
	Ceiba	Ceiba pentandra
	Cenicero	Pithecelobium saman
	Gesmo	Lysiloma sp.
	Jobo	Spondias mombin
	Mora	Chlorophora tinctoria
	Palo son	Alseis yucatanensis
	Pasaque	Simarouba glauca
	Pij	Gymnanthes lucida
	Ramón blanco	Brosimum alicastrum
	Sacuché	Rehdera penninervia
	Saltemuché	Simira salvadorensis
	San Juan	Vochysia hondurensis
	Silión	Pouteria amygdalina
	Testap	Guettarda sp.
	Yaxnic	Vitex gaumeri
4	Chicozapote	Manilkara achras
	Pimienta	Pimienta dioica
5	Otros no comerciales	

Fuente: Catie, 1994 - Plan de Manejo Forestal San Miguel

Cuadro 1.B

Especies de fauna identificadas en San Miguel

Nombre común	Nombre científico
Pavo petenero	Melagris ocelata
Pajuil	Crax rubra
Cojolita	Penelopina negra
Chachalaca	Ortalis vetula
Loro	Amazona autumnalis
Loro frente azul	Amazona farisona
Tucán	Pterogusos torquatus
Tucán real	Ramphastus sulfuratus
Venado cola blanca	Odocoileus virginianus
Cabro	Mazama americana
Mono araña	Ateles geoffrovi
Danto o Tapir	Tapirus bairdii
Tepescuintle	Agouti paca
León	Felis concolor
Tigrillo	Felis pardalis
Tigre	Pantera onca
Ardilla	Sciurus sureogaster
Cotuza	Dasiprocta punctata
Coche de monte	Tayasu tajacu
Pizote	Nasua narica
Barba amarilla	Borthros asper
Cascabel	Crotalus dirusus
Coral	Micrurus diastema
Mano de piedra	Atropoides nummifer
Cantil	Borthros godmani
Masacuata	Boa constrictor
Masacuata negra	Loxocemus bicolor



Anexo 2. Metodología para la valoración económica de humedales

ANEXO 3. Biomasa seca y contenido de NPK en el mantillo de bosques tropicales (T/ha)

SUELOS	MANTILLO	N	P	K
Mod. fértiles				
Ghana	10.7	0.202	0.0074	0.068
Zaire	12.4	0.224	0.0070	0.048
Panamá	11.4	-	0.0094	0.029
Panamá	11.1	0.195	0.015	0.047
Costa Rica	8.1	0.135	0.006	0.020
Guatemala	9.0	0.169	0.0058	0.020
China	11.6	0.169	0.011	0.029
Sarawak	11.5	0.110	0.0041	0.026
Australia	9.0	0.134	0.0012	0.064
	10.4	0.124	0.0102	0.056
med (d.e)	10.5 (1.4)	0.162 (0.039)	0.0088 (0.003)	0.041 (0.018)
Infértiles				
Costa de Marfil	11.9	0.170	0.008	0.028
Costa de Marfil	9.6	0.123	0.004	0.026
Colombia	12	0.141	0.0042	0.017
Colombia	8.7	0.103	0.0034	0.030
Brazil	9.9	0.156	0.0041	0.017
Brazil	7.3	0.106	0.0021	0.013
Brazil	7.9	0.114	0.0022	0.018
Brazil	6.4	0.074	0.0014	0.021
Venezuela	5.8	0.061	0.0008	0.006
Malaysia	8.9	0.100	0.0028	0.032
Sarawak	8.8	0.081	0.0012	0.033
Med (d.e)	8.8 (1.9)	0.108 (0.038)	0.0031 (0.0019)	0.022 (0.008)

fuelle: Vitousek y Sanford, 1986.

Anexo 4. Descripción de los parámetros de cálculo de la USLE

Según Wischmeier (1976; cit. Kirby y Morgan, 1984) la USLE (ecuación 4.1) puede utilizarse adecuadamente para:

ecuación 4.1
$$PS = R * K * LS * C$$

PS = Pérdida de suelos (Ton/ha/año)
R = Factor de erosividad de la lluvia
K = Factor de erodabilidad del suelo
LG = Factor de longitud y gradiente de la pendiente
C = Factor de cobertura en diferentes estratos

- a) predecir la pérdida anual de suelo de una pendiente en un campo con condiciones específicas para uso de la tierra
- b) servir como guía en la selección de sistemas de cultivo y manejo de prácticas de conservación, para suelos y pendientes específicos
- c) predecir el cambio en la pérdida de suelo que resultaría de un cambio en las cosechas de conservación sobre un campo específico
- d) determinar cómo pueden aplicarse o alterarse las prácticas de conservación para permitir un cultivo más intenso
- e) estimar las pérdidas de suelo en áreas con un uso de suelo distinto del agrícola
- f) obtener estimaciones de pérdida de suelo para determinar las necesidades de conservación.

El factor de **erosividad de la lluvia (R)** se define como la erosividad resultado de la precipitación pluvial. No hay datos disponibles en el Petén para calcular el factor R de San Miguel. Para la estimación de este factor se recurrió a información secundaria en una zona con características climáticas similares a las del Petén.

Se seleccionó el factor R calculado para la zona de Louisiana en los EUA (Wischmeier y Smith, 1978), relacionando en forma lineal el valor R de Louisiana, los promedios anuales de precipitación de dicha zona y los del área de estudio (ecuación 4.2). Los valores de precipitación media anual de San Miguel son obtenidos de los datos de precipitación de la estación meteorológica de Tikal (Morales, 1995).

Ecuación 4.2

$$R_{sm} = R_1 * P_{sm} / P_1$$

donde:

- | | | |
|----------|---|---|
| R_{sm} | = | factor R de San Miguel |
| R_1 | = | factor R de Louisiana |
| P_{sm} | = | precipitación media anual en San Miguel |
| P_1 | = | precipitación media anual en Louisiana |

El factor de **erosividad del suelo (K)** es una descripción cuantitativa de la erodabilidad inherente de un suelo determinado, reflejando el hecho de que diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas cuando los demás factores que afectan la erosión son los mismos (Kirby y Morgan, 1984). Para un suelo determinado, el factor K se define como "la tasa de erosión por unidad de índice de erosión a partir de una parcela estándar".

La medición directa de K, requiere una cantidad considerable de tiempo y equipo costoso. En la investigación se aproximó un

factor K con base a la interpretación de los análisis físicos, textura y estructura de los suelos del área de estudio, relacionado a valores K del Servicio de Conservación de los Estados Unidos para distintos tipos de suelo (cuadro 4.1) (Schwab et al, 1981).

Cuadro 4.1 Magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo

Clase de textura	Contenido de materia orgánica		
	5%	20%	40%
Factor de erodabilidad	K	K	K
Arena	.05	.03	.02
Arena fina	.16	.14	.10
Arena muy fina	.42	.36	.28
Arena migajosa	.12	.10	.08
Arena fina migajosa	.24	.20	.16
Arena muy fina migajosa	.44	.38	.30
Migajón arenoso	.27	.24	.19
Migajón arenoso fino	.35	.30	.24
Migajón arenoso muy fino	.47	.41	.33
Migajón	.38	.34	.29
Migajón limoso	.48	.42	.33
Limo	.60	.52	.42
Migajón arcilloso arenoso	.27	.25	.21
Migajón arcilloso	.28	.25	.21
Migajón arcilloso limoso	.37	.32	.26
Arcilla arenosa	.14	.13	.12
Arcilla limosa	.25	.23	.19

fuelle: Kirby y Morgan, 1984

El factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS) es un factor topográfico, donde la longitud de la pendiente se define como "la distancia desde el punto de origen del flujo sobre la superficie hasta el punto donde la pendiente disminuye lo bastante como para que ocurra la deposición o hasta el punto en que la escorrentía entra en un canal definido" (Kirby y Morgan, 1984). El gradiente de la pendiente

es "el campo o segmento de pendiente, expresado como porcentaje".

Wischmeier y Smith (1965) definieron como factor de longitud de pendiente (L) la ecuación 4.3 donde x es la longitud de la pendiente en metros y m un exponente que varía en base a los factores topográficos de gradientes.

Ecuación 4.3.
$$L = (x / 22.13)^m$$

El factor de gradiente de pendiente (G) se obtiene aplicando la ecuación 4.4 donde g es el gradiente en porcentaje.

Ecuación 4.4
$$G = 0.43 + 0.30g + 0.043g^2 / 6.613$$

En la investigación el factor LS se calculó a partir de la aplicación de la fórmula de Wischmeier mediante el modelo computarizado USLE-LS (Desmet y Govers, 1994). Este utiliza el mapa de Hipsometría en metros y el mapa de Pendientes en % del área de estudio para calcular longitud y gradiente de la pendiente (mapas 4 y 5).

El factor de **cobertura en diferentes estratos (C)** representa "la relación de pérdida del suelo a partir de una condición específica de cultivo o cobertura con la pérdida del suelo a partir de un estado de labranza y barbecho continuo para el mismo suelo, pendiente y precipitación pluvial" (Kirby y Morgan, 1984).

Tablas de valores promedios de factores C, de U.S Soil Conservation Service (Kirby y Morgan, 1984) para diferentes usos y cobertura se va a utilizar como factor de aproximación de la cobertura de los distintos usos del suelo en el área de estudio de San Miguel (cuadro 4.2).

Cuadro 4.2 Valores de C según porcentajes de cobertura vegetal

DOSEL VEGETAL TIPO Y ALTURA	CAPA DE M.ORG O VEGETACION SOBRE LA SUPERFICIE DEL SUELO ^c						
	% ^a	0	20	40	60	80	95-100
Ninguno	0	45	24	15	9.1	4.3	1.1
Matorral bajo: 0,5 m. ^b	25	36	20	13	8.3	4.1	1.1
	75	17	12	9	6.8	3.8	1.1
Arbustos: 2 m.	25	40	22	14	8.7	4.2	1.1
	75	28	17	12	7.8	4.0	1.1
Arboles: 4 m.	25	42	23	14	8.9	4.2	1.1
	75	36	20	13	8.4	4.1	1.1

a - porcentaje de cobertura

b - altura efectiva

c - los valores de C son para cubierta superficial de hierbas o residuos.

fuelle: Kirby y Morgan, 1984

4.1 Aplicación de USLE en San Miguel

a) Cálculo de R

Haciendo una correlación lineal entre los valores de R y de precipitación de Louisiana (EUA) y precipitación de San Miguel

La Palotada, por ser ambas húmedas y afectadas por tormentas tropicales se tiene:

$$427 \text{ T/ha/año} = 550 * 1,283 / 1,650$$

Brady (1984), calculó valores promedio anuales de erosión por lluvia en los Estados Unidos, con un valor de R para Lousiana de 550 y una precipitación promedio anual de 1650 mm. Para el caso de San Miguel se tiene una precipitación media anual de 1,283 mm. lo que representa un valor de R_{sm} de 427.

Young (1986) calculó valores de R para bosques tropicales con rangos de entre 800 y 1000 para precipitación promedio de 2000 mm/año y de 400 para promedios de precipitación de 800 mm/año.

El factor R es el componente más sensible de la ecuación ya que sus valores son > 1 y debe ser analizado con base a valores de intensidad de lluvia medida en mm/hora. En este caso se supone igual intensidad de lluvia en Lousiana y el área de estudio.

b) Cálculo de K

Los suelos de las colinas Typic rendolls son de buen drenaje. La textura en los horizontes sueltos revela entre 35% y 45 % de arcilla, pedregosidad variable de mediana a fuerte y débil actividad de fauna en el suelo.

Las reservas hídricas útiles de estos suelos depende de la fragmentación o compactación de los bloques calcáreos y a 30 cm

de profundidad las raíces obtienen mayor cantidad de agua si los bloques son fragmentados, ya que éstas podrán desarrollarse a través de las grietas.

Los suelos del tipo Pellic vertisols se encuentran en las zonas bajas de los valles y tienen lento tiempo de drenaje. No se detectan alteritas a 170 cm de profundidad y su textura es arcillosa o arcillo limosa con 50 % en todo el perfil.

Los cambios en la porosidad están ligados a los espacios entre las grietas superficiales y el comienzo de la época lluviosa. Durante la época seca se forman grietas anchas de entre 40 y 70 cm de diámetro que son aprovechados por las raíces a 20 y 30 cm. de profundidad.

En el cuadro 4.3 se muestran los porcentajes de materia orgánica para diferente profundidad del suelo.

Cuadro 4.3 Materia Orgánica en los suelos del área de estudio (%)

TIPO DE SUELO	0-10 cm	30-40 cm
Rendzinas	10.57	6.60
Vertisoles	17.23	4.46

fuentes : Collinet, 1990.

El promedio de la cantidad de materia orgánica para cada suelo es de 13.9 %. Con fines de simplificación del análisis y asignar un valor de K que pueda ser relacionado con el cuadro

4.1 se supone un % de materia orgánica de 20% y una clasificación de suelo del tipo arcilloso limoso con lo que resulta un valor de K de 0.23 como factor de erodabilidad de suelo (Solís. com. pers).

OEA (1972) reporta valores de K en un rango de 0.11 y 0.25 para la altiplanicie central de Guatemala y Solís et al. (1992) calculó un factor K de 0.21 para los suelos kársticos de los humedales de Petexbatún, El Petén, Guatemala.

c) Cálculo de LS

De la aplicación del modelo computarizado USLE-LS (Desmet et al. 1994) se obtuvo para toda el área un factor LS de 0.96. Solís (1993) calculó para el caso de los humedales de Petexbatún un valor de LS de 0.44 para pendientes promedio de 5%.

Valores generalizados del factor LS según diferentes % de pendiente se presentan en el cuadro 4.4 (Wischmeier y Smith, 1978), donde el valor obtenido se encuentra dentro de los valores reportados por la literatura.

Cuadro 4.4 Factor LS según % y longitud de pendiente (m)

Pendiente (%)	Longitud de pendiente (m)		
	50	100	200
2	0.20	0.3	0.4
4	0.5	0.7	0.9
6	0.9	1.2	1.7
8	1.3	1.8	2.5
10	1.8	2.5	3.5
15	3.3	4.6	6.5
20	4.5	7.5	10.0
25	5.2	11.0	15.0

fuentes: Wischmeier y Smith, 1978

d) Cálculo de C

El factor de cobertura es un valor que se encuentra en un intervalo de $0 < C < 1$. Para la investigación se analizó según la topografía, características y estado del bosque de San Miguel pre y post aprovechamiento y se relacionó a valores de la literatura de C según diferentes porcentajes de cobertura vegetal (cuadro 4.2), asignando un factor C de 0.01 para el bosque de San Miguel (Kirby y Morgan, 1984; Faustino, com. pers).