



Universidad de la República
Facultad de Ciencias Sociales
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

Documentos de trabajo

**Evaluación Económica de Humedales: Estudio de Caso de
Humedales de Petexbatún, Petén, Guatemala**

Gustavo Sención

Documento No. 13/02
Diciembre, 2002

EVALUACION ECONOMICA DE HUMEDALES

- ESTUDIO DE CASO HUMEDALES DE PETEXBATUN - PETEN GUATEMALA -

Resumen

Este trabajo tiene como objetivos validar una metodología general para la evaluación económica de humedales en el trópico, adaptarla para una valoración rápida y valorar económicamente el ecosistema de los Humedales de Petexbatún con base en dicha metodología.

Los valores económicos obtenidos presentan resultados contradictorios con relación a la importancia ecológica de los bienes y servicios atribuidos al ecosistema (Barbier, 1989). Sin embargo, es una primera aproximación en una unidad de medida económica y un gran avance metodológico para análisis de ecosistemas donde existe poca información e investigación.

Palabras claves: Petexbatún, Petén, Guatemala, Valoración Económica Humedales, Ecosistemas, Madera, Pesca, Vida Silvestre, Agricultura, Ganadería, Recarga de Acuíferos, Descarga de Acuíferos, Retención Sedimentos, Control Inundaciones, Transporte Acuático, Turismo, Calidad de Agua, Retención Nutrientes.

Abstract

The aim of this work is to validate a general methodology for the economic evaluation of wetlands in the tropic, and to modify it in order to achieve a quick economic valuation of the ecosystem in Petexbatún Wetlands.

The results obtained for the economic values are not fully consistent with the ecological importance of the goods and services attributed to the ecosystem (Barbier, 1989). Nevertheless, as a first approach using an economic unit of measurement, it can also be considered as a methodological contribution to the analysis of ecosystems, an area with scarce information and research accumulation.

Keywords: Petexbatún, Petén, Guatemala, Economic Valuation Wetlands, Ecosystems, Wood, Fishing, Wild Life, Agriculture, Cattle ranch, Charge of Water-bearing, Unloading of Water-bearing, Retention Sediments, Control Floods, Aquatic Transport, Tourism, Quality of Water, Retention Nutrients.

I. INTRODUCCION

El presente estudio, fue elaborado en el marco del Proyecto Conservación para el Desarrollo Sostenible en América Central, llamado más comúnmente Proyecto OLAFO. Este último, es parte del Programa de Manejo Integrado de Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

La División de Humedales de la UICN en Centroamérica contribuyó a que este estudio se llevara a cabo a través de sus aportes en la metodología base utilizada y la generación de datos básicos.

Pese a que este estudio presenta resultados cuantitativos de la evaluación, se considera que su aporte más valioso es a nivel metodológico. En efecto, el esfuerzo realizado permite desde el punto de vista metodológico, analizar las dificultades y alternativas de la valoración económica de ecosistemas, en este caso de humedales, en condiciones que en definitiva son las más comunes en zonas tropicales y en países en vía de desarrollo: ecosistemas con poca presión poblacional y de difícil accesibilidad.

II. ANTECEDENTES

El Proyecto OLAFO desde 1989 incluyó dentro de sus actividades la investigación en evaluación económica de humedales.

Los objetivos de este componente son:

- i) Desarrollar y validar una metodología para la identificación y evaluación de las funciones, servicios y bienes generados por los humedales en dos áreas de América Central;
- ii) Preparar y publicar un manual para la evaluación económica de los humedales tropicales de América Central.

Para desarrollar el componente de Evaluación Económica de Humedales fue determinante la participación de expertos internacionales para elaborar las pautas metodológicas iniciales. Paralelamente al proceso inicial de definición de la metodología global, se seleccionaron dos áreas de humedales: Río La Pasión en El Petén, Guatemala y los manglares de la costa norte Pacífica de Nicaragua.

Al seleccionar un humedal de agua dulce y uno marino-costero, el análisis comparativo podría ser más enriquecedor desde el punto de vista metodológico. Asimismo, el área en El Petén se seleccionó porque era parte de la Estrategia Regional apoyada por la UICN en Guatemala.

La selección de áreas de trabajo fue confirmada después de una misión (1989) integrada por expertos en humedales, economía de recursos naturales, hidrología y el personal del CATIE involucrado en esta investigación. Se organizaron talleres de trabajo para analizar los avances de la investigación y afinar la metodología global.

III. OBJETIVOS

Objetivos Generales

1. Validar una metodología general para la evaluación económica de humedales en el trópico y adaptarla para una valoración rápida.
2. Valorar económicamente el ecosistema con base en dicha metodología.

Objetivos Específicos

1. Identificar y priorizar los componentes, funciones y atributos de un humedal de agua dulce en Petén, Guatemala.
2. Cuantificar cada una de las variables anteriores.
3. Sistematizar la metodología utilizada.

IV. METODOLOGIA

4.1. AREA DE ESTUDIO

4.1.1. Presentación general y antecedentes históricos

El área inicial de aproximación del estudio abarca unos 10,000 km², los cuales corresponden a la Cuenca total del Río La Pasión. La colonización de ésta zona se inició en 1930 a consecuencia de la instalación de las empresas Madereras a la orilla del Río La Pasión, utilizándolo como medio de transporte para las trozas de madera dirigidas hacia México (Bastarrechea, 1991).

En 1965, se produce otra ola de inmigración de más de 600 familias, organizada por el Gobierno de Guatemala, con los objetivos de detener la construcción de una presa sobre el Río Usumacinta por el Gobierno Mexicano, donde iban a perderse extensos territorios de bosque del Petén y solucionar en parte los problemas de presión sobre la tierra en el Pacífico de Guatemala (cit. in Bastarrechea, 1991)

El principal centro de población es Sayaxché, que concentra 3,511 familias, 87 caseríos y alrededor de 35,000 habitantes, caracterizándose por su baja densidad poblacional; el municipio de Sayaxché tiene 6.6 hab/km².

4.1.2. Aspectos hidrogeológicos y topográficos

La abundante precipitación es una característica importante del Petén y ocurre en todos los meses del año. El promedio anual de precipitación en Sayaxché es de 2,110 mm, aumentando de Norte a Sur (Bastarrechea, 1991).

Las características hidrogeológicas de la región se relacionan con la posibilidad de fugas de agua hacia cuencas vecinas, dada la naturaleza kárstica de los suelos. Los arroyos San Simón, Chajmaic, Sebol, Sta Isabel y Chiyú de la parte alta de la cuenca del río La Pasión contribuyen más a las cuencas de los ríos Cahabon y Sarstún de la vertiente del Mar Caribe que a la de La Pasión.

Las pendientes del terreno tienen dirección suroeste al noreste; únicamente al oeste del río La Pasión hay serranías bajas formadas por calizas cretácicas, mientras que la topografía dominante es baja y levemente ondulada.

El plegamiento sinclinal ha sido disectado por los ríos La Pasión, Petexbatún e Itzán, donde se encuentran los sitios arqueológicos El Ceibal, Aguateca e Itzán (200 msnm), respectivamente. El plegamiento anticlinal se localiza paralelo al río La Pasión al sur de la laguna de San Juan Acul.

El río fluye en dirección norte hasta la altura de la entrada del riachuelo San Martín, sobre sedimentos marinos impermeables, luego gira alrededor de 90 grados en dirección oeste, sobre los mismos sedimentos marinos hasta la confluencia con el río Salinas. Los humedales de Petexbatún también están localizados sobre sedimentos marinos.

Los suelos del área son básicamente kársticos. Alvarado (1985; cit. Basterrechea, 1991) a partir de una muestra tomada en Sayaxché, define la textura de los diferentes horizontes como arcillosa. La permeabilidad de los terrenos varía mucho. Prácticamente no existen acuíferos homogéneos en los cuales se puedan hacer predicciones de su profundidad y rendimiento (INSIVUMEH 1985). Además, la circulación de agua a través de las cavernas puede ser alterada por la ocurrencia de ríos subterráneos que capturan el agua. Esta situación provoca una gran variabilidad en el sistema de drenaje superficial.

4.1.3. Uso potencial de la tierra

Los estudios del proyecto de Evaluación Forestal FAO-FYDEP muestran que la serie de suelos que predomina en el área presentan una alta potencialidad para cítricos, pastoreo, forraje y bosques manejados.

La serie de suelos en la margen derecha del río La Pasión entre el río San Juan y el riachuelo San Martín presentan las mismas características que la serie anterior aunque también con potencialidad para el cacao. La serie de suelos Petexbatún presenta una alta potencialidad para bosques manejados, pero baja o muy baja potencialidad para cultivos anuales, cítricos, pastoreo y forraje.

Al norte del área de estudio (cuenca del Río La Pasión), los suelos tienen alto potencial para cultivos anuales y perennes, intensivos o no intensivos con prácticas de manejo, siendo los más recomendables el cacao, cítricos y hule. Aquí se encuentran la mayoría de plantas del bosque tropical lluvioso ya que los suelos a la orilla del río son fértiles de aluviones y rendzinas.

4.1.4. Uso actual de la tierra

Los datos históricos entre 1962 y finales de la década de los 80, no permiten elaborar comparaciones muy exactas debido a que las unidades territoriales no coinciden entre sí. De acuerdo con el mapa de 1985, en el área de la cuenca del Humedal Petexbatún el uso de la tierra indicaba que 71% del área, sin incluir los humedales de la cuenca del Petexbatún, estaba cubierto por bosques.

Las tierras intervenidas en descanso o bosque abierto para fines agrícolas/ganaderos, representaban una proporción mayor (8%) que las tierras cultivadas (5%), mientras que la ganadería con 10% del área total tiene una extensión que se le aproxima a la de humedales 12%).

Cuadro 1. Uso actual de la tierra, 1985

Conceptos	Hectáreas	%
Agricultura	2,296	5.20
Ganadería	4,827	10.93
Bosques intervenidos	3,411	7.72
Bosques	27,932	63.29
Humedales	5,594	12.67
Poblados	69	0.19
Total	44,129	100%

Elaboración Propia (1993)

La presencia de suelos relativamente pobres, obliga a los agricultores a abandonar rápidamente sus terrenos, con un ciclo de 9 años consecutivos en la misma parcela, 3 años de aprovechamiento y 6 de descanso, barbecho o guamil. Los cultivos más importantes son el maíz, frijol, arroz y pepitoria, encontrándose en forma aislada y en pequeñas cantidades cultivos de achiote, piña, naranja y chile. Las técnicas utilizadas no incluyen maquinaria y el uso de agroquímicos es marginal debido a su alto costo.

En promedio, cada finca tiene 8 ha. dedicadas a la agricultura. De éstas, la mitad son para maíz, 2 ha. para pepitoria, 1.5 ha. a frijoles y 0.5 ha. al cultivo del arroz. De acuerdo con la Institución rectora del manejo de los bosques de Guatemala, **DIGEBOS**, son pocas las licencias que se otorgan en la zona para la extracción de madera. Sin embargo, existen grandes aserraderos asentados en el área, lo cual nos da una idea de la importancia maderera que tiene la zona (Aserradero Baren Comercial, San Nicolás y Del Norte).

Los humedales de Petexbatún cubren aproximadamente 56 km², incluyendo áreas saturadas, en forma temporal y/o permanente, con diferentes tipos de vegetación; espejos de agua y vegetación emergente. (ver mapa de uso actual de la tierra de la Cuenca de La Laguna de Petexbatún y Anexo 2).

Los Mapas de uso actual, potencial y conflictos de uso del área de la Cuenca Petexbatún, se elaboraron en base a las fotos aéreas y mapas escala 1:50.000 y en el Anexo 3, se provee las explicaciones de las categorías mencionadas en los mapas.¹

4.2. METODOLOGIA PARA LA VALORACION ECONOMICA

4.2.1. Presentación general

Dentro de los humedales de la cuenca del río La Pasión se decidió aplicar una metodología de valoración económica parcial a aquellos ubicados en la cuenca del río Petexbatún, tomando como base la guía metodológica original².

El diagrama 1, presenta el esquema metodológico utilizado para la evaluación económica del humedal. Para su definición se tomaron en cuenta dos criterios: a) el tiempo disponible para la recopilación de información (5 meses) y b) poca información secundaria disponible sobre el área.

El poco tiempo e información disponible, llevó a considerar el enfoque parcial como el más viable en esta etapa de la investigación. En efecto hay que tener en cuenta la falta de conocimiento de muchas variables que hacen a la complejidad del ecosistema, como la biodiversidad o algunas funciones ecológicas que contribuyen al logro de una valoración total.

4.2.2. Valoración Económica de los Humedales de Petexbatún

4.2.2.1. Etapa de selección

4.2.2.1.1. Identificación del área total

El área para la evaluación económica, fué definida y ubicada en lo que se denomina la cuenca del río La Pasión, en el municipio de Sayaxché, departamento del Petén, Guatemala. En esta etapa, se utilizaron criterios de análisis hidrológicos y de delimitación de cuencas y con ello fue posible delimitar sub-cuencas que permitieran profundizar sobre la identificación de componentes, funciones y atributos así como de sus efectos e impactos.

Para ello, se recurrió a información secundaria y recopilación de información primaria. En el primer caso, se consideraron tres (3) estudios referidos a la cuenca del río La Pasión y materiales cartográficos.³

¹ - Los mapas originales se encuentran a disposición en la biblioteca del Proyecto Olafo (Proyecto Olafo - A.P. 99 CATIE, Turrialba, Costa Rica)

² - Barbier, E. Constanza, R. and Twilley, R. 1991. Guidelines for Tropical Wetland Evaluation. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

³ - Basterrechea, M. 1991; Hughes, J.M.R. 1989. Methodology for quantifying the hydrological functions of the river La Pasión.; Barbier, E.B 1989 Economic evaluation of tropical wetland resources applications in Central America. - Vázquez, A. 1989. Functional Assessment of wetlands. Economic evaluation of tropical wetland resources project.; Mapas cartográficos del área de estudio, escala 1:50.000.; Fotografías aéreas, 1987.

La recopilación de información primaria, consistió en: i) **entrevistas** estructuradas con: comerciantes de Sayaxché, funcionarios de la Municipalidad, Alcaldes de las comunidades, dueños de embarcaciones y campesinos de la zona. ii) **reconocimiento de campo**; a través de recorridos por el área, tanto por ríos, lagunas y zonas pantanosas como por la carretera Transversal Norte, visitando las comunidades situadas en sus alrededores. iii) encuestas a turistas.

La idea inicial fué conformar un mapa informativo e ilustrativo, analizando las distintas actividades correspondientes a los bienes y servicios que proveen los humedales de la zona y su ubicación geográfica

4.2.2.1.2. Análisis de posibles áreas de estudio

Como resultado del trabajo de campo se delimitaron tres subzonas identificadas de la siguiente manera:

- A - Subzona oeste:** desde Sayaxché por el río La Pasión, hasta la desembocadura del río Usumacinta (frontera con México).
- B - Subzona este:** de Sayaxché por río La Pasión, hasta el sitio arqueológico El Ceibal.
- C - Subzona sur:** de Sayaxché por el río y la laguna Petexbatún, hasta sitio arqueológico Aguateca.

4.2.2.1.3. Selección del humedal

Los criterios para seleccionar el humedal entre las 3 subzonas fueron: 1) características comunes y 2) características diferenciales

a) Características comunes a todas las subzonas

Es el caso de agricultura, ganadería, extracción de palo tinto, recursos forestales, transporte acuático, consumo de agua, pesca, control de inundaciones y mantenimiento de la calidad del agua.

b) Características diferenciales

b.1 determinantes: utilizando criterios hidrológicos y de definición de cuenca. La subzona de Petexbatún permitía definir mejor los efectos e impactos de las distintas variables identificadas, por tratarse de una subcuenca, lo cual no sucede con las otras dos subzonas.

b.2 adicionales: se buscaron aquellas variables que existían en alguna de las zonas y en otras no, y/o también aquellas que tuvieran una mayor importancia relativa para la zona y la región en su conjunto. Una característica que se identificó en la subzona de Petexbatún y no en las demás es la existencia de una carretera de terracería que complementa la vía de transporte acuático.

Otro servicio existente en la subzona Sur con alta potencialidad de desarrollo es el turismo, (paisajes naturales y sitios arqueológicos de Aguateca, Dos Pilas y Tamarindo). Petexbatún es catalogada como la segunda área en importancia turística después de Tikal.

Los humedales ubicados a lo largo del río La Pasión (subzona este y oeste) están compuestos por un mosaico de microcuencas, afectadas predominantemente por el río La Pasión; en consecuencia, es muy

difícil delimitar el impacto de cada microcuenca a la hora de evaluar las funciones del humedal mismo.

El humedal de Petexbatún por el contrario, es una subcuenca lo cual le confiere un grado de independencia relativa con respecto a las demás subcuencas. Es así como la dotación de agua, descarga de aguas subterráneas, soporte externo, retención de sedimentos y transporte acuático pueden ser evaluadas con menor interferencia del río La Pasión.

Debido a todo lo puntualizado anteriormente se definió que la subcuenca de Petexbatún o Subzona Sur se adaptaba mejor a los objetivos del estudio y de ahora en adelante se le denominará la cuenca del Petexbatún.

4.2.2.1.4. Delimitación del Humedal y zona de Influencia

Luego de haber definido la cuenca de Petexbatún se buscó desagregar aún más el área, clasificándola en lo que se denomina **Zona de Humedal y Zona de Influencia**. El criterio inicial de delimitación fue que la "línea divisoria de aguas superficiales define el área de drenaje denominada cuenca", por lo que se asume que el drenaje de las aguas subterráneas tiene una distribución espacial semejante a la de las aguas superficiales.

Para ello se utilizaron mapas cartográficos escala 1:50.000 construidos en base a fotografías aéreas de febrero de 1985. La zona de Humedal incluye el río Petexbatún, la laguna del mismo nombre y aquellas zonas que bordean los cuerpos de agua y permanecen total o parcialmente inundadas durante todo el año.

Dentro de la **Zona de Humedal** se diferencian: 1) los cuerpos de agua sin vegetación, comúnmente llamados espejos de agua (4 m. de profundidad media y 8 m. de profundidad máxima) y 2) los pantanos parcial o totalmente inundados, pero con vegetación emergente.

Esta distinción operativa facilita el proceso de calificación de bienes, funciones y atributos y sirve para entender mejor los comportamientos e impactos.

La **Zona de Influencia** incluye aquellas extensiones de tierra no inundables, debido a diversas variables como por ejemplo, mayores alturas con respecto al humedal, características texturales y estructurales de los suelos, alto nivel de evapotranspiración, etc. Dichas características estructurales no permiten un estado prolongado de saturación, lo cual se refleja en la existencia de una vegetación no hidrófila. La zona de influencia cumple un rol importante en el mantenimiento de actividades productivas, funciones y servicios presentes en la zona inundable.

La definición del humedal y de su zona de influencia tiene significancia a la hora de analizar los procesos de acción-impacto, ya que pueden tener doble dirección. El tipo de uso de la tierra en la zona que afecta a la zona de influencia puede provocar impactos positivos o negativos en la zona de humedal y viceversa.

Un ejemplo de ello sería la deforestación desmedida en la zona de influencia que puede incrementar el proceso erosivo de los suelos y con ello el arrastre de sedimentos que se depositan en el humedal, provocando a la larga el azolvamiento de los ríos y alteración de la calidad del agua.

A su vez un incremento de sustancias tóxicas depositadas en los cuerpos de agua (zona de humedal) producto de un desmedido uso de motores fuera de borda o de plaguicidas puede provocar la alteración de las redes tróficas. Dicha alteración podría parcialmente disminuir y/o eliminar la población de algunas especies que sirven de alimento y soporte al ciclo de vida de otras

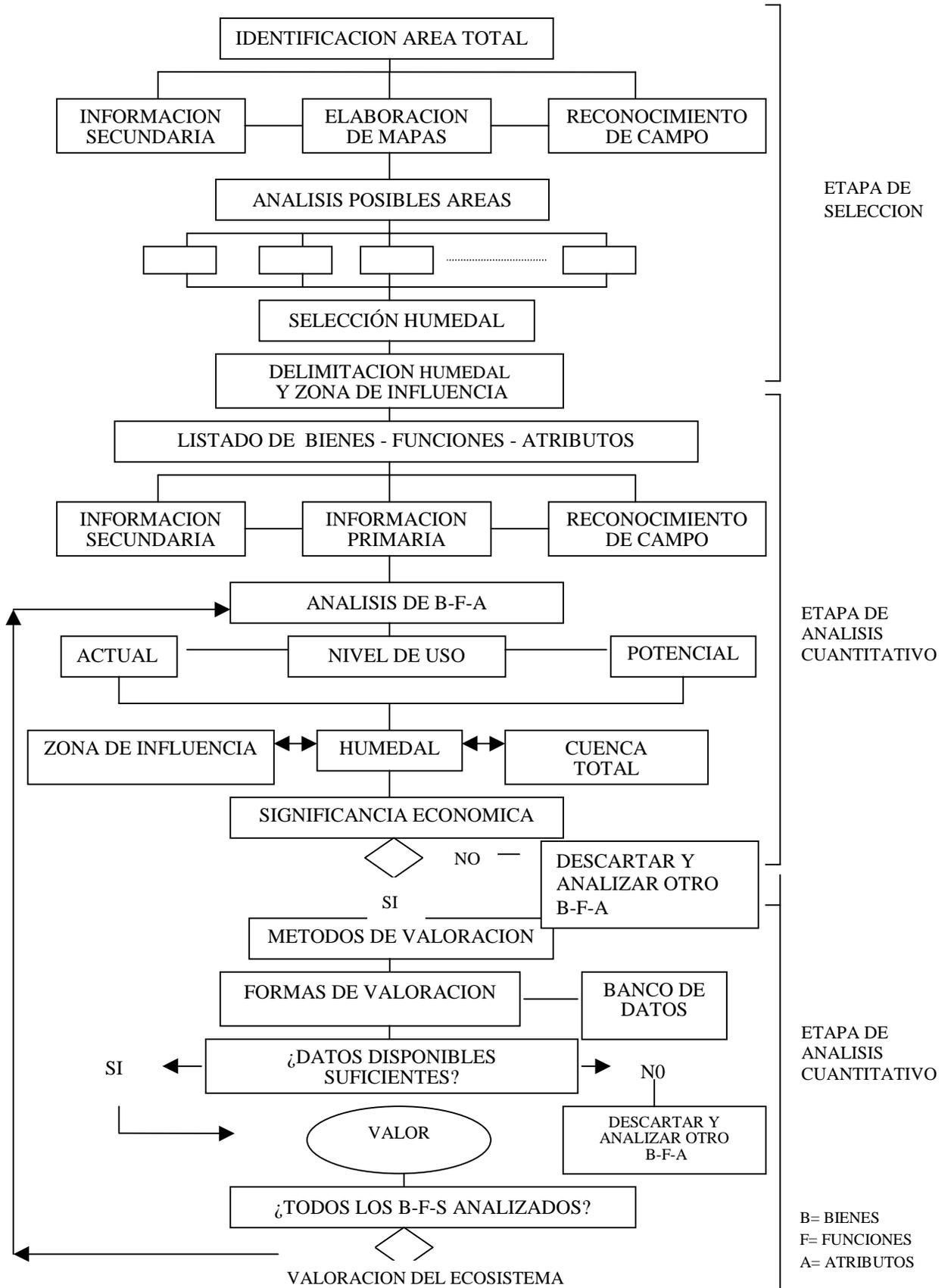
comercializables, tanto dentro de la laguna Petexbatún como a lo largo del río La Pasión (función de apoyo a economías externas).

4.2.2.2. Análisis cualitativo

4.2.2.2.1. Listado de Componentes, Funciones y Atributos

El listado fue elaborado con base en el documento de orientación metodológica (Barbier et al. 1991) analizando la existencia potencial de cada uno de los componentes, funciones y atributos de acuerdo con el tipo de humedal que se está estudiando:

DIAGRAMA 1- METODOLOGIA DE VALORACION ECONOMICA HUMEDAL PETEXBATUN



4.2.2.2. Análisis de Bienes, Funciones y Atributos (B-F-A)

En términos cualitativos el análisis incluye tres aspectos: la **existencia real** de cada B-F-A, su **nivel de uso** y su **significancia económica**. Para ello el esfuerzo multidisciplinario fue indispensable.

4.2.2.3. Existencia y Nivel de Uso

Se pretende responder a dos preguntas: ¿este componente, función o atributo existe? y ¿cuál es el nivel de uso o grado de generalización, actual y potencial?

En efecto, una función que actualmente existe, puede no tener peso cualitativo; pero jugar en el futuro un papel primordial para el ecosistema en su conjunto. Así, todas las variables identificadas en el Cuadro 2 fueron analizadas en función de su existencia y nivel de uso.

Si la variable NO existe actualmente se deberá analizar su existencia a futuro en función de una proyección de uso del ecosistema. Si se considera que tampoco va a existir en el futuro, se podrá descartar para la evaluación y seguir con otro componente, función o atributo.

Cuadro 2. Componentes, Funciones y Atributos de un Humedal

COMPONENTES (Bienes)	FUNCIONES (Servicios)	ATRIBUTOS
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Recursos forestales: leña, madera para construcción ❖ Recursos de vida silvestre (caza) ❖ Pesca ❖ Recursos forrajeros ❖ Agricultura ❖ Ganadería ❖ Suministro de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Recarga de acuíferos ❖ Descarga de acuíferos ❖ Estabilización orillas ríos ❖ Retención de sedimentos ❖ Retención de tóxicos ❖ Retención de nutrientes ❖ Control de inundaciones ❖ Apoyo a economías externas ❖ Transporte acuático ❖ Turismo ❖ Calidad de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Patrimonio cultural ❖ Biodiversidad

Si la variable existiera a futuro se deberá estudiar su nivel de uso potencial cualitativo. Si la variable existe actualmente, se analiza su nivel de uso actual y potencial.

Para comprender la importancia de una determinada variable, el análisis se debe basar en: criterios de impacto e interrelación, desde y hacia el humedal, considerando aspectos de: temporalidad (actual o potencial) y el marco de referencia de la zona de humedal.

4.2.2.2.4. Significancia Económica

Se trata de la importancia que cada variable tiene en la economía de la zona. Esta estimación se basa en el conocimiento del área, análisis de los datos recabados y se mide de acuerdo con una valoración directa e indirecta. Si el componente, función o atributo no tiene una gran significancia económica se descarta de la posterior cuantificación y valoración del ecosistema.

En esta etapa, se obtiene, un listado más restringido de aquellas variables posibles de ser valoradas. En forma subsiguiente, se podrá pasar a la última fase del proceso de valorización, denominada **etapa de análisis cuantitativo**.

4.2.3. Análisis cuantitativo

En esta etapa se definen; los métodos de valoración, de aquellas variables que pasaron por el tamiz de discusión del proceso anterior y la forma de valoración de las mismas, dependiendo principalmente de los datos disponibles.

4.2.3.1. Métodos de valoración

Como guía se utilizará el Cuadro 3, donde se clasifican las variables según: valores de uso: directo, indirecto y valores de opción y de existencia. Los métodos más comúnmente utilizados son los siguientes:

Cuadro 3. Métodos de Valoración Económica según Valores de Uso y No Uso

VALORES DE USO			VALOR DE NO USO
Uso Directo	Uso Indirecto:	Opción	Existencia
Precios de mercado	Gastos preventivos	MVC	MVC
Precios sombra	Costo de daños evitados		
Precios Hedónicos	Costos de sustitución		
Sustitutos de mercado	Cambios en productividad		
Costos indirectos	Costo de Reemplazo		
Sustitutos bienes indirectos	MVC		
Costo de viaje			
Gastos evitados			
Costo de Oportunidad			
Costo de Reasentamiento			

4.2.3.2. Formas de valoración

Definir la **FORMA** de valoración es: considerar opciones alternativas de dar valor a un bien, función o servicio que se ajuste al **METODO** seleccionado y que sea coherente con la realidad de la zona.

Por ejemplo, en el caso de valorar la función: "estabilización de las orillas de los ríos", se define; que el método de "Costo de Sustitución" es el que permite obtener un mejor acercamiento al valor real. La elección de la forma, dependerá, de todas las opciones que represente mejor la "sustitución" de esa función (reforestación de las orillas, construcción de diques de contención, etc).

La elección de la forma de valoración, puede llevar a sobre y/o subvalorar la función identificada y por ende el ecosistema en su conjunto; la solución debe ser definida mediante discusiones en equipo técnico multidisciplinario. Teniendo en cuenta rangos de valores y la realidad de la zona, es posible obtener una estimación razonable del valor de un bien, función o atributo.

4.2.3.3. Unidad de medida

En este caso cada variable tiene un análisis diferente. En su método y forma de valoración encontramos que no hay homogeneidad en la unidades de medida, pero para fines operativos y de aproximación, se decidió, transformar todas en: U\$\$/ha/año.

El tipo de cambio utilizado para la conversión de la moneda local fue de 5 quetzales por dólar. Para el análisis económico, se afectaron los precios financieros o de mercado, por un FEC (factor de conversión estándar) de 0.96; que se aplica a todos aquellos rubros, excluyendo la mano de obra. El

FEC utilizado, se construye a partir de la relación entre importaciones y exportaciones del país y se conoce como precio sombra de la divisa. (Estadísticas, Banco Central de Guatemala)

Para la valoración económica de la mano de obra, se afectó; el precio de mercado del jornal, por el factor de conversión de 0.50; siendo éste, el costo de oportunidad de la mano de obra o su equivalente, la tasa de desempleo rural en dicha área (Estadísticas Banco Central de Guatemala).

4.2.3.4. Valoración del Ecosistema

La valoración parcial del ecosistema, corresponde a la sumatoria de los valores unitarios de todas las variables cuantificadas y multiplicado por la cantidad de hectáreas del humedal.

En el presente trabajo, sólo se podrá calcular el valor parcial del ecosistema para un año (1992); por lo que no se calculó el valor actual neto (VAN) del ecosistema, ni la tasa interna de retorno (TIR). Las razones para tomar esta decisión fueron las siguientes:

- a) No hay elementos suficientes para definir la productividad del ecosistema. Si bien, se analizó en forma cualitativa el potencial de cada variable; a nivel cuantitativo, no se puede precisar la productividad máxima ni su nivel óptimo de uso o potencial cosechable.
- b) No existe proyecto alternativo de uso.
- c) No hay datos que permitan hacer proyecciones a futuro.
- d) Los costos e ingresos de cada una de las variables no siempre pueden ser cuantificados.

V. RESULTADOS

Al aplicar la metodología se logró clasificar 14 variables, entre bienes, funciones y atributos. Las primeras seis fueron valoradas cualitativamente; sea por insuficiencia de datos o porque no tienen alta significancia económica para el valor total del humedal. Mientras que las ocho restantes, se estimaron cuantitativamente. Dado, que uno de los objetivos del presente estudio es de orden metodológico, se presenta en el Anexo información adicional de algunas variables.

5.1. VALOR DE BIENES Y FUNCIONES

5.1.1. Agricultura y ganadería en el humedal

Dentro de los límites del humedal, la actividad ganadera se desarrolla en la época seca, que dura de 4 a 5 meses. La superficie dedicada a esta actividad cubre una estrecha franja, alrededor de la Laguna de Petexbatún.

Asimismo, la actividad agrícola se desarrolla en la época seca con buena productividad dada la alta fertilidad de los suelos. El riesgo de pérdida de cosechas se debe fundamentalmente al adelantamiento de las lluvias y las áreas en cultivos dentro de esta zona son marginales.

Por la superficie que ocupan y el corto período durante el cual se desarrollan; ambas actividades - agrícola y ganadera- no son significativas económicamente.

5.1.2. Extracción de palo tinto

La gran mayoría de los finqueros utilizan las partes muertas del árbol denominado palo tinto *Haematoxylon campechianum*, como postes para cerca de potreros. Esta especie crece y se desarrolla en condiciones de alta humedad de la tierra y forma parte de la vegetación típica del humedal.

Es muy resistente a las condiciones climáticas prevalecientes en el área, teniendo una vida útil mínima de 20 años sin tratamiento de conservación. La extracción se realiza durante los 5 meses de la época seca y por encargo ya que no hay conformado un mercado regular del mismo.

No existen datos sobre: la cantidad de individuos muertos por hectárea, los niveles de extracción de la madera, la causa de la mortandad de los árboles, el ritmo de su reproducción, su productividad ni su distribución.

Según la opinión de personas del lugar, la extracción del palo tinto, se ha incrementado en los últimos años; producto del desarrollo de la actividad ganadera en la zona de influencia pero no se considera en la actualidad un recurso sobreexplotado.

Los datos de 7 muestras tomadas en zonas inundadas del departamento de El Petén, reportan un promedio de 1.223 metros cúbicos de madera de palo tinto por hectárea y alrededor de 5.77 árboles por ha. (Unepet-Segeplan)

Según estimaciones realizadas en campo, un poste comercial tiene 2 metros de largo por 10 cm de diámetro y equivale a 0.016 m³. Suponiendo un 20% de desperdicios, en el momento del corte, y

considerando que hay una relación directa entre el volúmen del árbol y el volúmen de un poste (supuesto fuerte); se podría decir que de una hectárea se obtienen 62 postes aproximadamente.

El costo aproximado de extracción de un poste es de 2 quetzales (\$0.40). El precio de venta en Sayaxché de cada poste es de 5 quetzales (\$1); obteniendo un ingreso neto de extracción de 3 quetzales por poste.

El "stock" natural total estimado fué de 285,448 postes en las 4,604 ha de humedal, teniendo un valor total de \$ 171.268.

5.1.3. Recarga de acuíferos

La función de recarga se presenta cuando el nivel freático del terreno adyacente es inferior al nivel del agua en el humedal, de modo que se produce un flujo subterráneo del humedal hacia el terreno adyacente.

La recarga hacia las zonas adyacentes durante los períodos más secos, podría contribuir al mantenimiento de las condiciones de humedad aptas para la producción agrícola y ganadera de la zona adyacente. Para que se realice esta función se requiere de zonas muy planas dada la limitada profundidad de la zona radicular de los cultivos de la zona.

Teniendo en cuenta la topografía ondulada hacia la depresión del humedal de Petexbatún se considera que no se produce la función de recarga.

El método de valoración sería indirecto, considerando los ingresos netos por ha/año de la actividad ganadera, en los terrenos de inundación; que se transforman en pastizales naturales en la época seca. Dichos valores serían aplicados a cuatro meses de producción.

Sin embargo, la superficie destinada a esta actividad es mínima y su valor económico actual no es significativo. Por esta razón no se incluyó en la valoración del ecosistema.

5.1.4. Retención de sedimentos y nutrientes

La capacidad o efectividad de retener sedimentos es obvia, dadas las grandes dimensiones de la laguna (5 km²). Ésta conduce sedimentos a velocidades mínimas; muy por debajo de las velocidades umbral de la mayoría de los sedimentos.

Los sistemas de captación y los humedales en general, tienen grandes tiempos de residencia, baja velocidad de la corriente y por tanto una fuerte tendencia a la sedimentación. Debido a ello la erosión de la zona, aún cuando no hay claras evidencias de su importancia, podría ser capturada por el humedal reduciendo sus efectos aguas abajo. Basterrechea (1991), estimó que el nivel de erosión en la zona es relativamente bajo, del orden de 5 ton./ha/año.

Adicionalmente, los sedimentos actualmente retenidos pueden ser un factor positivo para la productividad de la laguna.

Un método de cuantificación física podría establecerse por la cantidad de sedimentos capturados por la laguna, a través del uso de la ecuación universal de pérdida de suelos (EUPS). Otra alternativa para conocer las tasas de sedimentación y establecer el balance en la laguna es midiendo; el

balance de materia orgánica disuelta y en suspensión, evaluación de fósforo y nitrógeno, siendo éstas las principales limitantes de la productividad de sistemas lacustres.

En cuadro 4. y Anexos se presenta el análisis sobre el arrastre de sedimentos de la cuenca del río Petexbatún, utilizando la ecuación universal de pérdida de suelos (EUPS). Considerando la limitación de la información disponible y las limitaciones propias de la ecuación utilizada, debe tomarse la información provista como un orientación general.

La metodología utilizada en este trabajo se justifica por tres motivos principales:

- a) Ofrece una información regional orientativa de la pérdida de suelo para interpretar mejor su influencia sobre otros procesos ecológicos asociados como son: la retención de nutrientes, la sedimentación, transporte acuático y apoyo a economías externas. Los valores obtenidos tienen significado global y pueden diferir marcadamente con procesos puntuales presentes en algunos sectores de la cuenca.
- b) La geomorfología, climatología y cobertura vegetal de la cuenca son razonablemente uniformes.
- c) La información disponible es muy limitada, lo cual hace difícil y probablemente poco útil un procedimiento más detallado.

Para la aplicación de la fórmula se dividió la cuenca de Petexbatún en cinco subcuencas teniendo en cuenta: altura máxima, mínima, longitud y pendiente (anexo 1). La tasa de sedimentos es la fracción de la erosión bruta que se descarga a la salida de la cuenca. El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos en base a mediciones, estableció una relación entre la erosión bruta y la tasa de sedimentos en la que se concluye que la tasa de descarga de sedimentos varía inversamente proporcional al área, elevada a un exponente de 0.2. (Kirkby, 1984).

Las subcuencas B,C y D, con un área acumulada de 21,598 ha. desaguan a través de los riachuelos Aguateca, Tamarindo y el Faisán, al Lago Petexbatún. La subcuenca A, con un área de 18,902 ha. drena a través de los riachuelos Charrío y el Puerquito; y E, con un área de 4,374 ha. desemboca en el río Petexbatún. La cantidad de sedimentos depositados en el río y el lago Petexbatún por año según subcuencas se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Sedimentos depositados en el río y laguna Petexbatún (EUPS 1992)

CUENCA	AREA (ha)	TASA SALIDA SEDIM. (%)	AREA BOSQUE (HA)	AREA CULT. (HA)	SEDIM BOSQUE (m ³ /año)	SEDIM CULT. (m ³ /año)	SEDIM TOTAL (m ³ /año)
A	18902	12	15500	3402	781	4287	5068
B	5548	15	4549	999	287	1573	1859
C	9107	13	7468	1369	408	2238	2645
D	6943	14	5693	1250	335	1837	2172
E	4374	16	3587	787	241	1323	1564
TOTAL	44874		36797	8077	2051	11257	13309

Los sedimentos de las subcuencas B,C y D que suman un total de 6,676 m³/año, al ingresar al lago se depositan en su fondo; debido a su baja velocidad estos sedimentos prácticamente son inamovibles

La subcuenca A descarga 5,068 m³/año de sedimentos directamente al río Petexbatún, el cual normalmente los evacúa al río La Pasión. En condiciones de bajos caudales del río Petexbatún, la porción más pesada de estos sedimentos pueden precipitarse en el fondo del lecho. Sin embargo, durante los períodos de caudales medios y altos los sedimentos serán definitivamente desalojados hacia el río La Pasión.

La subcuenca D con una descarga sólida de 1,564 m³/año, tiene un sistema de drenaje disperso y descarga sus aguas en el río Petexbatún, parcialmente en forma directa y parcialmente a través de un sector pantanoso denominado La Reforma. Parte de estos sedimentos son arrastrados hacia el río de La Pasión.

La zona pantanosa La Reforma; conectada directamente al humedal del Lago Petexbatún retiene una significativa cantidad de esos sedimentos. Dada la ubicación de los pantanos de La Reforma, se puede estimar que aproximadamente la mitad de los sedimentos de la subcuenca D son retenidos en este humedal.

En conclusión, un total de 7,458 m³/año son retenidos en los humedales y 5,850 m³/año son arrastrados hacia el río La Pasión.

Valores reportados en la literatura (Dunne, 1978) indican que la pérdida de suelo para bosques con algún grado de intervención y pastos en países en vías de desarrollo son del orden de los valores obtenidos en este informe. Smith y Greenland (1960) presentan valores de 0.7 m³/ha/año, en bosques secundarios de Costa de Marfil. A su vez, en la India, las Naciones Unidas (1951) reportan valores del orden de 3.5 m³/ha/año para pastos. Faustino J. (comunicación personal) considera asimismo que los datos obtenidos son aceptables, como dato preliminar. En consecuencia se

considera que las estimaciones ofrecidas constituyen un indicador razonable de la situación de pérdida de suelos de la cuenca de Petexbatún.

El proceso de sedimentación en las condiciones actuales del Lago Petexbatún, es ecológicamente normal y poco severo aunque ya se puede detectar un deterioro en comparación con las condiciones prístinas de la cuenca -con valores de pérdida de suelo del orden de $0.1 \text{ m}^3/\text{ha/año}$, o sea, unas 20 veces menor a la actual-.

Si bien el EUPS utiliza un factor de corrección por tipos de uso, no existen datos suficientes como para asignar cambios de productividad o rendimientos en los diferentes usos. Por otro lado, la aplicación del método de valoración indirecta tiene el problema de la falta de información, sobre cantidad y calidad de nutrientes para los diferentes tipos de suelo existente en la cuenca. La aproximación económica de dichas opciones podrían dar resultados muy estimados dado el bajo nivel de precisión. Por estas razones, se considera la importancia de dicha función en términos cualitativos, debiendo realizarse investigaciones a futuro de variables asociadas a productividad, composición y tipo de suelos.

A su vez, la cantidad de sedimentos depositados en la laguna está relacionada con el apoyo a las pesquerías río abajo; sería necesario, establecer experimentos de análisis energético del ecosistema, en sus diferentes niveles; productores, consumidores primarios y secundarios. Al establecer los nutrientes acumulados por el humedal, se podría estimar su contribución en el incremento de la productividad y por tanto en cada uno de los componentes de biomasa. Por restricciones de tiempo se descartó dicha posibilidad.

5.1.5. Control de inundaciones

La laguna de Petexbatún, -espejo de agua- cubre aproximadamente 5km^2 y por cada centímetro que sube el nivel de la laguna se acumulan 50,000 metros cúbicos de agua.

Basterrechea (1991), midió la variación del nivel de agua en la laguna entre el 19 de julio y el 25 de agosto de 1990 detectando, una variación de 2.10 metros. En esos días se acumuló un volumen de $10,5 \times 10^6$ metros cúbicos. En noviembre, el volumen alcanzado con respecto al 19 de julio era de $15,05 \times 10^6$ metros cúbicos. Estos valores, dan una ligera estimación dado que las frecuencias en las mediciones fueron muy dispersas y sólo se consideraron los cuatro meses de la época de lluvias.

Conforme se incrementa el nivel de precipitaciones aumentan las áreas inundadas dado que la zona presenta extensiones relativamente planas.

El análisis de inundaciones se realiza para el evento más crítico; cada 5 años (efectos agrícolas) y períodos mayores (efectos urbanos).

El estudio se puede visualizar en 2 contextos: al interior de la cuenca de Petexbatún y desde la cuenca del Petexbatún hacia la cuenca total del río La Pasión.

1) Al interior de la cuenca de Petexbatún:

Las características de esta zona son las siguientes:

a) Aspectos urbanos:

- Zona poco poblada
- La ciudad de Sayaxché está ubicada en una cota relativamente alta y el riesgo de grandes pérdidas por inundación es bajo.

b) Aspectos agrícolas:

- Existen aproximadamente 244 ha. de cultivos y pastos en zonas de posible inundación. La mayoría del área está ocupada por pastos. Estos últimos son menos sensibles a las inundaciones que los cultivos y en su gran mayoría son aprovechadas en la época seca, cuando los niveles freáticos son más bajos.

2) Influencia de Petexbatún en las planicies de inundación del Río La Pasión.

Si se considera la cuenca del río La Pasión (área de 10,000 km²) y la cuenca de Petexbatún de 441 km² esta última representa el 4% del área total. Se puede predecir que el aporte de caudal del Petexbatún es relativamente poco significativo.

Por otra parte, los humedales del Petexbatún cubren un 32 % del área de humedales del río La Pasión y seguramente una proporción mayor si se considera el volumen de almacenamiento. En consecuencia, la capacidad de amortiguamiento por parte de la depresión del Petexbatún de las avenidas extremas del río La Pasión es de gran significado.

De no existir el humedal de Petexbatún las zonas de inundación de las márgenes del río La Pasión crecerían al menos en un 32 % y posiblemente superen el 40%. Esto significa que la productividad de esas zonas afectadas se vería reducida drásticamente.

Sin embargo, las zonas planas son poco explotadas; debido a la disponibilidad de terrenos con mejores condiciones de drenaje y la relativa baja presión de la población. De modo que la oportunidad de ejecución de la función de control de inundaciones es limitada. Asimismo se ha verificado que la cuenca del río La Pasión, sirve a su vez como zona de amortiguamiento de las avenidas extremas del río Salinas (frontera con México). Desde este punto de vista, el humedal del Petexbatún también contribuye a la protección de las tierras bajas del río Usumacinta.

Cuantitativamente, esta función se puede calcular considerando el valor neto de la producción generada en el margen derecho del río La Pasión y la infraestructura que se inundarían ante la inexistencia del humedal de Petexbatún, pero no fue posible calcularlo por falta de información y tiempo.

5.1.6. Pesca comercial

La actividad pesca comercial se realiza a lo largo del Río La Pasión, en la Laguna Petexbatún y en el río del mismo nombre. Esta, requiere de permisos que otorga la Municipalidad de Sayaxché donde un total de 25 autorizaciones fueron extendidas para el período 1991-1992.

Las técnicas que utilizan los moradores del área son muy similares, con dos modalidades de producción: la pesca de fresco y la pesca de salado, la primera comienza a partir de setiembre hasta mediados de abril y la de salado, se extiende de enero hasta fines de abril.

En el caso de fresco, los grupos de pescadores conformados por 2 ó 3 individuos utilizan: dos días para la pesca y un día para la venta. En el segundo caso, la pesca y preparación del producto final se organiza en campamentos, que duran un mes aproximadamente. Estos campamentos se desplazan a lo largo de la ribera del río La Pasión y lagunas circundantes.

El pescado fresco, es vendido directamente por los pescadores en los mercados de Sayaxché, Santa Elena, San Benito y Flores según calidad y especie. El pescado salado, es comercializado por intermediarios de Sayaxché y mayoristas de ciudad Guatemala.

Los datos de captura, para las dos modalidades de pesca fueron obtenidos considerando: el inicio, la mitad y el final de la temporada legalmente permitida, cuantificando los volúmenes extraídos de acuerdo con la calidad del pescado .

Al momento de la encuesta se identificaron 15 campamentos de pescadores de salado y 10 campamentos en actividad durante 8 meses en el caso de fresco.

La cuantificación de la actividad pesca, podría llevar a un doble conteo con la función soporte a actividades externas (ver 5.2.5); la actividad pesquera se realiza en las zonas de espejos de agua, mientras que la función soporte a actividades externas se realiza en la zona de pantanos.

De las 17.600 ha. de la cuenca del río La Pasión, el 12.24% corresponde a zonas de espejo (2.154 ha.) y el 46 % de éste es área de espejos de la Laguna Petexbatún.

Para cuantificar, la proporción de la pesca comercial atribuible a la cuenca de Petexbatún se consideraron los siguientes aspectos:

- 1) Se tomaron los 2 campamentos de pescadores, ubicados en los lugares más alejados entre sí a lo largo del río La Pasión y se calcularon las hectáreas de espejo de agua correspondientes entre esos dos puntos (1,164 ha.)
- 2) Se cuantificó la superficie en espejo de agua de la cuenca del Petexbatún (990 ha).
- 3) El área total atribuible a la actividad pesquera en las tres zonas estudiadas es de 2,154 ha. que resulta de la suma de los dos puntos anteriores. (cuadro 5)
- 4) Los ingresos netos de la actividad pesca medido en ha/año se obtienen como una proporción del ingreso neto generado por el área de espejos de Petexbatún, con respecto al área total de espejos de la cuenca.

El área de espejos de la laguna Petexbatún es de 991 ha; que corresponde al 46% de 12,24% de 17.600 ha. Para el cálculo del ingreso neto de la actividad pesca se opera en forma similar, siendo U\$S 97,683 el ingreso neto total anual y U\$S 5.500 para el área de espejos de Petexbatún (Cuadro 5 y 6).

No hay información a priori que nos permita afirmar, que el uso está sobrepasando el límite natural aceptable de reproducción de las especies.

5.1.7. Suministro de Agua

Las comunidades cercanas al humedal utilizan el agua tanto para consumo directo como para la cocción de sus alimentos.

La dotación de agua potable en áreas rurales varía de 80 a 150 litros/hab/día, dependiendo de las características climáticas y socioeconómicas de las comunidades en cuestión (Stottman, 1992). En el caso del Petén existen temperaturas muy elevadas que implica un uso intenso del agua. Para fines de valoración se considerará como valor mínimo que cada habitante consume aproximadamente 80 litros de agua por día.

Para valorar la función suministro de agua se consideró el costo de sustitución de una opción alternativa, ya sea la construcción de pozos y/o la de aljibes para la recolección de agua de lluvia.

Se seleccionó la opción de aljibes como la mejor porque la calidad del agua es superior a la de pozos, debido a que éstos últimos se contaminan rápidamente por la filtración de contaminantes de la superficie a las capas subterráneas.⁴

El costo de construcción de un aljibe utilizado por 6 familias para un consumo de 5 galones día/familias es de 5.000 quetzales y se estima una vida útil de 10 años (Proyecto Olafo, 1991).

La cantidad de integrantes promedio por familia es de seis personas y la población que vive cercana al río y laguna es alrededor de 1,050 personas, o sea 175 familias. Para poder abastecer de agua a toda esta gente sería necesario la construcción de 29 aljibes a razón de 1 aljibe cada 6 familias. El costo total de construcción de 29 aljibes asciende a 14,500 quetzales.

Si cada familia consume 5 galones diarios o sea 19 litros significa que tiene un consumo per cápita diario de 3.2 litros. El aljibe solo cubre el 4 % de las necesidades reales teóricas (3.2 lts/80 lts). El costo de sustitución de la función suministro de agua ascendería a 362.500 quetzales que surge de dividir 14,500 por 0.04; lo que equivale en dólares a \$ 72.500.

5.1.8. Descarga de acuíferos

La función de descarga se produce cuando el nivel freático del terreno adyacente es superior al nivel del agua del humedal, de modo que se produce un flujo subterráneo del terreno adyacente hacia el humedal.

El beneficio de esta función es drenar el exceso de agua del suelo manteniendo el equilibrio de aire y agua de modo que los macroporos sean una fuente adecuada de oxígeno de las raíces. La zona es

⁴ - Dr. Hernán Solís, Hidrólogo del Programa de Manejo Integrado de Recursos Naturales, Proyecto CATIE-RENARM.

relativamente plana y en ausencia de la depresión del humedal posiblemente no podría desarrollarse la actividad ganadera y agrícola en la zona de influencia, dado que los niveles freáticos se mantendrían muy altos. La topografía ondulada y la información suministrada por perforadores de pozos de la zona acerca de la profundidad del nivel freático, definitivamente superior al nivel de agua del humedal hacen concluir que la función de descarga es permanente.

Los suelos calcáreos denominados kársticos, tienen con frecuencia una conductividad hidráulica relativamente alta debido a las fisuras y cavidades producidas por la disolución de la roca. La conductividad hidráulica alta, hace de acuerdo a la ley de Darcy que el gradiente energético sea comparativamente bajo. En consecuencia, debido a las pendientes que existen hacia el oeste del humedal, el nivel freático de la zona adyacente del humedal se alejaría más rápidamente de la zona radicular que en el caso de suelos de menor conductividad hidráulica.

Para estimar el área de influencia de la función de descarga se analizó la margen derecha del río La Pasión, en la que la capacidad de drenaje se ve limitada por las bajas pendientes. Se supone que la zona de Petexbatún, en ausencia de la depresión del humedal tendría condiciones semejantes a las de la margen derecha del Río La Pasión.

En este márgen, los humedales alcanzan una cota máxima de 140 msnm y teniendo en cuenta las condiciones de conductividad hidráulica alta se restringe la zona de influencia de la descarga hasta la cota de 140 msnm. En otras palabras en ausencia de la función de descarga del humedal de Petexbatún, las zonas de alta saturación -inadecuadas para la producción agropecuaria permanente-, alcanzarían dichas cotas.

El beneficio de esta función se estima indirectamente, valorando la producción agropecuaria generada durante todo el año desde el humedal hasta la cota de 140 msnm. Las tierras agrícolas que se afectarían en ausencia del humedal son las ubicadas en la zona de influencia al oeste de la laguna Petexbatún.

Para poder evaluar cuantitativamente la función descarga de acuíferos se calculó cuantas hectáreas de agricultura y ganadería son utilizadas entre el humedal y la cota de 140 msnm. Las áreas afectadas alcanzarían 1,294 ha. de las cuales 571 ha. corresponde a agricultura y 723 ha. a ganadería.

a) Agricultura - Los productos agrícolas se clasificaron en bienes comerciables (maíz, arroz y pepitoria) y no comerciables (frijol) según sean para la exportación o consumo interno. El precio de venta de los bienes comerciables son los precios en frontera en ciudad Benemérito, México al tipo de cambio de 5 quetzales por dólar. Para los bienes no comercializables se tomaron los precios en Sayaxché, aplicados por el factor estándar de conversión (FEC) de 0.96 (Banco Central de Guatemala).

Dado que no se aplican fertilizantes o pesticidas el costo económico de producción se compone básicamente de mano de obra. El costo de oportunidad de la mano de obra fue valorada con base en un desempleo del 50% aplicado al precio del jornal rural del área (Banco Central de Guatemala).

El costo de transporte hasta Sayaxché se afectó por el factor estándar de conversión (FEC) de 0.96.

El Ingreso neto por ha. surge de la diferencia de los ing. brutos menos los costos por ha (anexo 2). El ingreso neto promedio por hectárea de la actividad agrícola es de U\$S 106.23. En total se obtiene un beneficio anual de U\$S 60,657 para las 571 ha consideradas.

b) Ganadería - El sistema de producción ganadero que predomina es extensivo. Las pocas labores que realizan los agricultores son limpieza manual; a razón de dos por año y la aplicación de medidas sanitarias al ganado; vacunas y desparasitantes. Son muy pocos los finqueros que utilizan fertilizantes u otros productos químicos.

La productividad es baja debido a la falta de complementos nutricionales, pobre calidad de las pasturas y rotación inadecuada de potreros. La asistencia técnica es deficiente; no hay técnicos radicados en la zona que orienten y supervisen la producción. Las razas más utilizadas en la zona y que se han adaptado mejor a las condiciones del medio son la Indo-brazil, Gyr y Brahman.

Se calculó el promedio de ingresos y costos de la actividad por ha/año para toda la cuenca del Petexbatún mediante encuestas a los finqueros, el precio económico o social es el precio de venta a nivel de finca, al tipo de cambio de 5 quetzales por dólar y afectado por el factor de ponderación (0.96).

Se estimó la carga animal según índices de unidad animal (UA) definidos de acuerdo con las diferentes categorías de ganado. Los costos de producción anual en la zona de influencia del área de estudio incluyen: insumos U\$S 92,000, mano de obra familiar utilizada para las chapias U\$S 41,680 y salarios pagados en concepto de jornales U\$S 43,200. El costo total de la actividad ganadera es de U\$S 176,886 y el costo por ha asciende a U\$S 34.

EL precio aplicado a una ha de ganadería fue obtenido como un valor promedio calculado con base en la carga animal por ha. para cada tipo de animal y sus precios de venta respectivos. El precio de venta promedio por unidad animal es de U\$S 300 que multiplicado por 1.73 como carga animal por hectárea se obtiene el ingreso bruto de la actividad ganadera, que asciende a U\$S 519 por ha.

La ganadería aporta un valor de U\$S 485/ha/año que representan U\$S 350,655 de beneficios anuales para las 723 ha. de tierras ganaderas afectadas por la función descarga de acuíferos. En consecuencia la función de descarga genera un beneficio anual que asciende a U\$S 411,312 discriminado en U\$S 350,655 de ganadería y U\$S 60,657 de agricultura.

5.1.9. Estabilización de las orillas del río

La estabilización de las orillas depende de dos aspectos: 1) la cobertura vegetal de la ribera del río; que minimiza los riesgos de inundaciones periódicas y retiene el suelo. 2) el efecto regulador de la velocidad de vaciado de agua de la laguna Petexbatún; rol que cumplen las zonas inundación que bordean los espejos de agua, por lo que se evitan fuertes corrientes y no se provocan proceso de lavado de las orillas.

Actualmente, la permanencia de una vegetación densa permite afirmar que no existe una degradación aparente de las orillas. Sin embargo esta cobertura vegetal y la función que cumple podría en un futuro ser afectada por 3 razones: i) deforestación de las riberas de la zona de influencia producto de una creciente actividad ganadera; ii) reducción del tiempo de residencia del agua, debido a la deforestación de la cuenca o destrucción de las zonas de inundación de la laguna y iii)

incremento del transporte acuático con motores fuera de borda, provocando un oleaje, que poco a poco puede erosionar las orillas del río.

La reducción del tiempo de residencia implica rápidas crecidas y vaciadas de la cuenca de la laguna, acelerando la velocidad de la corriente en el río, aumentando el poder erosivo y conduciendo a la pérdida progresiva de las orillas.

Esta función, se valoró por el método de costos evitados en obras de control de erosión. Se consideró el costo promedio de reforestación con especies forestales. Se tomó una franja protectora de 25 metros de cada orilla a lo largo del río Petexbatún, desde Sayaxché hasta el comienzo de la laguna, casi la desembocadura del río Faisán. La longitud de la zona así definida es de 24.50 km y el área total de 122.5 hectáreas.

El costo promedio de reforestación es de aproximadamente U\$S 500 por ha (Luis Ugalde, com. pers), donde el valor total de los costos evitados para el mantenimiento de la vegetación en la zona considerada ascendería a U\$S 61,250.

5.1.10. Apoyo a economías externas: Pesquería

Los humedales tienen una reconocida virtud como lugar de hábitat y reproducción de peces. El apoyo a economías externas, se refiere al aporte que realiza el humedal al río La Pasión y laguna Petexbatún en cuanto a peces que son aprovechados en forma comercial. Esta propiedad del humedal significa que actúa como criadero de una población potencial de peces.

Según lo observado el humedal de Petexbatún tiene gran potencial de producción en materia orgánica (plantas y animales) transportada aguas abajo. Se han identificado varias características que justifican la existencia y la significancia de esta función:

- a. Existen condiciones eutróficas
- b. La laguna tiene relativa poca profundidad (entre 4 y 8 metros). La concentración de oxígeno es óptima para lograr condiciones eutróficas - Basterrechea reporta: Epilimnio 6.4 a 9.4 mg, O²/litro y de Hipolimnio de 0 a 4 mg. O²/litro.
- c. La cuenca es relativamente grande
- d. Existe una combinación de zonas de espejos y pantanos
- e. Existen áreas de vegetación ribereña y sumergida
- f. No hay focos considerables de contaminación
- g. Es poca la actividad agrícola en las riberas
- h. Existe un drenaje permanente del humedal al río Petexbatún.
- i. Existen importantes afluentes

Hay evidencias de un potencial pesquero, tanto en el humedal como aguas abajo.

La conjunción de estas características, fundamentalmente las 4 primeras hacen pensar que la productividad del humedal Petexbatún es alta.

Según Colinveaux, sólo el epilimnio puede recibir oxígeno por infusión directa de la atmósfera, además el epilimnio recibe más del oxígeno disponible dentro del lago, debido a la alta luminosidad de la superficie del agua. Cuando el lago es bien transparente la luz penetra más profundamente y la fotosíntesis es significativa en el hipolimnio, en otros lagos incluyendo los fértiles la fotosíntesis está restringida para el hipolimnio.

Debido a la necesidad metabólica de la vida, en el hipolimnio se presenta una demanda de oxígeno continua; aunque es más importante la respiración de los descomponedores. En efecto, toda la materia orgánica de la región superficial más productiva, cae al hipolimnio donde está el alimento para los mismos. Si el lago es tan fértil, que la cantidad de materia muerta en descomposición es tan grande como la demanda biológica de oxígeno (DBO), puede exceder las reservas del mismo y por tanto el hipolimnio llegar a ser completamente anóxico.

Parece definitivo que la laguna Petexbatún no es oligotrófica.

No existen datos sobre productividad nutricional y contribución al ciclo de vida de peces de interés comercial o aquellas especies que permiten mantener la cadena trófica. Por ello se valora la función en forma indirecta a partir de los rendimientos económicos obtenidos en la actividad pesquera al momento de la investigación, asignados a las ha. de pantanos del humedal y bajo el supuesto que la productividad es similar en todas las zonas.

Se cuantificó la superficie de pantanos ubicados en la zona adyacente a lo largo del río La Pasión y de la zona de la cuenca del Petexbatún (cuadro 9). Asimismo, se calculó la proporción de pantanos que representa la zona de estudio con respecto al total de pantanos existentes en la cuenca del río La Pasión.

Se consideró el valor económico de la función apoyo a economías externas como el ingreso neto generado por la actividad pesquera aplicado a las hectáreas de la zona de pantanos de Petexbatún. El ingreso neto/ha. de la actividad pesca para las 17.600 ha de espejos de agua asciende a \$5.55/ha. El beneficio de la función apoyo a economías externas tiene un valor de U\$S 25,322 obtenido por el producto de U\$S 5.5/ha por 4.604 ha. de pantanos asignados al humedal.

5.1.11. Transporte acuático

Pese a que la mayoría de la población está concentrada en la cabecera de Sayaxché, existe una población dispersa alrededor de la laguna y del río. El transporte por agua es el medio de comunicación y comercialización más usado en toda el área, incluyendo la zona de Petexbatún.

Para el transporte de personas, existen dos lanchas comerciales que realizan el recorrido desde la laguna Petexbatún hacia Sayaxché, también los pobladores utilizan botes o cayucos a remo para la pesca, el acarreo de leña, la cacería etc. Todo el producto agrícola y ganadero es transportado en embarcaciones hacia Sayaxché.

Es importante señalar que el transporte por el humedal es además utilizado por los turistas que visitan los distintos sitios arqueológicos recorriendo las zonas de pantanos. La gran diversidad de especies que se encuentran en el humedal y sus alrededores hacen de la zona un lugar promisorio para el desarrollo del ecoturismo.

Para valorar el servicio de transporte se consideró el costo evitado de construcción de un camino de terracería que supliera dicho uso en el caso de no existir el humedal.

El perímetro de dicha carretera estaría determinado por la distancia que hay entre Sayaxché y la laguna Petexbatún hasta el sitio arqueológico Aguateca, siguiendo el cauce del río Petexbatún (31.39 km).

El costo de construcción de un camino de terracería rural que serviría como sustituto al servicio transporte acuático ascendería a \$ 1,255.600 (Ministerio de Obras Públicas de Guatemala). Se va a considerar cinco años de vida útil sin darle mantenimiento.

En función de los supuestos realizados, el valor del servicio transporte acuático para el año 1992 asciende a U\$S 251,120.

5.1.12. Turismo

Se han identificado dos tipos de turismo en el área dependiendo de si la actividad es contratada o no. En el primer caso los ingresos son captados por las agencias de viaje situadas en ciudad Guatemala y/o Flores. En el segundo caso, los turistas se desplazan por sus propios medios a la zona y utilizan los servicios del hotel ubicado en las orillas del Río Petexbatún y o de uno de los dos hoteles situados cerca de la Laguna de Petexbatún. En todos los casos, en promedio los turistas permanecen dos días en la zona.

En la actualidad se estima que Sayaxché recibe unos 5,500 turistas por año (Unepet-Segeplan, 1992). La mayor atracción lo constituyen los sitios arqueológicos de Aguateca, Dos Pilas (ambas en la zona de estudio) y Ceibal (sobre el Río La Pasión). Asimismo, la laguna y los humedales son parte del recorrido turístico debido a la vegetación y fauna que se puede observar.

Se consideran los beneficios en divisas generados por dicha actividad en función del gasto en hotel, alimentación y transporte desde Sayaxché a las ruinas. La mayoría de los turistas son europeos y norteamericanos que viajan a El Petén fundamentalmente para visitar Tikal.

Consultas realizadas a hoteles y agencias de viaje de la zona se estima que aproximadamente 15% del total de turistas viajan por sus propios medios mientras que el 75% restante llega al área por contrato con agencias de turismo de Flores o Ciudad Guatemala. En el caso de los turistas que viajan por sus propios medios, los gastos promedios por día de alojamiento y alimentación ascienden a \$14; el precio del transporte para desplazarse a los sitios arqueológicos de Dos Pilas y Aguateca asciende a \$ 16 por persona en dos días.

El gasto promedio per cápita para aquellos que permanecen dos días es de \$ 44 y multiplicado por los 5.500 turistas que recibe la zona anualmente se obtiene un total de \$ 242.000 de beneficios por el servicio turístico.

5.1.13. Calidad del agua

En varias partes del mundo los humedales son utilizados como lagunas de oxidación para el tratamiento de aguas servidas (Cave, 1992). El incremento y concentración de la población ha llevado a la necesidad de realizar diversas investigaciones en la búsqueda de soluciones a la problemática del tratamiento de aguas negras.

En el caso de Petexbatún los humedales cumplen una función de purificación natural, que en la actualidad pueda no tener un peso importante debido a la baja densidad poblacional. Con una

estimación de crecimiento poblacional del seis por ciento anual, en un futuro los humedales cumplirán una función importante como purificador de agua.

Para valorar esta función podemos considerar la opción de utilizar el sistema Lemna como purificador natural de aguas servidas. Este sistema utilizado en varias partes del mundo consiste en el cultivo de una planta de la familia Lemnaceae, comúnmente conocida como Duckweed o lenteja de agua (Cave, 1992).

Las propiedades de esta planta como purificadora de aguas son ampliamente conocidas y con un tratamiento de secado puede ser utilizado como alimento para animales por su alto valor proteico. En el presente estudio, no se incluyen los beneficios por concepto de producción de forraje. Sin embargo, en el caso de realizar un estudio comparativo con un proyecto alternativo éstos deberían ser considerados.

Los beneficios del humedal son los costos evitados de instalación del sistema por persona. El costo per cápita es de 225 dólares (Cave, 1992) y suponiendo una vida útil de 10 años el beneficio anual de la función calidad del agua estimada para el año 1992 asciende a \$ 33,750 para las 1.500 personas en el área de estudio.

VI. VALORACION DEL ECOSISTEMA

Para lograr una valoración del ecosistema en su conjunto y calcular valores actualizados netos es necesario tener un proyecto alternativo de uso actual y datos de carga límite del ecosistema. Con este criterio y dado que el humedal de Petexbatún está siendo subutilizado desde el punto de vista de la densidad poblacional que soporta, no es posible realizar proyecciones realistas.

Cuadro 5. Valoración parcial del Ecosistema

VARIABLE ANALIZADA	u\$s	%
Transporte acuático	251,120	25
Suministro de agua	72,500	7
Calidad del agua	33,750	3
Pesca Comercial	5,500	ns
Turismo	199,925	20
Estabilización de las orillas del río	1,225	ns
Apoyo economías externas	25,544	4
Descarga de acuíferos	411,312	41
Valor Económico	1,000,876	

ns: no significativo

Muchas de las variables analizadas hasta el momento carecen de un estudio profundo sobre intensidad de uso y niveles de carga. Sin embargo los resultados intentan ser una aproximación al valor real del ecosistema que posiblemente, se esté subvalorando.

El valor económico del humedal de Petexbatún en función de aquellas variables que pudieron ser cuantificadas asciende a u\$s 1,000,876 lo que equivale a u\$s 179 por hectárea (cuadro 12). Este valor corresponde a los beneficios económicos que produce el ecosistema en el año analizado. Considerando un costo de oportunidad del capital de 10% este beneficio económico equivaldría a un capital de \$ 1,790 por hectárea.

Considerando que el precio de la tierra en la zona es de \$ 40 por ha. se confirma que el mercado no es el instrumento mas idóneo para otorgar valores a ecosistemas naturales dado el desconocimiento que la sociedad posee de la importancia de las funciones de los mismos.

Al querer jerarquizar la importancia que tienen las variables para el mantenimiento del ecosistema, surge la dificultad de analizarlas en forma independiente y/o como sistema global. Al realizar un análisis comparativo entre aquellas variables que fueron cuantificadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

Las funciones son las que otorgan la gran totalidad del valor al humedal. A su vez las funciones equivalentes a servicios indirectos contribuyen con un 45% del total (descarga de acuíferos y apoyo economías externas), siendo los servicios directos (transporte acuático, suministro de agua, calidad de agua y turismo) responsables del 55% restante.

Los bienes aportan muy poco al valor del humedal; esta situación se debe al carácter "marginal" de esta zona desde el punto de vista de la población ahí asentada. Esta situación contrasta con áreas densamente pobladas donde los humedales son foco de concentración de actividades extractivas y agrícolas, incluyendo forestales y pecuarias.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

La evaluación económica del humedal presenta resultados contradictorios con relación a la importancia ecológica de los bienes y servicios que originalmente se le había atribuido al ecosistema (Barbier, 1989).

La inconsistencia mayor se presenta en la función de recarga/descarga de acuíferos a la cual se le había adjudicado un peso poco relevante en comparación al resto de los servicios. Aparentemente la estimación ecológica de la descarga subestimó la importancia de esta función sobre la viabilidad de la producción agropecuaria.

Asimismo a la estabilización de orillas se le había adjudicado un papel importante como función ecológica. Sin embargo la evaluación económica le asigna un valor insignificante en comparación al resto de las funciones. Es probable que esta inconsistencia se deba a la importancia ecológica que se le otorgó a esta función separada de otras funciones con la que está relacionada; seguramente estas son las que le confieren un valor importante, si se las analiza de manera combinada. La estabilización de riberas se consideró separadamente del control de inundaciones como una función valorable en si misma. Las riberas analizadas aisladamente de los ecosistemas con los cuales están relacionadas no tienen aparentemente función ecológica relevante, ni valor económico significativo.

Entre los servicios, aquellos relacionados con las funciones hidrológicas son los que presentan un mayor valor. El transporte acuático y la descarga de acuíferos aportan una proporción relevante del total evaluado. Sin embargo este resultado puede estar reflejando un uso particular del ecosistema estudiado.

Es necesario verificar la representatividad del tipo de uso del humedal de Petexbatún en otras zonas del humedal del Río La Pasión y estimar la importancia de otras funciones. Es posible que las funciones hidrológicas sean finalmente las más relevantes desde una perspectiva económica, dado que entre las funciones no evaluadas se encuentra el control de inundaciones, la cual desde un punto de vista ecológico aparenta ser significativa.

La metodología de costo/beneficio permite estimar el valor económico de la mayoría de los bienes y servicios que provee el humedal en un momento determinado. Sin embargo, al depender los resultados del uso particular del ecosistema al momento de la evaluación se puede estar

subestimando la importancia económica de un ecosistema toda vez que se ignora la potencialidad temporal del mismo. Esto parece ser consistente con la necesidad de considerar el valor del capital natural de un país desde la perspectiva de un desarrollo sustentable el cual precisamente prioriza la dimensión temporal.

Esta limitación no solo se debe al uso del ecosistema en el momento de su evaluación. A esto se debe incluir la comercialización y el destino de los bienes que se producen en el humedal o en su zona de influencia, lo cual le otorga precios circunstanciales a los productos. Este es por ejemplo el caso de los productos de la pesca cuyo precio probablemente se incrementaría si la afluencia de turistas aumenta o fuera dirigida hacia la exportación.

Sería conveniente en consecuencia adaptar a la metodología de costo/beneficio, escenarios que surjan de una prospectiva del uso de los bienes y servicios de los ecosistemas para garantizar que las funciones ecológicas sean valoradas por su importancia intrínseca. La hipótesis subyacente es que ésta se reflejaría en algún momento en una importancia económica equivalente evitando resultados circunstanciales, producto de la metodología tal como se aplica en este trabajo.

Como consecuencia de las limitaciones metodológicas señaladas, se puede asegurar que este trabajo subestima el valor real que presta el humedal de Petexbatún . A pesar de esta subestimación el valor por hectárea que se calculó supera en más de un orden de magnitud al valor venal de la tierra. Los mercados adjudican precios basados en relaciones oferta/demanda, accesibilidad, especulación e información.

De cualquier manera la información y la distribución de la misma cumple un rol importante en la adjudicación de precios. La información que posee la sociedad en su conjunto de los bienes y servicios de estos humedales parece ser insignificante. Si bien los datos aportados por el presente trabajo no influirán en la conformación de precios del mercado deberían incidir en la valorización que realicen los decisores para proteger bienes económicamente importantes para la sociedad actualmente subvaluados por los mecanismos de mercado.

La diferencia entre los precios de mercado y los valores resultantes de este estudio, considerando la subestimación de los mismos por falta de información y limitaciones metodológicas, refuerzan la necesidad de generalizar este tipo de estudios. Si bien es recomendable completar la información y los niveles de refinamiento de la misma, el tipo de enfoque realizado contribuye a disminuir la incertidumbre y a adjudicar un valor básico a los ecosistemas. La conceptualización correcta de las funciones y bienes que provee un ecosistema, la imaginación para adoptar los métodos de evaluación más apropiados y un enfoque conservador para evitar sobrestimaciones parecen constituir una primera aproximación que otorga valores básicos confiables para la sociedad.

Es probable que sea necesario cotejar estos resultados con los provenientes de análisis energéticos para comparar valores, no en términos absolutos sino en cuanto a su importancia relativa como aporte al valor total del humedal.

Del trabajo metodológico se pueden sacar algunas consideraciones adicionales:

- a- La definición de cuenca debe ser utilizada como una aproximación al área de estudio y delimitación parcial de la misma. No puede ser tomada como una unidad cerrada que condicione el estudio de los efectos internos y externos de componentes, funciones y atributos. Los efectos de un ecosistema no necesariamente impactan en toda la cuenca.

También, tal como lo vimos en el análisis del control de inundaciones, el humedal puede jugar ecológicamente un papel importante en otras áreas aledañas.

- b- Es importante mantener el esquema de estudio de efectos internos y externos de las relaciones entre variables considerando la zona humedal, zona de influencia y cuenca total, ya que las externalidades deben estudiarse no solo al interior del humedal sino que también en los ecosistemas circundantes.
- c- En el caso de valorar económicamente un ecosistema es recomendable que se consideren aquellas variables que no necesariamente tengan un valor monetario. Existen valores culturales y éticos como en el caso de los sitios arqueológicos que también tienen valor por el medio que los rodean.

Recomendaciones:

1. Profundizar en el estudio de la actividad turística, entre otros en lo que se refiere a los ingresos y costos de la actividad a futuro y en especial los posibles efectos negativos del desarrollo de esta actividad sobre el ecosistema como consecuencia de un incremento acelerado y no controlado del turismo.
2. Profundizar sobre el impacto de la función control de inundaciones tanto en la zona de influencia como en la cuenca del río La Pasión.
3. Estudiar con más detalle el proceso de extracción del Palo Tinto y sus características fenológicas.
4. Realizar las mediciones necesarias para evaluar la importancia ecológica y económica de la función retención de sedimentos y nutrientes.
4. Elaborar un modelo del ecosistema que permita visualizar el conjunto de interacciones entre funciones y componentes. Esta herramienta permitiría realizar estudios de sensibilidad de acción-impacto.

Notas de pie de página

1. Barbier, E., Constanza, R. and Twilley, R. 1991. Guidelines for Tropical Wetland Evaluation. London Institute.
2. Basterrechea, M. 1991. Estudio Hidrológico y Limnológico de los humedales del río La Pasión - Hughes, J.M.R. 1989. Methodology for quantifying the hydrological functions of the river La Pasión. - Barbier, E.B.1989. Economic Evaluation of Tropical Wetland Resources Applications in Central America. - Vázquez, A. 1989. Functional Assessment of Wetlands. Economic Evaluation of Tropical Wetland Resources Project. - Mapas cartográficos del área de estudio, escala 1:50.000. - Fotografías aéreas. 1987.
3. Walter Stottman, Second Integrated Rural Development Project, Columbia. Water Supply Component Staff Working. Paper N° 6, World Bank, February 1982.
4. Dr. Hernán Solís, Hidrólogo del Programa de Manejo Integrado de Recursos Naturales, Proyecto RENARM/CATIE.
5. El lugar está ubicado en el área demostrativa del Proyecto OLAFO-San Miguel La Palotada- en El Petén y el aljibe fue construido en el año 1991. Es utilizado por 6 familias con un consumo diario de 5 galones por día/familia.
6. S. Cave. A Green Revolution Down at the Sewer Ponds, our Planet Volume 3, Number 5, 1992.

A N E X O S

A continuación se presenta un informe sobre el arrastre de sedimentos de la cuenca del río Petexbatún, utilizando la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE). Considerando la limitación de la información disponible y las limitaciones propias de la ecuación utilizada, debe tomarse la información provista a continuación como un orientación general.

1. EUPS

La ecuación EUPS fue planteada por Wischmeier y Smith (1978): $A = 2.24 * R * K * LS * C * P$

Donde: A = Pérdida de suelo en toneladas métricas por hectárea por año.

R = Factor de lluvia y escurrimiento.

LS = Factor de longitud y gradiente de la pendiente.

C = Factor de cobertura y manejo de los cultivos.

P = Factor de prácticas de conservación de suelos.

2. CALCULO DE R

Haciendo una correlación lineal entre los valores de R y de precipitación de Luisiana, Estados Unidos, y los valores de R y precipitación de Petexbatún, por ser ambas zonas húmedas afectadas por las tormentas tropicales, se tiene:

$R_p = R_L * P_p / P_L$ Donde: R_p = Factor R de Petexbatún.

R_L = Factor R de Luisiana = 550 (figura 16.5, Brady).

P_p = Precipitación media anual de Petexbatún = 2100 mm.

P_L = Precipitación media anual de Luisiana = 1625 mm .

$R_p = 550 * 2100 / 1625 = 710$

3. CALCULO DE K

De acuerdo a Collinet (1990), el área del Petén pertenece a la extensa meseta sedimentaria terciaria del Yucatán (México), desarrollada sobre formaciones calcáreas. Su evolución geomorfológica fue típicamente kárstica con todas sus manifestaciones (dolinas, ausencia de ríos, etc.). A partir de estos materiales y dentro del contorno climático y morfogenético se desarrolla la siguiente secuencia de suelos:

- Cumbre y vertientes de las colinas: franco arcillosos con una profundidad de 0.5 a 0.8 metros, muy bien estructurados, clasificados como rendzinas o eutric cambisols (FAO),

- En los valles planos se presentan suelos arcillosos profundos, con estructura generalmente masiva, y se identifican como pellic vertisols (FAO).

Ambos suelos presentan buenos contenidos de materia orgánica: entre el 7 y 10% hasta 10 cm de profundidad, y del 3 al 5% hasta 50 cm. Estas condiciones favorecen una baja erodibilidad por lo que se selecciona, utilizando la tabla 5.4 (Schwab et al., 1981), un valor $K = 0.21$. OEA (1972) reporta valores de K que oscilan de 0.11 a 0.25 para la altiplanicie central de Guatemala, en cuyo rango se enmarca el valor seleccionado para este estudio.

4. CALCULO DE LS

El área de Petexbatún ofrece un paisaje muy plano. La cuenca se subdividió en cinco subcuencas, las cuales presentaron valores medios de pendiente normalmente inferiores al 1 %, según lo muestra la siguiente tabla (Quesada, comunicación personal):

CUENCA	AREA (ha)	ALTMAX (m)	ALTMIN (m)	DIF ALT (m)	LONGIT (m)	PEND (%)
A	18902	150	110	40	28700	0.1
B	5548	200	110	90	8800	1.0
C	9107	190	110	80	9500	0.8
D	6943	210	110	100	16700	0.6
E	4374	150	110	40	6600	0.6

Se calcula la pendiente media pesada en función de la distancia:

$$S = \frac{\sum S_i \cdot L_i}{\sum L_i}$$

$$\sum S_i \cdot L_i = 0.1 \cdot 28700 + 1 \cdot 8800 + 0.8 \cdot 9500 + 0.6 \cdot 16700 + 0.6 \cdot 6600 = 33250$$

$$\sum L_i = 28700 + 8800 + 9500 + 16700 + 6600 = 70300 \text{ metros}$$

$$S = 33250 / 70300 = 0.47 \approx 0.5$$

La longitud media es: $L = \sum L_i / n = 70300 / 5 = 14060$ metros

Debido a que la fig 15.19 (Dunne, 1978) no abarca las longitudes aquí consideradas, se debe proceder a obtener la ecuación de la relación doble logarítmica de la figura.

$$LS_1 = \text{Antilog}(i(\text{Log}L_1 - \text{Log}L_2) + \text{Log}LS_2)$$

La pendiente i de la recta logarítmica es calculada a partir de dos puntos conocidos: (0.1, 100) y (0.25, 2000), para una pendiente topográfica de 0.5 %

$$i = (\text{Log}0.25 - \text{Log}0.1) / (\text{Log}2000 - \text{Log}100) = 0.3$$

Ahora se puede calcular LS_1 a partir del punto buscado ($LS_1, 14060$) y cualquier punto conocido, como puede ser (0.1, 100)

$$\text{Log}LS_1 = \text{Log}(0.3(\text{Log}14060 - \text{Log}100) + \text{Log}0.1) = -0.36 \quad LS_1 = 10^{-0.36} = 0.44$$

5. CALCULO DE C

En la cuenca del Petexbatún se tiene un 71% de bosques, 16% de zonas agrícolas y ganaderas y un 13% de humedal. Si se considera solo la porción terrestre, los bosques cubren un 82% y el sector agropecuario el restante 18% . En general no se presenta arado de las tierras y el uso tiende a ser extensivo, con la práctica común de las quemas. En consecuencia el valor de C tiende a ser bajo. De las tablas 15.3 y 15.4 (Dunne, 1978), se toma un valor de C de 0.004 para los bosques y 0.1 para la zona agropecuaria. El promedio pesado por área es:

$$C = 0.82 \cdot 0.004 + 0.18 \cdot 0.1 = 0.021$$

6. CALCULO DE P

Dado que no existen prácticas de conservación de suelos en el área, se considera que este factor no tiene influencia, por lo que $P = 1$.

7. CALCULO DE EROSION BRUTA A

$$A = 2.24 \cdot 710 \cdot 0.21 \cdot 0.44 \cdot 0.021 \cdot 1 = 3.09 \text{ Ton/ha/año}$$

Considerando que el peso específico de los suelos es: $\tau = 1.4 \text{ Ton/m}^3$

$$A = 3.09 / 1.4 = 2.2 \text{ m}^3/\text{ha/año} \quad \text{Este valor constituye la erosión bruta.}$$

8. CALCULO DE SEDIMENTOS DESCARGADOS EN HUMEDAL

La tasa de sedimentos es la fracción de la erosión bruta que descarga a la salida de la cuenca. El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, en base a mediciones, estableció una relación entre la erosión bruta y la tasa de sedimentos, en la que se concluye que la tasa de descarga de sedimentos varía inversamente proporcional al área elevada a un exponente de 0.2. (tabla 2.13, Kirkby, 1984).

La cantidad de sedimentos depositados en el río y el lago Petexbatún, por año, se presentan en la siguiente tabla:

CUENCA	AREA (ha)	TASA SALIDA SEDIM. (%)	SEDIMENTOS (m ³ /año)	SITIO DE DESCARGA
A	18902	12	4990	RIO
B	5548	15	1831	LAGO
C	9107	13	2605	LAGO
D	6943	14	2138	LAGO
E	4374	16	1540	RIO
TOTAL	44874		13104	

Las subcuencas B,C y D, con un área acumulada de 21598 ha, desaguan, a través de los riachuelos Aguateca, Tamarindo y el Faisán, al Lago Petexbatún. Las subcuencas A, con un área de 18902 ha, drena a través de los riachuelos Charío y el Puerquito; y E, con un área de 4374 ha, desemboca en el río Petexbatún.

**USO ACTUAL DE LA TIERRA PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE PETEXBATUN
(CATEGORIAS Y SUPERFICIE)**

CLASE	DESCRIPCION	AREA	%
1	Potrerros/Ganadería	3255.5	7.38
2	Agricultura estacional/Cultivos Temporales	1648.4	3.74
3	Matorral Bajo/Barbecho Temprano	1571.9	3.56
4	Matorral Medio/Barbecho Semimaduro	1609.6	3.65
5	Matorral Alto/Barbecho Maduro	645.5	1.46
7	Agricultura con Bosques Residual	647.3	1.47
17	Centros Urbanos	69.0	0.16
	Bosque		
18		27932.3	63.30
19	Bosque Residual Intervenido	688.3	1.56
32	Barbecho Temprano/uso agrícola	467.4	1.06
100	Cuerpos de Agua	844.6	1.91
112	Llanura Inundable/Vegetación emergente densa	1595.1	3.61
121			
	Areas muy Húmedas y sobresaturadas, sin lámina de agua continua, vegetación leñosa escasa	86.9	0.20
122			
	Areas muy Húmedas y sobresaturadas, sin lámina de agua continua, vegetación emergente densa	516.7	1.17
123			
	Areas muy Húmedas y sobresaturadas, sin lámina de agua continua, transicional a Bosque	1329.0	3.01
131	Encharcamientos Someros/Vegetación leñosa escasa	143.3	0.32
132		453.6	1.03
	Encharcamientos Someros/Vegetación emergente densa		
133		41.2	0.09
	Encharcamientos Someros/Vegetación transicional a bosque	337.6	0.77
151		99.8	0.23
152	Encharcamientos continuos/Vegetación leñosa escasa	145.9	0.33
	Encharcamientos continuos/Vegetación emergente Densa		

	Ríos Navegables		
	AREA TOTAL DE LA CUENCA	44128.9	100%

DESCRIPCION DE LAS UNIDADES DE USO ACTUAL Y POTENCIAL

1. GANADERIA - Comprende áreas de potreros cubiertos con pastos naturales o introducidos, dedicados a una producción ganadera extensiva.
2. AGRICULTURA - Comprende áreas de potreros cubiertos con pastos naturales o introducidos, dedicados a una producción ganadera extensiva.
3. MATORRALES BAJOS ASOCIADOS A LA GANADERIA - Son áreas desprovistas de árboles con pastos naturales o introducidos que no se encuentran sometidos rigurosamente a la ganadería o que temporalmente no están dedicadas esta actividad.
4. MATORRALES SEMIMADUROS - Son áreas que han sido dedicadas a la agricultura y que se encuentran en barbecho semimaduro (de entre 3 y 6 años), con arbustos que no sobrepasan de los 10 metros de altura, o bien aquellas áreas que por condiciones de hidrodinámica no permiten un desarrollo arbóreo.
5. MATORRALES MADUROS - Son áreas de barbecho maduro (de más de 6 años) y que el grado de sucesión vegetal, alcanzan diámetros relativamente grandes y alturas de hasta 15 metros.
7. AGRICULTURA CON BOSQUE RESIDUAL - Areas en las que la predominancia de la agricultura o ganadería es de más del 60% de las mismas.
18. BOSQUE - Areas que forman un dosel continuo de árboles. En esta clasificación no se incluyen aspectos de densidad o cobertura.
19. BOSQUE RESIDUAL INTERVENIDO - Areas inmediatas a aquellas que están dedicadas a la agricultura o ganadería y que constantemente están siendo intervenidas para el avance de los frentes culturales.
32. MATORRALES BAJOS ASOCIADOS A LA AGRICULTURA - Son áreas desprovistas de vegetación arbórea, los que se encuentran en descanso después de un ciclo de cultivos y cubiertas por arbustos y hierbas que no sobrepasan los 2 metros de altura.
112. LLANURAS DE INUNDACION - Son áreas con cambios de cota casi imperceptible, sometidas a inundación periódica en las épocas de mayor estiaje. Estas zonas se encuentran definidas perfectamente por los cambios en la dinámica interna del flujo de agua y las crecidas de los ríos.
- 121,122,123. AREAS MUY HUMEDAS-SOBRESATURADAS SIN LAM. DE AGUA PERMANENTE - A diferencia de las anteriores, Estas zonas se encuentran a una mayor altura de los cuerpos de agua y ríos. Generalmente los suelos Permanecen húmedos durante la mayor parte del año y se sobresaturan en las épocas de lluvia.
- 131,132,133. ENCHARCAMIENTOS SOMEROS - Son áreas cercanas a los márgenes de los ríos que por su bajo grado de pendiente forman láminas continuas de agua de poco espesor en las épocas de mayor flujo de agua.

151,152. ENCHARCAMIENTOS CONTINUOS - Son áreas caracterizadas por un humedecimiento permanente y por láminas continuas de agua de mayor espesor que la anterior y en proporciones más elevadas.

En cuanto a la cubierta que se encuentra en los numerales 112, 121, 122, 123, 131, 132, 133, 151 y 152 se pueden encontrar los siguientes estratos de vegetación:

A. VEGETACION LEÑOSA ESCASA: Compuesta principalmente por especies ruderales y gramíneas no leñosas o por arbustos aislados de pequeño porte cuya altura media no sobrepasa de los 2 metros.

B. VEGETACION EMERGENTE DENSA: En este caso la vegetación existente en las zonas donde se presenta, es una combinación de especies arbustivas y herbáceas en forma continua que no sobrepasan en promedio los 6 metros de altura.

C VEGETACION EN TRANSICION A BOSQUE: Está compuesta por árboles de bajo porte y que por las condiciones en los sitios de su desarrollo son de diámetros no mayores de 40 centímetros y con alturas que no sobrepasan los 20 metros.

LEYENDA PARA LAS APTITUDES Y POTENCIALIDADES DE USO DEL AREA DE LA SUBCUENCA DE LA LAGUNA PETEXBATUN.

A diferencia de la clasificación agrológica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos -USDA- donde se establece 8 clases agrológicas, y otras en donde se toma en cuenta únicamente las aptitudes internas de los suelos, en las presentes categorías se toma en cuenta grado de asentamientos urbanos ya existentes en la zona, el grado de intervención en el bosque y el "status" general de productividad de la región.

1. RESERVA FORESTAL: Comprende aquellas áreas cuyo "status" legal no posibilita la permanencia de frentes agrícolas y que por la calidad de los bosques puede estar orientado a la utilización a largo plazo de estos.

2. BOSQUE PROTECTOR: Se incluye en esta categoría aquellos bosques que están rodeando áreas silvestres, sitios culturales de importancia turística, áreas protegidas, o las márgenes de ríos.

3. BOSQUE PRODUCTIVOS: Se consideran aquí aquellos que poseen volumetría y riqueza específica para que las comunidades puedan hacer aprovechamientos sostenibles para aserrío, construcción o leña.

4. RESERVAS DE PESCA Y VIAS PANORAMICAS: Estas áreas están relacionadas directamente con los cuerpos de agua y algunos cursos de río que pueden ser utilizados sosteniblemente, para la pesca artesanal a mediana escala y para el turismo ecológico.

6. AREAS SILVESTRES/REFUGIOS BIOLÓGICOS: Son áreas sometidas a una dinámica hídrica que posibilita el sostenimiento de la biodiversidad de la zona, especialmente la avifauna.

7. AREAS DE AGRICULTURA Y GANADERIA: Estas áreas incluyen aquellas zonas que por el origen de sus suelos y la hidrodinámica interna, posibilitan el desarrollo de una agricultura intensiva de cultivos temporales.
8. AREAS DE AGRICULTURA Y GANADERIA CON LIMITACIONES: En estas zonas la calidad de los suelos y de humedad no permiten más que un uso extensivo para estas actividades, limitándose a una menor productividad que los suelos de categoría anterior.
9. AREAS PARA AGROFORESTERIA Y AGROSILVOPASTOREO: Estas áreas tienen un grado de humedad y drenaje interno así como una calidad en la fertilidad de los suelos que requiere de prácticas más especializadas como un período de barbecho para restaurar las extracciones de nutrientes de los cultivos y pastos.
10. AREAS PARA DESARROLLO TURISTICO: Son áreas que por su posición dentro de la subcuenca, permitirán el acomodo y centralización de instalaciones orientadas a la actividad ecoturística.
11. AREAS LEGALMENTE PROTEGIDAS DE INTERES CULTURAL Y TURISTICO: Estas áreas son las que han sido delimitadas como tales por el Estado para la protección de monumentos culturales principalmente.