

# **Impacto hidrológico económico de la destrucción de bosques nublados latifoliados maduros**

Mónica Cornelia Duarte Guerra

**ZAMORANO**

**Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica**

**Abril, 1998**

# **A hydrologic study of mature cloud forest destruction and its economic impact.**

Mónica Cornelia Duarte Guerra

**ZAMORANO**

**Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica**

**Abril, 1998**

# **Impacto hidrológico económico de la destrucción de bosques nublados latifoliados maduros**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado  
Académico de Licenciatura.

presentado por

**Mónica Cornelia Duarte Guerra**

**Zamorano-Honduras**

Abril, 1998

**El autor concede a Zamorano permiso  
para reproducir y distribuir copias de este t  
trabajo para fines educativos. Para otras personas  
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.**

---

**Mónica Duarte**

**Zamorano-Honduras  
Abril, 1998**

# **Impacto hidrológico económico de la destrucción de bosques nublados maduros**

Presentado por

Mónica Duarte

Aprobada:

---

Nelson Agudelo, M.Sc.  
Asesor principal

---

George E. Pilz, Ph.D.  
Jefe de Departamento

---

Fredy Arias, Ph.D.  
Ph.D.  
Asesor

---

Antonio Flores,  
Decano Académico

---

Roberto Avalos, Ph.D.  
Asesor

---

Keith Andrews, Ph.D.  
Director

---

Silvia C. Shalukian, M.Sc.  
Coordinador PIA

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser mi guía, darme fuerza y valor para seguir adelante.

A mis padres por darme su amor y confianza. Por ser mi mayor apoyo.

A mi familia por el apoyo brindado en todo momento. En especial a mi hermana Verónica.

A todas aquellas personas que trabajan por y para la conservación de los recursos naturales.

## **AGRADECIMIENTOS**

A quienes dedico este trabajo, por su apoyo, confianza y ánimos para seguir adelante.

Al Ingeniero Nelson Agudelo por su apoyo, consejos y por el esmero y dedicación en corregir este trabajo.

Al Dr. Arias por su ayuda en la realización de este trabajo.

A mi segunda familia (Odilo, Carla, Carolina y Rodrigo), por su toda su ayuda desinteresada, apoyo y consejos durante estos cuatro años de estudio.

A los Ingenieros, Timoty Longwell, Luis Caballero y Gerarado Pérez por la ayuda que me dieron en la realización de este trabajo.

A Claudia Maldonado por su ayuda, consejos y amistad en todo momento.

A Paola Padilla por su ayuda, por las experiencias compartidas, por su amistad en todo momento.

A Rodrigo Daza y José Luis García por el apoyo brindado, las experiencias compartidas

A mis amigos: Hans, Fidel, Jorge, Olenka, Jhoanna, Marcelo, Carlos P., Ivan, Paola M., Diego V., Ignacio, Carlos L., Beatriz, Julita, Carlos Enrique, Nestor, Sergio, Daniel, Carlos por su apoyo y amistad.

A todos mis compañeros de Departamento en especial a Carlos Arias y Omar Funez, por su ayuda, amistad y todos los momentos compartidos.

A todo el personal del Departamento de Recursos Naturales por su colaboración.

Al “scissors” por la membresía otorgada.

A todas las personas que de alguna manera ayudaron en la culminación de este estudio.

## **AGRADECIMIENTOS A PATROCINADORES**

A la Fundación Kellogg por el financiamiento de mis estudios en el programa de Agrónomo.

Al Dresdner Bank Lateinamerika AG. por el financiamiento durante el Programa de Ingeniería Agronómica.

## RESUMEN

Duarte, Mónica 1998. Impacto hidrológico económico de la destrucción de bosques nublados latifoliados maduros. Proyecto especial del programa de Ingeniero Agrónomo, El Zamorano, Honduras. 59 p.

Los bosques nublados cuya superficie total en el trópico húmedo ascendía en 1986 a unos 500 000 km<sup>2</sup> representan, a escala mundial, uno de los ecosistemas más amenazados y con tendencia a desaparecer debido a un proceso continuo de conversión de bosques a otros usos de la tierra. Los bosques nublados en estado maduro aportan a la precipitación normal entre 7.2 a 158%, siendo tales ecosistemas prácticamente imprescindibles en el ciclo hidrológico. En las regiones tropicales y subtropicales del globo, a nivel de cuencas montañosas, tales bosques se convierten en verdaderas zonas de recarga. En tal sentido, la perpetuidad y manejo de los bosques nublados tienen que ser, a futuro, un componente vital de los esquemas de manejo de cuencas hidrográficas.

Zamorano y la mayoría de las comunidades aledañas a la Montaña de Uyuca satisfacen la casi totalidad de los requerimientos de agua de este macroecosistema. Siendo Uyuca un Cerro aislado, la producción de agua tendrá que ser limitada en un momento determinado, aunque se maximicen las condiciones de la masa con propósitos hidrológicos. Con este fundamento se decidió analizar las características hidrológicas de la zona de recarga de Uyuca y todo el componente de abastecimiento de agua para Zamorano. Esta información se extrapoló a la Microcuenca de la Quebrada Santa Inés, propiedad de la institución, influenciada por elementos climáticos más o menos similares a Uyuca. Para el estudio hidrológico se tomó información de cinco años de lluvia, dentro y fuera del bosque y se determinó la precipitación media sobre el bosque maduro. Esta precipitación se tradujo a caudal, empleando para ello población beneficiada y su dotación diaria. La zona de recarga de Uyuca arrojó una precipitación media de 1782 mm y un caudal aguas abajo de 19 L/seg. Si Zamorano perdiera esta fuente tendría que pagar, bajo condiciones conservadoras, \$ US 0.13 por m<sup>3</sup> de agua si se recurriera a la fuente de Santa Inés.

**Palabras claves:** ecosistemas amenazados, ciclo hidrológico, acuíferos, manejo de cuencas.

## NOTA DE PRENSA

### LA CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES NUBLADOS UNA ALTERNATIVA A LA ESCASEZ DE AGUA

**Los bosques nublados representan a escala mundial uno de los ecosistemas más amenazados y con tendencia a desaparecer, debido a un proceso continuo de conversión de bosques a otros usos de la tierra. Los bosques nublados en estado maduro aportan a la precipitación normal entre 7.2 a 158%, siendo tales ecosistemas imprescindibles en el ciclo hidrológico.**

**Estudios sobre comportamiento hidrológico de cuencas en regiones templadas indican que la eliminación de los bosques se traduce en un incremento de caudales a consecuencia de la reducción de pérdidas de agua por evapotranspiración. En el caso de los bosques nublados, su destrucción puede ocasionar pérdidas sustanciales de agua, ello debido al ingreso adicional de este elemento al bosque mediante el proceso de lluvia horizontal. A nivel de cuencas montañosas, en las regiones tropicales y subtropicales del globo, tales bosques se convierten en verdaderas zonas de recarga; en tal sentido, la perpetuidad y manejo de estos bosques tiene que ser, a futuro, un componente vital de los esquemas de manejo de cuencas hidrográficas.**

La Montaña Uyuca abastece casi en su totalidad los requerimientos de agua de Zamorano y las comunidades aledañas. La producción de agua de este ecosistema tendrá que ser limitada en un momento determinado, aunque se maximicen las condiciones de la masa con propósitos hidrológicos. Con este fundamento, se decidió analizar las condiciones de la zona de recarga de Uyuca y todo el componente de abastecimiento de agua para Zamorano. Dicha información se extrapoló a la Microcuenca de la Quebrada de Santa Inés, propiedad de la institución, influenciada por elementos climáticos más o menos similares a Uyuca.

Para la realización del estudio hidrológico se tomó información de cinco años de lluvia (1987 – 1992), dentro y fuera del bosque y se determinó la precipitación media sobre el bosque maduro. Esta precipitación se tradujo a caudal, empleando para ello la población beneficiada y su dotación diaria. La zona de recarga de Uyuca arrojó una precipitación media de 1782 mm y un caudal aguas debajo de 19 L/seg. Si Zamorano perdiera esta fuente tendría que pagar, bajo condiciones conservadoras, \$ US 0.13 por m<sup>3</sup> de agua si se recurriera a la fuente más cercana en este caso Santa Inés.

Ante la gran importancia que representa la zona de recarga de la Microcuenca de la Quebrada Santa Inés, para el abastecimiento de agua potable y de riego en un futuro no muy lejano, es urgente y de trascendental importancia formular un modelo de manejo para esta Microcuenca, como garantía para el éxito de cualquier proyecto de inversión.

# CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Páginas de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Agradecimientos a patrocinadores.....	vi
Resumen.....	vii
Nota de prensa.....	viii
Contenido.....	ix
Indice de Cuadros.....	xi
Indice de Figuras.....	xii
Indice de Anexos.....	xiii
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 EL IMPACTO HIDROLÓGICO DE LOS BOSQUES.....	3
2.1.1 Bosques naturales.....	3
2.1.2 Bosques no influenciados por neblinas.....	7
2.1.3 Efectos hidrológicos de la deforestación.....	8
2.2 TÉCNICAS PARA CUANTIFICAR LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN <b>CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....</b>	<b>8</b>
... <b>8</b>	
2.1.1 Determinación de la precipitación media sobre una cuenca.....	8
2.2.2 Determinación de caudales.....	10
2.2.3 Procesos que pueden ocurrir con la cantidad de agua que cae dentro de una cuenca.....	12
2.3 SISTEMAS DE VALORACIÓN ECONÓMICA DE RECURSOS NATURALES A NIVEL DE CUENCAS.....	16
2.3.1 Valor económico de algunos recursos naturales.....	16
2.3.2 Valoración del recurso boscoso.....	17
2.3.3 Valorización del recurso suelo.....	20
2.3.4 Valor económico del agua.....	21
2.3.5 Técnicas de valoración de agua.....	22

<b>3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
3.1	ASPECTOS POLÍTICOS.....	25
3.1.1	Ubicación geográfica.....	25
3.1.2	Límites.....	25
3.1.3	Tenencia y uso de la tierra.....	25
3.2	ASPECTOS FÍSICOS.....	25
3.2.1	Superficie.....	25
3.2.2	Altitud.....	25
3.2.3	Relieve.....	28
3.2.4	Clima.....	28
3.2.5	Ecología.....	28
3.2.6	Vegetación.....	28
3.2.7	Geología y suelos.....	28
3.2.8	Hidrología.....	32
3.3	METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO.....	32
3.3.1	Delimitación de la microcuenca sobre mapas topográficos y mapa de ecosistemas o zonas de vida .....	32
3.3.2	Actualización del mapa de uso actual de la tierra en la zona de recarga ....	32
3.3.3	Estimación de la precipitación dentro del bosque maduro latifoliado nublado del Cerro Uyuca.....	33
3.3.4	Cálculo de la precipitación a campo abierto .....	33
3.4	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.....	33
3.4.1	Cálculo de la precipitación media dentro el bosque nublado latifoliado del Cerro Uyuca.....	33
3.4.2	Estimación del caudal producido por el Cerro Uyuca.....	33
3.4.3	Valoración indirecta o no de mercado de la cantidad de agua producida por la microcuenca.....	34

## **4**

### **RESULTADOS.....**

.....

**36**

4.1	MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA.....	36
4.2	MAPA DE CONFLICTOS EN EL USO DE LA TIERRA EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA SANTA INÉS.....	36
4.3	PRECIPITACIÓN MEDIA EN LA ZONA E RECARGA.....	36
4.4	CAUDAL DE LA MICROCUENCA.....	39
4.5	PÉRDIDA DE AGUA Y SU VALOR ECONÓMICO APROXIMADO POR CONVERSIÓN DEL BOSQUE MADURO A OTROS USOS DE LA TIERRA, EN LA ZONA DE RECARGA.....	39
4.6	VALORACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA PRODUCIDA POR EL CERRO UYUCA.....	40
4.7	PÉRDIDAS ECONÓMICAS POR LA DEFORESTACIÓN LA DEFORESTACIÓN.....	40

5	<b>DISCUSIÓN</b> .....	41
6	<b>CONCLUSIONES</b> .....	43
7	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	44
8	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	45
9	<b>ANEXOS</b> .....	50

## ÍNDICE DE CUADROS

### Cuadro

1	Métodos de valoración de ecosistemas.....	23
2	Población beneficiada y su correspondiente consumo de agua, dependiente de la Montaña Uyuca .....	34
3	Costos de producción de agua potable en Zamorano....	35
4	Distribución por área y porcentual de los usos de la tierra, en la zona de recarga de la Microcuenca de la Quebrada Santa Inés.....	36
5	Aproximación de la cantidad de agua que produce una cuenca al conocerse los datos de precipitación y datos de medición de caudal ya sea de manera directa o indirecta.....	39

## INDICE DE FIGURAS

### Figura

1	Ubicación de la zona de estudio en la República de Honduras.....	26
2	Mapa topográfico de la Quebrada de la Microcuenca de la Quebrada de Santa Inés .....	27
3	Mapa ecológico de zonas de vida de la Microcuenca de la Quebrada Santa Inés.....	29
4	Mapa de geología y suelos de la Microcuenca .....	30
5	Usos de la tierra en la zona de recarga de la Microcuenca de Santa Inés .....	37
6	Mapa de conflictos en el uso de la tierra en la Microcuenca de la Quebrada Santa Inés.....	38

## ÍNDICE DE ANEXOS

### Anexo

1. Precipitación promedio (mm) mensual y anual de la Estación El Zamorano para 45 años.....	50
2. Temperatura promedio (°C) mensual y anual de la Estación El Zamorano para 25 años.....	51
3. Temperatura máxima promedio (°C) mensual y anual de la Estación El Zamorano para 25 años.....	52
4. Temperatura mínima promedio (°C) mensual y anual de la Estación El Zamorano para 24 años.....	53
5. Costos de infraestructura, de la captación de agua potable para Zamorano.....	54
6. Red de drenaje de la Microcuenca de la Quebrada Santa Inés.....	58
7. Mediciones de caudales de la Estación Santa Inés .....	59

## 1.INTRODUCCIÓN

Los bosques nublados, cuya superficie total en el trópico húmedo ascendía en 1986 a unos 500,000 km<sup>2</sup>, representan a escala mundial uno de los ecosistemas más amenazados y con tendencia acelerada a desaparecer por el proceso universal de conversión de bosques a otros usos de la tierra (Agudelo, 1997). Se considera que en Honduras existía en 1993 alrededor de 409, 260 ha de bosques nublados, equivalentes al 3,6 % de su territorio continental (Mejía; Hawkins, 1993). Según el Decreto 87-87, esta cifra sólo incluye aquellos bosques nublados de altura ubicados sobre los 1800 m de elevación, a sabiendas de la existencia de algunos de ellos a menor altitud. Por tanto, la verdadera extensión de estos bosques es aún desconocida (Agudelo, 1997).

En términos de macroclima el factor más importante asociado a estos bosques es la frecuencia de neblinas, a veces de carácter persistente. “La alta nubosidad afecta no sólo la precipitación sino también otros elementos climáticos como la temperatura, humedad relativa, evaporación, cantidad y calidad de luz, además de procesos fisiológicos” (Agudelo, 1997). A nivel microclimático, existe una elevada humedad relativa del aire (neblina) la cual es captada por dichos bosques ya que constituyen barreras vivas a la circulación de las nubes; este proceso se denomina precipitación horizontal u oculta o lluvia del bosque, la cual agrega cantidades importantes de agua al ciclo hidrológico.

Aunque varía mucho de un sitio a otro, investigaciones realizadas en Puerto Rico, Honduras y otros países tropicales indican que la precipitación horizontal puede representar desde 2% hasta 45% de la precipitación total (Bruijnzeel, 1990; Weaver, 1972; Stadtmüller y Agudelo, 1990). Sin embargo, Stadtmüller (1987) reporta que dicha precipitación varía entre 7.2 por ciento y 158.5 por ciento. La precipitación horizontal ocurre en días sin lluvia, razón por la cual estos bosques juegan un papel muy significativo en la regulación del régimen hídrico, especialmente durante los períodos secos donde reducen la tasa de evapotranspiración (Zadroga, 1981), además de ser ecosistemas muy frágiles y de biodiversidad única.

Estudios sobre el comportamiento hidrológico de cuencas en regiones templadas, indican que la eliminación de los bosques se traduce en un incremento de los caudales a consecuencia de la reducción de pérdidas de agua por evapotranspiración. En el caso de los bosques nublados, su deforestación puede ocasionar pérdidas sustanciales de agua en las cuencas, ello debido al ingreso adicional de este elemento al bosque mediante el proceso de lluvia horizontal (Agudelo, 1997). Debido a esto, al proteger los bosques nublados se está asegurando la producción de agua de buena calidad y la regulación temporal del flujo, ya que su presencia evita la erosión de los suelos, la remoción de sedimentos y el control parcial de inundaciones (Stadtmüller, 1987).

En Honduras, algunos bosques nublados son los responsables de abastecer la demanda de agua potable de importantes áreas urbanas. Tal es el caso de los bosques nublados que cubren la cordillera de el Merendón, vital para el suministro de agua a San Pedro Sula y alrededores, y La Tigra que abastece un 23 % del agua potable de Tegucigalpa (Hennings, 1997). El bosque del Cerro Uyuca abastece toda el agua potable que consume Zamorano y gran porcentaje de las necesidades de las comunidades aledañas, teniendo una producción estimada de 2064.09 m<sup>3</sup> diarios; y si se toma en cuenta la producción que genera la Microcuenca de Santa Inés, a pesar de su deterioro, se asume que ésta es un área de gran potencial, por ello Zamorano y las comunidades que se abastecen de agua para uso doméstico y/o para uso agrícola, tienen asegurado su abastecimiento siempre y cuando se realice un plan de manejo adecuado para evitar que siga su destrucción y se inicie su recuperación paulatina.

Uyuca como ecosistema generador de agua tiene una superficie limitada y a futuro también será limitada la cantidad de agua que bombee, aunque se maximicen sus condiciones de cobertura vegetal. Zamorano, a mediano y largo plazo, tendrá que analizar otras opciones para abastecimiento de sus necesidades de agua potable y de riego. La Microcuenca de la Quebrada de Santa Inés, en la Montaña El Volcán, constituye una fuente potencial de este vital líquido. Bajo esta óptica amerita, entonces, hacer una valoración del potencial hídrico de esta microcuenca tomando como punto de referencia la producción actual de agua de Uyuca.

Con este fundamento, el presente estudio pretende alcanzar el siguiente objetivo general:

Contribuir a mejorar los conocimientos sobre hidrología forestal en particular de los bosques nublados de altura en estado maduro, de la región subtropical de América Central.

Con los siguientes objetivos específicos:

- Determinar y calcular la superficie de la zona de recarga o de formación de acuíferos para la microcuenca de la Quebrada Santa Inés.
- Determinar la superficie de bosque maduro y otros usos de la tierra que cubren la zona de recarga de esta microcuenca.
- Evaluar el impacto hidrológico-económico de la destrucción del bosque latifoliado nuboso maduro de esta microcuenca.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

Para la mejor comprensión de este estudio se examinarán algunos aspectos importantes relacionados con el impacto hidrológico de los bosques, algunas técnicas para cuantificar la producción de agua en cuencas hidrográficas y sistemas de valoración económica.

### **2.1 EL IMPACTO HIDROLÓGICO DE LOS BOSQUES**

Son numerosas las propiedades hidrológicas de la cobertura vegetal que tienen consecuencias directas sobre el suelo forestal: el microclima, la hojarasca, el contenido de material orgánico en el suelo, la calidad de agua y los procesos de infiltración, escorrentía y erosión (Stadmüller, 1994). A nivel del ciclo hidrológico, las masas forestales se pueden clasificar de la siguiente forma:

#### **2.1.1 Bosques naturales**

Los bosques, que constituyen una forma típica de cobertura vegetal en la mayor parte de las zonas húmedas y subhúmedas del mundo tropical y subtropical, tienen importancia ya sea como proveedores de madera, alimentos y otros valores económicos, ambientales y socioculturales. Para muchos países, la utilización racional de los recursos otorgados por el bosque y un desarrollo adecuado de las zonas cubiertas por los mismos, son parte medular de los objetivos de programas de desarrollo y planificación. (UNESCO/CIFCA, 1980)

La influencia que tienen los bosques en el ambiente son parte de la vasta y compleja relación entre el medio y la vegetación forestal. Por ello se dice que donde existe vegetación forestal ésta se caracteriza por presentar diversas fases de evolución natural, ya se trate de bosques primarios inalterados o de un proceso de asociación o regresión de acuerdo a una intervención que se determinaría por la presencia del hombre (UNESCO/CIFCA, 1980)

Al hablar de las influencias de los bosques y de los árboles a nivel local o mundial, se está haciendo referencia a la relación que tienen éstos durante su crecimiento y/o desarrollo, con su efecto en el ambiente. Dicha influencia se da a nivel del clima, en el suelo y en el agua. Por ello se puede afirmar que la cobertura boscosa es un componente de suma importancia en el ciclo hidrológico y como parte integrada del suelo afecta los procesos de escorrentía, infiltración y otros (Stadmüller, 1994; UNESCO/CIFCA, 1980) Es evidente, entonces, que el bosque reduce el impacto de la lluvia, a través de la interceptación que tienen las hojas y ramas. En ecosistema forestales con vegetaciones densas, como los bosques maduros, con un estrato superior compuesto de árboles y uno inferior constituido por vegetación herbácea, dicha interceptación podría significar media pulgada o más de precipitación por tempestad. Debido al viento presente en el lugar,

parte de esta humedad cae al suelo después de ocurrida la precipitación , prolongándose el período de lluvia en la superficie del suelo. De esta manera se incrementa la infiltración en el suelo y la humedad que queda en las hojas es evaporada lo que no debe considerarse como pérdida debido a que se compensa con la menor cantidad de agua que se evapora del suelo y con la transpiración de la vegetación (DGC/AID, 1990).

La sombra que generan los árboles es importante para promover el desarrollo de microorganismos en el suelo, los que ayudan a la descomposición de la materia orgánica para transformarse luego en humus. El establecimiento y mantenimiento de una cobertura de materia orgánica sobre el suelo ayuda a prevenir el escurrimiento superficial y arrastre de partículas de suelo, pues se desarrolla una estructura porosa que incrementa el proceso de infiltración y la capacidad de almacenaje en el suelo y la zona radicular. Dicho proceso se relaciona estrechamente con otra función importante de los bosques que consiste en proteger a los suelos contra la erosión. Debe tenerse en cuenta que la cantidad de escorrentía superficial y su comportamiento en el suelo depende de varios factores, tales como: intensidad de la lluvia, pendiente e irregularidad del terreno, presencia o ausencia de una cubierta protectora la que podría ser hojarasca, piedras o hierbas. Al considerar la superficie del suelo, es decir al tratar de mantener la estructura conveniente de las partículas individuales, ayudaría a ser menos eficiente el proceso de escorrentía pues el agua se infiltraría y/o se movería lentamente hacia niveles inferiores, dándose así un adecuado almacenamiento y retención del agua en la superficie (Stadmüller, 1994; UNESCO/CIFCA, 1980).

La cantidad de agua interceptada y la que se almacena en el bosque a través del sistema radicular, es absorbida y evapotranspirada. La transpiración fluctúa dentro de un patrón estacional con tasas máximas que se dan durante la estación calurosa, cuando hay humedad abundante, mientras que en la estación fría dichas tasas podrían ser casi cero. El agua que se almacena en el suelo y sus relaciones con las propiedades físicas del mismo (textura, estructura, densidad aparente y porosidad) es uno de los factores predominantes en la distribución de las comunidades vegetales y, por lo tanto, debe tenerse muy presente para el manejo de cuencas hidrográficas. Se dice también que los bosques maduros tienen mayor transpiración debido a que cuentan con grandes áreas de hojas y grandes sistemas de raíces (Stadmüller, 1994; UNESCO/CIFCA, 1980; DGC/AID, 1990).

Es importante destacar, y admitir que los bosques forman naturalmente, y de manera rápida y con menores esfuerzos, que con el manejo que realizaría el hombre, calidades deseables de suelo con el sólo hecho de permitir que la vegetación establezca sus condiciones convenientes en la superficie. Por ello cualquier alteración de la cobertura forestal ya sea por una simple extracción de productos no comerciales o hasta la conversión total de éste, traerá como consecuencia un cambio drástico en los procesos antes mencionados, es decir, que dependiendo de cada tipo de intervención inicial, ésta tendrá su propio impacto en el ciclo hidrológico existente lo cual tendrá sus efectos en la calidad y la cantidad de agua disponible en un tiempo y lugar determinados. (DGC/AID, 1990).

La vegetación, en cierta forma, es el vestido de la tierra y de los suelos. Según su naturaleza (altura, estructura, densidad, disposición por estratos), influye en los elementos climáticos e hidrometeorológicos. Los bosques naturales tropicales y subtropicales representan una cobertura vegetal con propiedades muy especiales en cuanto a su interacción con estos elementos. Algunos de ellos tienen un contacto muy intensivo con la atmósfera, siendo éstas las coberturas más activas en los procesos meteorológicos e influyen sobre el microclima (Stadmüller, 1994).

A continuación se presenta una clasificación de los bosques de acuerdo a si éstos son o no influenciados por neblinas.

**2.1.1.1 Bosques influenciados por neblinas.** Los bosques nublados, nubosos o de niebla son aquellos ecosistemas forestales que se hallan en contacto casi permanente con la nubosidad atmosférica. La denominación de bosques nublados no se considera un término científico y tampoco corresponde a un ecosistema específico. Representa, más bien, una variada combinación de diversos factores climáticos y vegetativos (Brown y Vallejo, 1996). Sin embargo, como menciona Stadtmüller (1987), dicho término es muy usado en la literatura científica, el cual reconoce la fuerte influencia que tienen las nubes o neblina sobre el bosque y el ecosistema en sí, sus relaciones, propiedades y caracteres ecológicos.

- **Definición y distribución del bosque nuboso.** Como lo define Stadtmüller (1986), “los bosques nubosos son todos los bosques del trópico y subtropico húmedo que frecuentemente están cubiertos por nubes o neblinas, recibiendo así adicionalmente a la lluvia, una cantidad de humedad por medio de captación y/o condensación de pequeñas gotitas de agua (precipitación horizontal). El impacto de la niebla influye de manera sustancial en el régimen hídrico y en el balance de radiación, como también en los demás parámetros climáticos, edáficos y ecológicos”. Tales bosques son lugares que se caracterizan por tener una nubosidad permanente o frecuente a nivel de la vegetación, así mismo “las nubes envolventes o guiadas por el viento influyen en la interacción atmosférica por reducción en la radiación solar y el déficit de vapor, aumentan la humedad del dosel y generalmente suprimen la evapotranspiración” (Hamilton, 1993).
- La distribución geográfica de los bosques nubosos se determina por factores climáticos y geográficos, tales como: topografía, dirección y velocidad de los vientos, humedad y otros procesos que afectan la formación de nubes (lo que es la condensación del agua a cierto nivel debido a la subida adiabática del aire húmedo) y precipitación (Brown, M.; Vallejo, A. 1996).

La cantidad, distribución y calidad de la precipitación horizontal en relación a la lluvia puede variar fuertemente (Stadmüller, 1987). Dichos bosques se caracterizan por tener una gran riqueza de plantas epífitas (musgos e Himenofiláceas). Por lo general se acepta que tales ecosistemas, presentan endemismo de flora y fauna dependiente de la presencia de la nubosidad, frecuencia y regularidad de la misma. No obstante, hay que tener presente que en muchos casos los bosques nublados no se

hallan en lugares donde la incidencia de nubes y neblina ocurre en combinación con fuertes lluvias orográficas. En algunas zonas áridas costaneras del Perú y Chile, por la presencia de la corriente de Humboldt ocurren a menudo neblinas altas y nubes adventicias de tipo stratus lo que produce un fenómeno llamado “garúa” (Eidt, 1968; citado por Stadmüller, 1987).

Kenfoot (1968; citado por Stadmüller, 1987) indica que en las zonas montañosas del trópico, en donde las masas de aire cargadas con humedad se mueven contra las montañas, la presencia de nubes y neblina puede ser uno de los factores ecológicos más importantes que incide en la distribución de estos bosques. Por ello se dice que existe una gran influencia de clima y orografía sobre la distribución de tales sistemas. Según Stadmüller (1987), los límites del piso altitudinal en que se presenta la ocurrencia de bosques nublados en el trópico, de acuerdo con la latitud, varía para el límite inferior entre 1500 y 2500 msnm y el piso superior entre 2400 y 3300 msnm. Se da, entonces, un rango de aproximadamente 800 a 1000 m que casi no varía con la latitud. La anterior es una escala muy general y sólo puede proporcionar una imagen aproximada a nivel mundial, pero como se mencionó anteriormente existen otros factores que permiten la formación de estos bosques aún a elevaciones inferiores a los 1000 m. Por ello no puede, precisarse límites altitudinales para los bosques nublados que sean válidos para todo el trópico y subtrópico húmedo.

Actualmente, a nivel mundial, sólo existen unos 500,000 Km<sup>2</sup> de bosques nublados en el trópico húmedo (Stadmüller, 1987). En el caso de Honduras, según Mejía y Hawkins (1993; citado por Brown y Vallejo, 1996), se han declarado 31 reservas montañosas que contienen bosques nubosos, lo que representa un 3,6% del territorio nacional.

- **Características hidrológicas de los bosques nubosos.** Se consideran que son tres las características hidrológicas que hacen a los bosques nubosos muy importantes para la regulación de agua y caudal de una cuenca. Primero, éstos funcionan como barreras vivas a la circulación aérea de las nubes, siendo los árboles y otro tipo de vegetación los encargados de captar la neblina que puede ser precipitación horizontal, la que agrega cantidades significativas de agua al ciclo hidrológico. Segundo, la nubosidad frecuentemente causa baja evapotranspiración, pues las corrientes de aire húmedo pueden bloquear la transpiración al depositar permanentemente gotitas de agua sobre las hojas. Tercero, muchos científicos creen que los bosques nubosos juegan un papel muy importante en el abastecimiento agua durante épocas secas (Stadmüller y Agudelo, 1990; Zadroga, 1981; Hamilton con King, 1983).

Para conocer mejor a que se refiere al hablar de neblinas varios autores han definido aquella como la condensación de la humedad contenida en el aire cercano a la superficie terrestre. Sin embargo, Cáceres (1981; citado por Stadmüller, 1987) considera que en las cumbres de las montañas cualquier clase de nube puede existir sobre la superficie del suelo y, por lo tanto, se le llama también neblina. Ahora bien, para efectos de uniformidad en los sistemas de información, la neblina se define como una nube que cubre al observador y reduce su visibilidad horizontal a un kilómetro y

si, en condiciones similares, la visibilidad excede de un kilómetro, entonces, se denomina llovizna. Los principales procesos físicos que provocan la saturación necesaria para la formación de neblinas son la evaporación y el descenso de la temperatura (Stadmüller, 1987).

Existe otro fenómeno de importancia microclimática que ha llamado la atención de varios autores y es la presencia de estructuras xeromórficas dentro de los bosques nublados. La presencia de tales estructuras constituyen mecanismos de protección de las superficies de las plantas contra impactos de la precipitación horizontal, la cual tiene propiedades químicas diferentes a la lluvia normal, ya que tiende a ser mucho más ácida (Stadmüller, 1987).

### **2.1.2 Bosques no influenciados por neblinas**

Al hablar de este tipo de bosques se hace referencia a aquellos ecosistemas forestales que no están frecuente o permanentemente influenciados por nubes o neblinas. Por lo tanto, las características fisiológicas y morfológicas de los árboles que conforman estas masas deberán ser diferentes a las que presentan los individuos de bosques nublados. Los bosques no nublados aunque cumplen numerosas funciones ecológicas no intervienen en el proceso de captación de agua a través de lluvia horizontal. Dentro de este tipo de bosques se pueden diferenciar los bosques de tierras bajas y los bosques de altitud media; aunque no existe un acuerdo concreto sobre la clasificación de este tipo de bosques.

Debido a la clasificación general de ecosistemas no hay un consenso general para que se de una diferenciación de bosques con y sin influencias de neblina. Por ello se cree que lo más aproximado sería utilizar el criterio de altura, pudiéndose clasificar como bosques de llanura a elevaciones inferiores a 400 m, aparte del efecto de elevación de masa (caracteres fisiológicos, florísticos y estructurales). En general hacia los 1000 m el bosque de llanura pierde sus características para transformarse en un bosque de montaña.

A nivel macro se considera que los bosques de tierras bajas están de ubicados a menos de 1000 msnm. Con propósito del presente estudio y de acuerdo al modelo de clasificación de zonas de vida de Holdridge, se considera como pisos basales a aquellos enclavados a elevaciones inferiores a los 1000 msnm, tanto para la región tropical como subtropical. Dentro de este amplio cordón fitogeográfico están los bosques de la Cuenca Amazónica. Tales bosques presentan una característica peculiar de que a pesar de no estar influenciados por neblinas, tienen una gran cantidad de precipitación. En este caso los bosques si influyen en el monto o distribución bruta. Ahora bien, los bosques amazónicos están todos localizados en tierras bajas y no están influenciados por neblinas. Sin embargo debido a la magnitud de la masa forestal está demostrado que influyen de manera significativa en el monto e precipitación, pues existe cierto reciclaje de humedad a través de procesos de evapotranspiración, condensación y precipitación en la misma región a nivel de gran escala (Stadmüller, 1987).

En términos generales los bosques de altitud media se extienden desde más o menos los 1000 m de altitud hasta los 1500 ó 2000 m. La diferenciación de este tipo de bosque depende para cada territorio de su ubicación hemisférica. Algunos tipos de bosques de altitud media están influenciados temporalmente por neblinas. Por tanto su contribución a los procesos de lluvia horizontal es muy reducida.

### **2.1.3 Efectos hidrológicos de la deforestación.**

La precipitación bruta se define como aquella cantidad de agua que llega a la parte superior de la vegetación. A la fecha existen algunos mitos acerca del efecto de los bosques y la precipitación, pues las cuencas cubiertas con bosque tienen una más baja producción hídrica que aquellas cubiertas por rastrojo o pastizales. En el caso de las cuencas forestales debe esperarse una mejor regulación del flujo de agua. Así, entonces, algunos estudios demuestran que la cantidad de agua en las corrientes está inversamente relacionada con el nivel de cobertura vegetal. Existe una relación muy consistente entre la deforestación y el aumento de la escorrentía, al igual que entre reforestación y disminución de la escorrentía. Por ello con la reducción de la cobertura boscosa se espera un aumento en la cantidad de agua. Pero en bosques decíduos la reducción de un 20% de su cobertura podría incrementar la cantidad de agua en 50mm (y viceversa), lo que podría ser explicado por las reducciones en la evapotranspiración y la infiltración (Bosch y Hewlett, 1982; citado por Stadmüller, 1994).

En el caso de los bosques nubosos, que son hidrológicamente distintos a otros tipos de bosque, no se han hecho muchas investigaciones para examinar los efectos de la deforestación en el escurrimiento. Pero puede inferirse que la deforestación causará no sólo una disminución en la producción hídrica anual, específicamente por la pérdida de precipitación horizontal, reduciéndose el caudal en la época seca.

## **2.2 TÉCNICAS PARA CUANTIFICAR LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

Existen diversas maneras de cuantificar la producción de agua que produce una cuenca hidrográfica. A continuación se presentarán algunas de las técnicas más utilizadas.

### **2.2.1 Determinación de la precipitación media sobre una cuenca**

Para cuantificar la lámina de agua caída sobre una cuenca en un período de tiempo determinado, se puede utilizar uno de los siguientes procedimientos:

**2.2.1.1 Media aritmética de registros puntuales.** Dicho método consiste en calcular la media aritmética de las alturas de las precipitaciones registradas en las diversas estaciones que existen en la cuenca, en un período de tiempo dado. Dicho método se considera el más simple y sencillo y presenta el inconveniente de dar mucha importancia a aquellos valores extremos si no hay un número adecuado de puntos de observación en

la cuenca. “Este método es adecuado si la variación entre estaciones es relativamente pequeña (del orden de 25 a 50 %) y cuando la localización es relativamente uniforme” (López,F; Blanco,M, 1976). Por ello, esta técnica no es muy utilizada, y actualmente, salvo si se basa en un elevado número de observaciones.

**2.2.1.2 Método de los polígonos de Thiessen.** El criterio en que se fundamenta este método es el siguiente: “asignar a cada punto de la cuenca la precipitación registrada en el pluviómetro más cercano. Para ello se fijan en un plano de la cuenca las diversas estaciones de que se disponga. Se unen mediante rectas las estaciones adyacentes y en el punto medio de cada segmento rectilíneo se traza la mediatriz correspondiente. La intersección de estas mediatrices definen un conjunto de polígonos. A cada polígono se le asigna la precipitación correspondiente a la estación que está en su interior. Si las áreas de dichos polígonos son: S1, S2, S3,.....Sn y sus precipitaciones respectivas P1, P2, .....Pn, la precipitación media sobre la cuenca se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = \frac{S_1 P_1}{S} + \frac{S_2 P_2}{S} \dots \frac{S_n P_n}{S}$$

Siendo S el área total de la cuenca” (López,F; Blanco,M, 1976).

**2.2.1.3 Método de las isoyetas.** Se dice que este método es el más racional y el que da mejores resultados, aunque tiene el inconveniente de ser más engorroso de aplicación que los anteriores.

El método consiste en “dibujar el plano de isoyetas, luego se calcula el área comprendida entre cada dos isolíneas admitiendo que la precipitación sobre esta superficie elemental es la media aritmética de las precipitaciones correspondiente a las dos isoyetas que la delimitan. Para el dibujo del plano se utilizan escalas 1:25,000, 1:50,000, 1:200,000 y 1:500,000 para las siguientes superficies de cuencas: S<500Km<sup>2</sup>, 500<S<1000, 1000<S<5000, 5000<S<10000 y S>10000.

El intervalo aconsejable entre isoyetas depende del período de tiempo a considerar. Las isoyetas anuales se suelen dibujar de 100 en 100 mm. En zonas altas, de precipitaciones elevadas, puede duplicarse este intervalo y en zonas de precipitaciones bajas reducirse a la mitad. Para isoyetas mensuales se utilizan intervalos de 10mm, aunque en los meses de sequía se utiliza normalmente un intervalo mitad e incluso mas pequeño. Para isoyetas diarias suele utilizarse un intervalo de 10 mm.

Para trazar las isoyetas, se divide el área en dos partes, una con valores inferiores a la media y otra con valores superiores. A partir de ellas se encajan las isolíneas siguiendo una técnica análoga a las curvas de nivel, pero teniendo en cuenta fundamentalmente el relieve, orientación de las laderas, red fluvial, entre otros (López,F; Blanco,M, 1976).

## 2.2.2 Determinación de caudales

Para realizar la medición de caudales en una cuenca hidrográfica se pueden utilizar métodos directos si se dan procesos de escorrentía superficial y si ocurren procesos de infiltración se puede cuantificar a través de métodos indirectos.

**2.2.2.1 Métodos directos:-** Mediciones Volumétricas. Es la medición de un volumen determinado usando un recipiente calibrado y un cronómetro para ver cuánto tiempo lleva llenar dicho recipiente, o bien ver la lámina de agua que se logra llenar en un tiempo determinado. El flujo en litros por segundo se determina dividiendo la cantidad de agua depositada en el recipiente entre el tiempo en segundos que demoró el recipiente para llenarse.

- Vertedor. Es uno de los dispositivos más sencillos para medir el flujo de agua en canales de riego, presas y quebradas. Consiste de una compuerta de aforo llamada vertedor. “El vertedor es un dispositivo que se puede construir de cualquier material y se coloca transversalmente a la dirección de la corriente de la acequia o canal y hace las veces de muro de contención con una abertura de dimensiones específicas. Se realiza un corte en la parte superior el cual puede ser si forma rectangular, de trapecio, o en forma de “V” que forme un ángulo de 90° con el suelo” (Zamorano. Ingeniería Agrícola, 1997)

Éstos dispositivos son fáciles de construir e instalar y se pueden utilizar distintos materiales como: madera, concreto, etc. Para realizar las mediciones de flujo a través del vertedor se utilizarán ecuaciones y tablas. El procedimiento se basa en una sola medida: la elevación del nivel del agua sobre el borde superior del vertedor.

Según el tipo de corte que se tenga en el borde superior se tienen diversas formas de cálculo de caudales:

$$\begin{aligned} \text{Vertedero Triangular} & : Q = 1.38 (H)^{2.5} \\ \text{Vertedero Rectangular} & : Q = 1.84 (H)^{1.5} \\ \text{Vertedero Trapezoidal} & : Q = 1.86 (L)^{1.5} \end{aligned}$$

Donde:

Q = Caudal en m<sup>3</sup> / seg.

H = Altura de agua medida sobre el borde superior en m

L = Longitud del borde superior en m

- Area por Velocidad. Es la técnica más usada ya que se puede aplicar en canales y ríos de forma regular. Dicho método consiste en “medir la velocidad de la corriente y el área transversal de una sección representativa del canal o río. Una vez investigados estos datos, se multiplican y obtiene, el caudal de la corriente en unidades cúbicas sobre tiempo, o sea, volumen sobre tiempo” (Zamorano. Ingeniería Agrícola, 1997).

Existen diversas maneras e instrumentos para medir la velocidad de una corriente. La forma más sencilla, siempre y cuando se pueda utilizar, es medir una distancia determinada de la corriente y luego marcar el inicio y el fin de la misma; luego se arroja un material flotante (corcho, pedazos de madera, tallos, etc.) o algún agente químico y se determina el tiempo que tarda dicho material en recorrer la distancia. Al hablar de agentes químicos se refiere a aquellos “materiales que se puedan medir fácilmente y que no estén presente en la corriente y que, además, no se pierda por acción química al combinarse con otros materiales en la misma”(Linsley; Kohler; Paulus, 1975: citado por CCT, 1992).

Para estimar el caudal se emplean el siguiente modelo:

$$Q = (D/T) (W) (H)$$

Donde:

**Q = Distancia que recorre el flotador**

W= Ancho promedio del canal

H = Altura promedio de la lámina de agua que pasa por el canal.

T = Tiempo que tarda al flotador en recorrer la distancia “D”

Un instrumento de empleo corriente para la medición de velocidad de corriente a diferentes profundidades es el molinete o escorrentímetro. Por medio de esta aparato se obtienen datos más representativos de la velocidad promedio de la sección pues “generalmente la velocidad de la corriente de agua superficial es mayor que abajo y se podría sobre estimar el caudal” (Zamorano. Ingeniería Agrícola, 1997).

La precisión del molinete depende del número de secciones transversales que contenga. Dicho instrumento emplea como elemento de rotación una hélice que gira alrededor de un eje horizontal. Los contactos eléctricos accionados por las copas cierran un circuito entre la batería y el alambre eléctrico del cable que soporta el instrumento, produciéndose un “click” por cada vuelta; este sonido es transmitido por unos audífonos que dispone el operador. La fórmula para calcular el caudal obedece a la forma:

$$Q = 3 (a*v)$$

Donde:

Q = Caudal en m<sup>3</sup> / seg.

A = sub-área m<sup>2</sup>

v = velocidad en la sub-área m/seg

Para definir el número de subáreas se tiene que tomar en cuenta que no más del 10% del caudal total pase por la subárea. Si se hace una medición de la velocidad se tiene que considerar la profundidad del río en esa subárea. Si la profundidad está entre 0.1 a 0.1 m se debe medir la velocidad a 0.6m de la profundidad del río, en cambio, si es mayor a 0.75 m las condiciones se realizan a 0.2 y 0.8 de la profundidad.

- Descarga Estimada por Fórmula. Manning-Chezy proponen la siguiente fórmula para estimar la descarga de una corriente:

$$Q = 1/n A r^{2/3} s^{1/2}$$

Donde:

Q = Descarga en m<sup>3</sup>/seg.

A = Area de la sección transversal en m<sup>2</sup>

R = Radio hidráulico en m

S = Gradiente de la pendiente de la superficie del agua

N = Coeficiente de rugosidad del cauce

#### **2.2.2.2 Métodos indirectos.**

Para utilizar esta técnica es necesario, disponer de mapas ecológicos de zonas de vida, vegetación, de sucesión además de realizar mediciones directas de la vegetación. Con ello se determinan los valores de evapotranspiración real y a partir de ellos los caudales.

Dicha técnica es poco conocida pero si muy aplicada, fue desarrollada por el Centro Científico Tropical

#### **2.2.3 Procesos que pueden ocurrir con la cantidad de agua que cae dentro de la cuenca**

La cantidad de agua que se deposita en una cuenca puede tomar los siguientes caminos:

**2.2.3.1 Infiltrarse y sostener procesos ecológicos de ecosistemas.** Es un hecho evidente que de la precipitación que alcanza el suelo una parte se infiltra y otra moviéndose por la superficie del terreno se integra en la red hidrográfica. La fracción que se infiltra se mueve en profundidad a través del suelo y subsuelo y ocupa eventualmente una de las zonas del perfil del mismo. La parte más superficial corresponde al suelo propiamente dicho. En esta zona una fracción de la precipitación queda retenida y por evapotranspiración vuelve a la atmósfera; otra fracción se mueve en profundidad por acción de la gravedad y al escapar a los procesos de evaporación alcanza la capa freática y se incorpora a las corrientes subterráneas. Inmediatamente por encima de la capa freática está la franja capilar, zona en la cual las aguas están prácticamente retenidas merced a la capilaridad. Y entre esta y el suelo se halla la zona intermedia, en la que las aguas se mueven normalmente en profundidad (López,F. Blanco,M. 1976).

La fracción que se incorpora a las corrientes subterráneas tiene extraordinaria importancia en la economía del agua. Primero, porque debido a su calidad puede ser explotada de manera directa por el hombre y, segundo, porque una parte más o menos importante del caudal de los ríos procede de corrientes subterráneas que lentamente van a parar a los mismos, bien en su nacimiento o durante su curso (López,F. Blanco,M.1976).

- **Factores que rigen la infiltración.** La cantidad de agua que se infiltra depende de los siguientes factores (López,F. Blanco,M.1976):

- Características de la precipitación.

Sí la intensidad de la precipitación es inferior a la capacidad de infiltración, todo el agua que cae se introduce en el suelo. En este supuesto la precipitación es un factor limitante de la infiltración y ésta será tanto más grande cuanto mayor sea la intensidad de la lluvia.

Otras características de la precipitación referentes a un período anual son su volumen y Distribución, pues repercuten en las variaciones del contenido de humedad del suelo, afectan a la estructura de éste y pueden favorecer o perjudicar la presencia y actividad de animales en su interior.

- Estado de la superficie del suelo

Al ser la infiltración el paso de agua a través de la superficie del suelo, el estado de éste ejercerá una influencia preponderante hasta el punto de ser, en muchos casos, un factor limitante.

El grado de compactación de la superficie del suelo es una de las circunstancias que repercutirá notablemente en la infiltración. Contribuyen a la compactación las gotas de lluvia cuando caen en suelo desprovisto de vegetación. Producen, igualmente, compactación el pisoteo del ganado o el movimiento de la maquinaria utilizada en las explotaciones agrarias.

Se reduce también la infiltración por el taponamiento de los poros de la capa superior del suelo con pequeñas partículas de tierra. Estas abundan en la superficie del suelo y cuando no existe vegetación éstas son transportadas en suspensión por las aguas, detenidas en la capa superior del suelo al producirse la infiltración. El impacto de las gotas de lluvia favorece este efecto, ya que al disgregar partículas de tierra y dar origen a otras más pequeñas, éstas cerrarán los pequeños espacios por donde el agua no podrá penetrar.

La pérdida de humedad es en las capas superficiales del suelo, por evapotranspiración particularmente en suelos arcillosos, origina contracciones en el terreno que dan como resultado la aparición de grietas. La presencia de éstas hace que la capacidad de infiltración sea muy elevada en los primeros momentos de producirse nuevas precipitaciones. Si el suelo está desnudo, las grietas se cierran tan pronto como la tierra se ha humedecido, pero si está cubierto con vegetación y se ha secado como consecuencia de un doble proceso de evaporación, es posible que las grietas no se cierren hasta después de un cierto tiempo de haberse iniciado la lluvia.

La pendiente es otro factor que afecta la infiltración, pues mientras más acentuada sea, menor tiempo permanece el agua sobre la superficie y, por consiguiente, es menor el tiempo de que se dispone para infiltrarse. En igualdad de otras circunstancias, la infiltración es máxima en zonas llanas o en aquellos otros sitios donde el agua se llega a estancar.

- **Cubierta vegetal**

La implantación de vegetación en un suelo desnudo o con escasa cobertura incrementa la infiltración. En mayor o menor grado, y de manera general, los efectos de la cubierta vegetal son: disminuye la velocidad de las aguas al escurrir por la superficie, reduce e incluso elimina el impacto de las gotas de lluvia, evitando así la compactación del suelo; el desarrollo de un sistema radical, se incrementa la permeabilidad de los horizontes del suelo, facilitando el movimiento en profundidad del agua.

- **Facilidad de movimiento del agua en el interior del suelo. Permeabilidad y contenido de humedad.**

La infiltración suele estar condicionada por la mayor o menor facilidad con que el agua desciende o se transmite a través del perfil del suelo. En general la capacidad de transmisión es variable para los distintos horizontes del perfil, lo que da lugar a que una vez alcanzada la saturación, el descenso del agua esté regido exclusivamente por el horizonte de más baja transmisibilidad.

Los factores fundamentales que intervienen en la transmisión son la permeabilidad y el contenido de humedad del suelo. La permeabilidad está definida por los poros grandes a través de los cuales el agua puede moverse por la acción de la gravedad. La distribución de esos grandes poros así como su estabilidad ante el agua hacen que el suelo sea más o menos permeable.

Al incrementarse el contenido de humedad, se reduce el espacio de que dispone el suelo para almacenar agua, y si la permeabilidad es baja, una vez que se llegue a la saturación la infiltración será muy pequeña.

Cuando las gotas comienzan a humedecer el suelo seco, se originan fuerzas capilares cuya succión hace descender el agua con mayor intensidad, quizás, que la acción de la gravedad. En suelos coloidales la presencia de agua origina hinchazón de los coloides y consecuentemente, una reducción de los grandes poros.

**2.2.3.2 Fluir o escurrir.** “Por escorrentía se entiende “la parte de la precipitación que llega o alimenta a las corrientes superficiales, continuas o intermitentes, de una cuenca” (López,F. Blanco,M.1976) La escorrentía puede ser de diferentes maneras:

- **Escorrentía superficial o directa :** aquella precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por acción de la gravedad. Es decir, no queda retenida en las depresiones del suelo y escapa, por lo tanto, al proceso de evapotranspiración.

- **Escorrentía hipodérmica o superficial:** es el agua de precipitación que habiéndose infiltrado en el suelo se mueve lateralmente por los horizontes superiores para reaparecer, de pronto, al aire libre e incorporarse a microsurdos superficiales que la conducirán a la red de drenaje.
- **Escorrentía subterránea:** precipitación que se infiltra hasta alcanzar la capa freática, circulando a través de acuíferos hasta alcanzar la red de drenaje. Así como la escorrentía superficial se mueve con cierta rapidez, la velocidad del agua subterránea suele ser muy pequeña, del orden del metro por hora.

Además de estas tres formas de escorrentía, el agua que fluye en un curso de agua está también constituida por la precipitación que cae directamente sobre su superficie de nivel, fracción que en la mayor parte de los casos reviste importancia muy escasa en relación con las otras aportaciones.

- **Ciclo de la escorrentía.** El ciclo de la escorrentía que se considerará cuatro fases en correlación con el ritmo de las precipitaciones (López, F. Blanco, M. 1976).

Primera fase: período sin precipitaciones. Luego de un período sin precipitaciones la evaporación tiende a agotar la humedad existente en las capas superficiales y a extraer agua de las subterráneas a través de la franja capilar. Las aguas subterráneas alimentan a las corrientes superficiales descendiendo progresivamente y el nivel piezométrico.

Segunda fase: iniciación de la precipitación. La evapotranspiración cesa. Las aguas meteoríticas son interceptadas por la vegetación, las superficies de agua libre los cursos de agua y el suelo. En este se infiltra una cantidad importante de agua que abastece su capacidad de almacenamiento; el excedente se mueve superficialmente en forma de escorrentía directa que alimenta débilmente los cursos de agua. Continúan las aportaciones de las corrientes subterráneas a los cursos superficiales no interrumpiéndose el descenso de los niveles piezométricos de la capa freática.

Tercera fase: precipitación máxima. Después de una cierta duración de la precipitación, la cubierta vegetal apenas intercepta el agua y prácticamente la totalidad de la precipitación alcanza el suelo. Las capas superficiales del suelo están saturadas, parte de las precipitaciones se infiltran, alimentando a la escorrentía hipodérmica y a los acuíferos originándose en éstos una elevación del nivel piezométrico. La precipitación que no se infiltra origina la escorrentía superficial que en esta fase alcanza su valor máximo. La escorrentía subterránea aumenta ligeramente. La escorrentía total, suma de las escorrentías de superficie, hipodérmica y subterránea, alcanza igualmente su valor

máximo, apareciendo las crecidas. Durante esta fase puede ocurrir que en determinadas zonas se produzca una alimentación de los cursos de agua a las corrientes subterráneas, es decir, un proceso contrario a lo que normalmente ocurre. Esta fase sólo tiene existencia si la intensidad del aguacero alcanza cierto valor.

Cuarta fase: posterior a la precipitación. La lluvia cesa. La escorrentía de superficie desaparece rápidamente y tanto el suelo como el subsuelo están saturados. Continúa la infiltración de agua que está estancada en depresiones superficiales alimentando a la humedad del suelo, a la escorrentía hipodérmica y a las aguas subterráneas. Aparecen de nuevo los procesos de evapotranspiración. Los cursos de agua alimentados únicamente por las escorrentía hipodérmica y subterránea entran en régimen de decrecida. Se normaliza la alimentación de acuíferos a los cursos de agua, desapareciendo las posibles inversiones de la fase anterior.

### **2.3. SISTEMAS DE VALORACIÓN ECONÓMICA DE RECURSOS NATURALES A NIVEL DE CUENCAS**

El valor real de los recursos naturales de una cuenca se obtiene haciendo una estimación del valor integral de todos los recursos. Con las técnicas actualmente disponibles se dificulta mucho; por ello se procede a realizar una valoración parcial.

Siendo a escala mundial el agua, uno de los problemas más importantes, se dice que “por cuenta de los conflictos políticos entre naciones vecinas y a causa de una administración absurda de los recursos hidrológicos, la carencia de agua será uno de los mayores problemas del siglo 21” (The Economist, 1995). La importancia económica del agua radica fundamentalmente en que éste es un insumo de gran escasez, para la producción de otros bienes. Por ello es conveniente determinar los beneficios de incrementar su calidad, cantidad y considerar a las cuencas forestales como una fuente importante de oferta. A pesar de esto se han realizado pocas investigaciones sobre valoración para determinar el valor socioeconómico de estas áreas. Es, por lo tanto, necesario tener siempre presente en la evaluación de proyectos de manejo, sistemas de valoración y unificar perspectivas interdisciplinarias para combinar así el análisis socioeconómico de los costos y beneficios asociados a estos cambios (Serrano, 1990).

Según varios especialistas, la salvación sería que este recurso natural universal ocupe el lugar que le corresponde como producto comerciable y con valor económico (The Economist, 1995).

El método más comúnmente usado en la valoración de proyectos de manejo de cuencas es el análisis de costos y beneficios. Dicho enfoque se basa en el supuesto de cuanto se estaría dispuesto a pagar por un artículo o un bien económico. Por ello se dice que la medida o bien económico óptimo es aquel que produce el mayor beneficio. La medida de estos costos y beneficios es una tarea compleja, así pues “la mayor parte de las investigaciones en esta área se han enfocado en los beneficios dentro y fuera del sitio de la conservación del suelo y no así en cambio originados en la producción o régimen hídricos” (Brown y Vallejo, 1996). La valoración puede ayudar no solamente a estimar el verdadero valor económico, social y cultural de los proyectos de conservación y manejo sino que trata problemas como costos locales o la necesidad de compensar otros para promover un manejo sostenible de los recursos naturales (Serrano, 1990).

### **2.3.1 Valor económico de algunos recursos naturales**

El valor económico total es un concepto de gran importancia para valorar los beneficios originados por la preservación y el mejoramiento ambiental. El valor económico total de un impacto ambiental está definido por dos aspectos: el valor de uso y el valor intrínseco (SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE ECONOMÍA AMBIENTAL, 1993).

El valor de uso se define como el valor de aquellos bienes ecológicos que influyen directamente en la economía humana y se refiere tanto a beneficios actuales como futuros. Estos valores incluyen el valor de consumo de los recursos como el agua, que implica una disminución del recurso a medida que se consume y el valor de no consumo como, por ejemplo, el uso de una vía navegable, y es el valor de aquellos bienes ecológicos que a pesar de ser aprovechados no disminuyen su disponibilidad (SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE ECONOMÍA AMBIENTAL, 1993).

### **2.3.2 Valoración del Recurso Boscoso**

Para valorar los recursos naturales es importante tomar en cuenta el concepto de renta económica, que es el retorno a cualquier insumo de producción sobre la cantidad mínima requerida para mantenerlo en el uso actual. Para masas boscosas, la renta forestal es la diferencia entre los ingresos por venta y los costos de manejo y explotación del bosque en el cual el propietario continúa dando un uso forestal a su suelo. En general puede decirse que las rentas generadas de cualquier recurso natural dependen de su escasez, la demanda que haya en el mercado, de los costos fijos y de operación.

Según el Centro Científico Tropical - CCT (1992), existen al menos tres opciones relevantes para la valoración de la pérdida del recurso forestal y considera: el valor de la madera en pie, el valor del sistema para producir madera en forma sostenible y el valor de reemplazo o costo de reposición del bosque.

En el caso de un bosque que contiene especies de valor económico la conversión del mismo a plantaciones involucra la destrucción del capital vuelo y, en alguna medida también, una cierta degradación del capital suelo. En tal caso, el costo de establecimiento de plantaciones debería incluir el valor del capital vuelo que se destruye, el cual constituye un "costo de oportunidad". Este costo debería ser capitalizado a la edad de rotación de la plantación y agregado al monto capitalizado del costo de establecimiento.

Si se tiene una plantación, el alto costo inicial se toma adecuadamente en cuenta prediciendo una edad de rotación que corresponde a la mitad de la estimada para la regeneración natural. Es necesario tener en cuenta que las comparaciones entre las plantaciones y el bosque natural, en cuanto a futuro, sólo son válidas si se basan en condiciones relativamente iguales. Debe hacerse un esfuerzo por computar el rendimiento intermedio del bosque natural tratado, el cual corresponde a aquel obtenido a la edad de rotación de la plantación. Los costos de las dos alternativas deben ser capitalizados a una fecha común a efectos de comparación. (Agudelo, 1997).

**2.3.2.1 Valor de la madera en pie.** La madera en pie es una materia prima potencial ya que si tiene valor es porque se puede transformar en productos terminados o semiterminados que se vende con utilidades. De acuerdo con el CCT (1992), el valor en pie o tronconaje de un árbol (VMP) es entonces el valor remanente de la madera en pie después de descontar del precio final los costos de apeo, aserradero y extracción del bosque, incluyendo un margen de utilidades de cada uno de los procesos intermedios. Para determinar el VMP se utiliza la fórmula:

$$\text{VMP} = \text{PMA} - (1 + y) * (\text{CAP} + \text{CT} + \text{CA})$$

Donde:

PMA = precio de la madera en el mercado.

y = margen de utilidad en las etapas del proceso productivo.

CAP = Costo de aprovechamiento

CT = Costos de transporte

CA = Costos de aserrío

Todos los valores se expresan por m<sup>3</sup> equivalente en madera redonda o en rollo (EMR). La depreciación que se debe a la pérdida de un recurso natural es equivalente al cambio en el valor presente de todos los beneficios que rinde el recurso o, en otras palabras, al precio máximo que hubiera se hubiera pagado por el recurso en condiciones de un mercado perfecto (CCT, 1992).

**2.3.2.2 Valor del sistema sostenible para producir madera.** Si el bosque es manejado en forma sostenible es capaz de producir rentas por la venta de productos forestales indefinidamente. Es decir, el bosque no se agota con la intervención sino que se le aprovecha el crecimiento anual. La tasa y calidad del crecimiento depende del tipo de manejo que se proporciona a la masa forestal(CCT, 1992)..

El bosque tropical es en general irregular con individuos de todos los tamaños y edades. Generalmente la cosecha se concentra en individuos maduros y se dejan aquellos individuos que aún no han llegado a madurez. La forma correcta de intervenir un bosque irregular de acuerdo con el CCT, es cortar los individuos maduros teniendo como base cierto diámetro y dejar el resto del bosque como capital de crecimiento. Dicho capital de crecimiento aumenta su volumen a una tasa anual (incremento medio anual, IMA) que depende del tipo de bosque y de la calidad de sitio. En este tipo de manejo se trata de reducir aquellas especies no cotizadas y aquellos individuos que entorpecen el crecimiento (bejucos, lianas, etc.) con el propósito de promover el crecimiento de las que tienen mayor valor en el mercado.

Si se parte de un bosque no intervenido se cortarían todos aquellos individuos mayores de 50 cm de diámetro en el año de la corta (CCT, 1992), con lo que se quiere decir que sólo se extraerán aquellas especies con valor comercial y se tendrán que llevar a cabo intervenciones silvícolas para liberar el crecimiento del bosque residual. Dicho bosque residual luego de un tiempo determinado recupera el volumen original para luego volver a cortarse, repitiéndose este patrón en forma indefinida.

Si se cosecha sólo el crecimiento, esto equivaldría al consumo de la renta generado por el capital. Dicha renta es igual al valor de la madera en pie, de la madera cortada y el valor del capital (CCT,1992). De ahí que para determinar del valor del activo boscoso se necesita del establecimiento del flujo de costos y beneficios que representa manejar el bosque en forma indefinida.

El valor del capital representado por un bosque irregular, que es manejado en forma sostenible, se puede determinar matemáticamente como un extensión de la fórmula de Faustmann, del valor potencial del suelo Gregory (1972, citado por CCT, 1992), la cual obedece a la forma:

$$V = \text{VolC} * \text{VMP}_1 + \frac{\text{IMA} * \text{cc} * \text{VMP}_2 - \sum C_j (1+y)^{(\text{cc}-j)}}{(1+i)^{(\text{cc}-1)}}$$

Donde:

VolC es el volumen de corta en el año 1 de la primera intervención.

VMP es el valor de la madera en pie (1) en el año de la corta de cada ciclo, considerando que las especies tienen valor de mercado. Por conveniencia se supone que VMP se mantiene constante en términos reales del segundo ciclo en adelante.

IMA es el crecimiento medio anual /ha/año bajo manejo intensivo.

cc : ciclo de corta en años.

y : es la tasa de interés

Cj : son los costos de manejo forestal del año j.

Con esta fórmula se supone que el ciclo empieza con una cosecha de madera y luego ésta se repite indefinidamente al cumplirse el tiempo de cada ciclo de corta. De esta manera se representa el valor potencial del bosque natural en términos de su capacidad de producir madera.

**2.3.2.3. Valor de los bosques secundarios.** Los bosques secundarios son aquellos que surgieron a raíz del abandono de áreas de ganadería y agricultura (CCT,1992). Estos se produjeron tanto por pérdida de la fertilidad del suelo, como por problemas de mercado de aquellos cultivos que se producían allí o de la ganadería allí establecida. Los volúmenes de madera obtenidos de un bosque secundario depende tanto del sitio como de la edad o del tiempo transcurrido desde el abandono del uso anterior. Es obvio que estas formaciones no pueden lograr en una rotación la recuperación del potencial de sitio, pues los crecimientos se verán afectados por las condiciones de degradación del suelo, cambios climáticos, pérdida de la biota original, nutrientes, así como de otros efectos negativos del uso anterior. La composición de este bosque es mucho más pobre y más homogéneo que el bosque anterior, careciendo de muchas especies de valiosas y de la variedad de edades entre las especies, tal como se encontraban en el bosque irregular original (CCT, 1992)

Por las razones antes mencionadas no posible dar valor al bosque secundario con el mismo criterio que al bosque primario, ya que se debe tener en cuenta que el bosque secundario está actualmente distribuido en pequeños lotes en fincas agrícolas y ganaderas y su producción está constituida principalmente por leña, postes, algo de madera para construcción y otros productos de menor valor, Herrera (1989; citado por CCT, 1992). Se considera además, que la gran mayoría de estos productos se consumen a nivel de finca y, por lo general, dada esa dispersión no hay altos costos de colocación del producto.

**2.3.2.4 Plantaciones forestales.** Como es sabido las plantaciones forestales están ganando día a día más y más terreno e importancia en los países. Sin embargo su crecimiento no compensa el avance de la frontera agrícola, deforestación, es decir presentan un tamaño no significativo. De hecho, en la mayoría de los países la superficie total reforestada no supera la deforestación que se da en un año, según lo indica el CCT (1992). Además, se menciona también que la tasa media anual de reforestación de los últimos años no supera la tasa media de formación de bosque secundario y desde el punto de vista de contabilidad nacional, las plantaciones en la mayoría de los casos están consideradas dentro de las cuentas de formación neta de capital, al igual que las mejoras agrícolas dentro del sector silvícola. Es decir el valor considerado es el costo de la reforestación.

### **2.3.3 Valorización del recurso suelo**

El potencial productivo de un suelo depende de sus condiciones climáticas, edáficas y topográficas, además de factores limitantes. Si se le da un uso al suelo que no supere su potencial, entonces la fertilidad se puede mantener indefinidamente. Por el contrario, si se le da un manejo inadecuado, es decir, si se sobrepasa su potencial entonces el valor productivo y económico del suelo disminuye en un proceso que puede llevar al abandono definitivo del lugar y, por ende, a la pérdida completa de su valor económico.

Según el CCT (1992), los efectos del mal manejo y la erosión se manifiestan de diferentes maneras:

- Pérdida de la productividad a través del tiempo, empleando la misma tecnología e intensidad en la utilización de insumos.
- Necesidad de aumentar la intensidad de uso de insumos con el objeto de mantener el nivel de la producción, por unidad de superficie.
- Cambio de uso del suelo a cultivos menos intensivos y poco productivos por pérdida de fertilidad.

Estos efectos se deben a la pérdida de nutrientes y al deterioro de las condiciones físicas del suelo. El deterioro de las condiciones edáficas constituye una depreciación de este recurso, la que ocurre de manera directa por la pérdida o reducción de la productividad e indirectamente por la pérdida de características físicas del suelo, debido principalmente a la erosión.

**2.3.3.1 La Ecuación Universal de Pérdidas de suelo.** Dicha ecuación es un modelo paramétrico que permite la evaluación de las pérdidas de suelo por erosión laminar y en surcos (USLE, Wischmeier y Smith, 1978; citado por CCT, 1992). El modelo es de la forma:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A = pérdida de suelo por unidad de superficie.

R = factor de erosividad de la lluvia

K = factor de erosionabilidad del suelo

L = factor de longitud de la pendiente

S = factor para el grado de la pendiente

C = factor de cultivo

P = factor de prácticas de conservación del suelo.

Dimencionalmente, A viene dado en ton/ha, cuando las unidades que se emplean para ponderar R, K y L son del sistema métrico decimal.

### **2.3.4 Valor Económico del Agua**

El asignar un valor económico a un recurso natural se torna difícil en la medida en que se tomen en cuenta que los recursos cumplen diversas funciones en el medio, que son difíciles de cuantificar o medir. Por ello se dice que hay un valor económico de un recurso cuando este es escaso y cuando los usuarios están dispuestos a pagar un precio por el (Serrano, 1993). De ahí que se dan las mediciones del recurso en términos de la contribución que tiene éste a objetivos determinados. En el caso particular del agua se pueden establecer varios objetivos relevantes, tales como: participación en el desarrollo económico nacional y/o regional, contribución en el mejoramiento de la calidad ambiental además de mejorar el bienestar social de la comunidad.

A la asignación de recursos se la denomina eficiencia económica, así que reasignación posterior podría proveer ganancias en producción o utilidad, sin que se den pérdidas simultáneas. Tales condiciones para esta asignación óptima se dan o son provistas por el mercado de competencia perfecta (Serrano, 1990). En el caso del productor, los precios representan o serían los valores o costos de oportunidad de aquellos recursos que se utilizaron en usos alternativos, siendo éstos precios los que guían o manejan las distintas decisiones de inversión. Por el lado del consumidor, los precios reflejan la valoración relativa de un bien o servicio dado para satisfacer las necesidades del consumidor. Por ello se dice que el significado del valor social de los recursos se ve también reflejado en el mercado de competencia perfecta.

Si se diera el caso de alteración o violación de los supuestos anteriores, entonces los precios se convertirán en una medida que estaría sin efecto del significado social. Por ello, es indispensable una ayuda para asignar los recursos lo más eficientemente posible. Dicha ayuda lo constituye el precio sombra, que es una estimación artificial del valor del recurso, es decir, es la preferencia del individuo o la disposición a pagar y refleja la disposición neta a pagar. Según Freeman (1987; citado por Serrano, 1990), la disposición a pagar es la pérdida de dinero que equivaldría a la ganancia asignada por el traslado

hacia una mejor alternativa.

Un segundo enfoque estaría basado en determinar la cantidad de dinero que el individuo está dispuesto a aceptar, como una alternativa de no recibir el ingreso proveniente de la implementación de la mejor alternativa. La disposición a aceptar sería la suma que causa la indiferencia del individuo ante esta segunda alternativa. Para estimar los beneficios de un servicio determinado es necesario generar o disponer de información, ya sea por medios directos o indirectos, acerca de la curva de demanda correspondiente al efecto de tal beneficio que se produciría por utilizar o percibir tal servicio. Si todos los bienes y servicios que se realizaran en un mercado de competencia perfecta, la determinación de curvas de demanda sería relativamente sencillo.

Worrell (1959; citado por Serrano, 1990) revela que existen ciertos bienes o servicios sin precios, los cuales no tienen valores monetarios, debido a que el sistema de precios no mide los deseos relativos de los individuos para consumirlos y la disposición a producirlos. Dichos bienes presentan un mercado extra, es decir, no son intercambiados en los mercados regulares con precios monetarios (Serrano, 1990), como es el caso del recurso agua. Cabe recalcar que a este tipo de costos o beneficios de una transacción de mercado por la que no se paga ni recibe algo a cambio, por parte de los involucrados en la transacción, se denomina externalidad (Muñoz, 1994)<sup>1</sup>. Existen diferentes tipos de métodos que pueden ser utilizados cuando se desea asignar valor económico a las externalidades, que el mercado no valora. A continuación se realizará un síntesis de los distintos métodos de valoración de recursos naturales, en el cuadro 1.

En el caso de la valoración del agua en una cuenca, se propone los siguientes cuatro métodos.<sup>2</sup>

### **2.3.5 Técnicas de Valoración del agua**

Existen numerosas técnicas para valorar el recurso hídrico, pero según Adamson (1998) las técnicas que se pueden adaptar mejor a las distintas condiciones y las más flexibles son las siguientes:

**2.3.5.1 Valor de sustitución del bosque por otros usos de la tierra.** Para ello es necesario tener el valor de la tierra más el valor neto de los productos. La misma de las dos cantidades sería el valor que tiene el agua. Esta forma es muy simple de valorar el recurso.

**2.3.5.2 Valor de mercado del bosque.** Para utilizar esta técnica se debe conocer la composición florística del bosque, es decir las especies que están presentes y las tasas de

---

<sup>1</sup> MUÑOZ N., R. 1994. Seminario/Taller Desarrollo humano sostenible: elaboración de proyectos de impacto ambiental, evaluación de riesgos y medidas de mitigación, análisis de costo-beneficio ambiental. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. 83 p. Documento inédito.

<sup>2</sup> ADAMSON B., M. 1988. Técnicas de valoración de agua en zonas de recarga. Universidad de Costa Rica. (Comunicación personal)

**Cuadro 1.** Métodos de valoración de ecosistemas

<b>Enfoque</b>	<b>Método</b>	<b>Fundamento</b>
Económico	Valor económico neto	Se calcula para los productos que se venden en el mercado. Este aspecto determina su valor como la suma de los sobrepuestos del productor y del consumidor en el mercado.
Económico	Costo de viaje	Se usa para calcular el valor de los beneficios recreativos generados por los ecosistemas. Usa los costos de viaje como sustituto de un precio.
Económico	Valoración hedonista	Supone que el precio que se paga por una mercancía refleja los atributos del producto.
Económico	Valoración contingente	Técnica usada para calcular la mayoría de los valores que no son de uso. Cuestiona directamente a los individuos acerca de su disposición para pagar (WTP) y su disposición a vender (WTP).
Económico	Valores de uso diario	Una actividad valorada a uso diario en un sitio se usa para valorar la misma actividad en el sitio de estudio. Los valores dependen usualmente del factor sitio/ubicación/usuario pero las transferencias pueden resultar útiles para los cálculos brutos de los valores recreativos.
Económico	Costo de sustitución	Calcula el valor de un servicio comercial basándose en el costo de sustitución. Esto requiere tres pasos: cálculo del nivel de servicio que se proporciona, identificación de la alternativa menos costosa y creación de una demanda en el público, para esa alternativa.
Económico	Costo de oportunidad	Valor determinado para funciones/servicios inciertos de un ecosistema, basándose en los cálculos del costo de los valores de desarrollo desaprovechados y los sustitutos apropiados de costo mínimo.
Ecológico	Análisis energético	Supone que el valor de un producto se refleja en la energía que se requiere para producirlo. Valora los ecosistemas con base en su productividad biológica (kilocalorías de biomasa * precio de energía).
Ecológico	Modelo ecológico económico	Construye modelos detallados y dinámicos de simulación de sistemas ecológicos y económicos ligados, que después de haber sido ajustados a situaciones reales pueden utilizarse para determinar los lazos y valores de los sistemas.

Fuente: Evaluación ecológica y económica de las áreas protegidas. 1993

crecimiento de las mismas. Es necesario saber cuando se da la corta de la madera que ha llegado a tamaño comercial y sus respectivos precios de mercado en troza.

Esta técnica en términos relativos es más elaborada, pero se complica su aplicación debido a que una proporción considerable de las especies de los bosques naturales latifoliados no tienen mercado comercial y se desconoce casi por completo las tasas de crecimiento, además no se toma en cuenta la biodiversidad ligada al sistema simplista de valorar dicho recurso.

**2.3.5.3 Valor de bienes no tradicionales.** Técnica que pretende dar un valor a todos los productos del bosque diferentes a la producción de madera comercial: gomas, frutas, semillas, resinas, taninos, etc. A la fecha es una técnica difícil de aplicación debido al desconocimiento que se tiene sobre productos no maderables del bosque.

**2.3.5.4 Técnica del Costo Evitado.** El método trata de valorar el agua tomando como supuesto su desaparición de un sitio y la necesidad de recurrir a otra fuente para satisfacer la demanda. Constituye una técnica amigable que arroja resultados satisfactorios para condiciones biofísicas complejas a nivel de cuencas.

Bajo este modelo se toman en consideración los costos fijos y variables inherentes a un sistema de abastecimiento previo. A los costos fijos se los depreciará, para poder tener un costo más real. Y como señala Horngren, C. y Sundem, G. (1990), depreciación, es el costo periódico de un equipo, que se reparte entre periodos futuros con que se espera sea utilizado. Los mismos autores señalan que toda clase de equipo es un grupo de servicios futuros que tendrán una vida útil limitada; para ello los contadores proyectan la duración de la vida útil, proyectan el valor residual final y asignan el costo del equipo a los años de su vida útil de alguna manera sistemática.

Existen varios métodos para el cálculo de la depreciación entre los que figuran:

- Depreciación lineal: es el método más popular que “deprecia el activo por cantidades iguales cada año”.(Horngren, C. y Sundem, G. 1990). Se hace la distribución total de la depreciación en partes iguales a través de todos los periodos de la vida útil.
- Método de horas de trabajo: toma en cuenta que la maquinaria se deprecia según su uso de tiempo; a mayor uso no sólo es mayor el desgaste sino que también es menor la oportunidad de hacer reparaciones. En la aplicación de este método, se estima el número total de horas de trabajo durante las cuales la máquina es capaz de operar y se determina un cargo por hora.
- Método de producción: aquí en este caso se distribuye la depreciación entre los distintos periodos en proporción al uso hecho del activo durante cada periodo. La vida probable se expresa en unidades de producto y la cuota de depreciación es una tasa por unidad. Se suele usar este método si las unidades de servicio no son uniformes por periodo como, por ejemplo, la depreciación de llantas por kilometraje recorrido.

- Método de cargos decrecientes (depreciación acelerada): Los cargos por depreciación son mayores en los primeros años de vida de un activo fijo que en los últimos años y siguen una línea decreciente. Existen tres métodos que permiten un cargo por depreciación:
  - . Saldo creciente: se aplica a una tasa fija uniforme al valor que el activo tiene en libros.
  - . Suma de los períodos de vida, cuotas decrecientes sobre el costo.
  - . Método del avalúo, consiste en estimar el valor del activo al final de cada período y castigar como depreciación la diferencia entre el saldo de la cuenta de activo y el valor de tasación. La desventaja de este método es que algunos períodos resultan sobrecargados y, en cambio, otros no reciben los cargos necesarios, por ejemplo: el deterioro físico será ligero en los primeros años y pesado en los últimos años. Deben excluirse las fluctuaciones en el valor del mercado.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ASPECTOS POLÍTICOS

Se tratarán aspectos como ubicación del lugar, límites y el uso actual que presenta la zona de estudio.

**3.1.1 Ubicación geográfica.** El área geográficamente está localizada entre los 13° 56' 11" y 13° 58' 40" N y entre los 86° 54' 26" y 86° 58' 16" W, Honduras, Centro América. Desde el punto de vista político, el lugar pertenece a los Departamentos de Francisco Morazán y El Paraíso (Fig.1)

**3.1.2 Límites.** La zona limita por el Norte con tierras de la Microcuenca de la Quebrada El Horno y la Montaña La Llorona; al Sur con tierras de la Quebrada La Jagua; al Este con las Montañas la Llorona y Granadillas y al Oeste con el Valle de El Zamorano.

**3.1.3 Tenencia y uso de la tierra.** Al realizar el reconocimiento de la zona se mostró las siguiente panorámica: poco más del 50% de las tierras de la microcuenca están cubiertos con pinares nativos jóvenes. En algunos de estos terrenos se tiene pastoreo con ganado vacuno. Según García, (1993) en casi toda el área de pino la tenencia de la tierra es de tipo ejidal.

En las partes más elevadas de la microcuenca, donde existen condiciones edáficas y climáticas más favorables, la cubierta vegetal original ha sido removida casi en su totalidad. Actualmente sólo quedan porciones reducidas de bosque latifoliado en estado maduro. El uso predominante de la tierra son cultivos agrícolas de maíz, frijol y algunas hortalizas, en forma extensiva. En esta área de captación de agua, la mayor parte de los habitantes posee derechos de propiedad en proceso de legalización.

#### 3.2 ASPECTOS FÍSICOS

Se tomarán en cuenta la superficie, altitud, relieve, clima, ecología, vegetación, geología y suelos que se presenta en la zona de estudio.

**3.2.1 Superficie.** La microcuenca se delimitó sobre una hoja cartográfica de Yuscarán, del Instituto Nacional Geográfico, a escala 1:50,000. Con dicho procedimiento la microcuenca tuvo una superficie aproximada de 1,077.5 ha. (Fig. 2)

**3.2.2 Altitud.** El área de estudio se extiende desde los 900 hasta los 1,775 msnm.

**3.2.3 Relieve.** La parte superior de la microcuenca, que se halla orientada de Este a Oeste, tiene la característica de presentar lomas y fuertes ondulaciones. La parte media y baja de la hoya, que también se hallan orientadas de Este a Oeste, son áreas escarpadas debido a fallas y fracturas que controlan los cursos de las corrientes que atraviesan el terreno.

**3.2.4 Clima.** Para la caracterización del clima de la zona, se utilizaron datos de las estaciones climatológicas El Zamorano y Güinope. Con base en los registros de la estación Zamorano, 45 años de registro, en las porciones bajas de la microcuenca la precipitación promedio total anual es de 1114.63 mm (Anexo 1). Para 25 años de registro, la temperatura media anual es de 23.2 °C con diferencias de cuatro grados centígrados entre el mes más cálido (mayo) y el mes más frío (enero) (Anexo 2). La temperatura máxima media anual es de 29.2 °C, para un período de 25 años de registro (Anexo 3), mientras que la temperatura mínima media anual es de 15.27 °C, para 24 años de registro (Anexo 4).

De acuerdo con la estación Güinope, aquellos terrenos de elevación media tienen una precipitación promedio total anual de 1,155.6 mm (16 años de registro), concentrándose de manera notable en el período de mayo a noviembre, con una estación seca que se extiende de diciembre a abril.

Las tierras de mayor altura de la microcuenca, estas carecen de registros climáticos, siendo la estación más próxima la del Cerro Uyuca, que se halla localizada a los 1,850 msnm, aproximadamente. Resultados de un estudio hidrológico hecho en la reserva del mismo nombre indican que la precipitación promedio anual es superior a los 2000 mm (Agudelo, 1993).

**3.2.5 Ecología.** Según Villatoro (1995), en el área de estudio se reconocieron tres ecosistemas mayores o zonas de vida: el bosque húmedo subtropical (bh-S), que comprende el rango de cotas entre los 900 y más o menos los 1,200 m, el bosque húmedo montano bajo subtropical (bh-MBS), que se halla entre los 1,200 y 1,500 m y el bosque muy húmedo montano bajo subtropical (bmh-MBS), de los 1,500 m hacia arriba, tal como lo indica la Figura 3.

**3.2.6 Vegetación.** Entre los 900 y 1500 msnm se encuentran rodales relativamente puros, de pinos nativos con la predominancia de dos especies; *Pinus oocarpa*, desde los 900 hasta más o menos los 1,400 m y *Pinus maximinoi* a partir de los 1,400 m hasta que se junta con los remanentes de bosque latifoliado nublado. Sobre los 1500 m se halla en bosque latifoliado, que actualmente presenta sólo remanentes, los que se hallan esencialmente dominados por varias especies de *Quercus*, *Liquidambar styraciflua*, *Cornus disciflora* y varias especies de lauráceas.

**3.2.7 Geología y Suelos.** Según García (1993) las condiciones geológicas y edáficas de la microcuenca son las que a continuación se describen: “Dos unidades geológicas caracterizan los terrenos de la microcuenca, como se aprecia en la figura 4.

La unidad Matagalpa, se encuentra en la parte superior de la microcuenca, entre los 1,500 y 1,750 m de elevación. Está constituida por cenizas, lavas andesíticas y basálticas, así como por rocas piroclásticas de volcanes que precedieron a las voluminosas erupciones de ignimbritas sílicas del Mioceno, tanto de América Central como en algunas partes de México. Esta unidad corresponde a la formación Matagalpa de H. Williams y A.R. McBirney (1969), quienes le asignan una edad Oligoceno-Mioceno, de la era Terciaria.

La unidad Padre Miguel, abarca la parte media de la zona; según Williams y McBirney (1969) corresponde a la secuencia principal de Ignimbritas (Grupo Padre Miguel de Bukart), la que tiene una edad del Mioceno Medio. Las ignimbritas del Grupo Padre Miguel, en Honduras, son principalmente de composición riolítica

**Suelos.** Como también se puede observar en la Fig. 3, dos series de suelos fueron reconocidas, clasificadas y mapeadas (García, 1993):

**Serie Lloró (Llo):** Los suelos de esta serie ocupan un relieve fuertemente ondulado o lomado, con pendientes entre 30 y 35%. Son profundos, bien drenados, ácidos, desarrollados sobre cenizas volcánicas. La textura es franco arenosa en los dos primeros horizontes y arcillo arenosa en los demás. El color en seco varía entre café rojizo oscuro (5YR 2.5/1) para el horizonte 1, café rojizo oscuro (5YR 3/4) para el horizonte 2, rojo amarillento (5YR 4/69) para el horizonte 3, rojo amarillento (5YR 4/6) para el horizonte 4, café rojizo oscuro (5 YR3/4) para el horizonte 5 y café rojizo oscuro (5YR 3/3) para el horizonte 6.

El material parental, está constituido por cenizas volcánicas.

Los suelos Lloró se presentan en la amplia cima montañosa a altitudes de más de los 1,400 m. Las temperaturas son relativamente bajas a tal altura y a menudo se presentan una elevada nubosidad. La humedad se condensa de esas nubes e impide que el suelo se seque. Se diferencia de otras unidades del mismo origen por el mayor grosor, la falta de consolidación del material de partida y la ausencia de piedras.

En algunos sitios especialmente en los más elevados, el suelo superficial es más grueso y rico en materia orgánica; a altitudes mayores de 1,700 m, es algo cenagoso.

Por su profundidad es un suelo muy apetecido para la producción de maíz y frijoles y para pastoreo de ganado, cuando está en barbecho.

Existen lugares donde aún quedan algunos rodales de frondosas. Las áreas que no tienen cultivos, están cubiertas con un guamil bajo donde abundan las zarzamoras. Dichos remanentes de bosque natural son sitios excepcionales para el almacenamiento de agua, ésta es su principal función, pues son acuíferos o áreas de recarga de importantes riachuelos. Los suelos de esta serie se clasifican en el Orden de los Inceptisoles y en el Suborden Tropepts. Capacidad Agrológica: Clase III – VII.

**Serie Mulule (Mu):** La serie Mulule se caracteriza por presentar un relieve con pendientes desde 30 hasta 65 % y suelos poco profundos, bien drenados, moderadamente ácidos. La textura es franco arenosa. El color, en seco varía entre gris (10YR 5/1) para el horizonte 1, café pálido (10YR 6/3) para el horizonte 2 y café muy pálido (10YR 7/4) para el horizonte 3. El material parental está constituido por ignimbritas riolíticas. Como la mayor parte de estas áreas se presentan a altitudes mayores de los 1,200 m, es probable que haya habido alguna influencia de cenizas volcánicas.

La mayoría de los suelos de esta unidad tiene muchas piedras en la superficie y son frecuentes los afloramientos rocosos y los precipicios.

Las partes planas al pie de monte y aledaño a las corrientes de agua están severamente intervenidas con cultivos de maíz y repollo, sin ninguna medida de conservación, lo que está exponiendo al suelo a erosión acelerada.

Casi la totalidad del área está cubierta por bosques de pino (*Pinus oocarpa*) y esta es su vocación, ya que cumplen su función como reguladores del flujo hídrico.

Estos suelos se clasifican en el Orden Entisoles y Suborden Orthens. Capacidad Agrológica: Cl-6-0--ase VII

**3.2.8 Hidrología.** La microcuenca de Santa Inés está conformada principalmente por dos afluentes, La Quebrada Los Lirios y la Quebrada Los Anteojos. (Fig. 4)

Estudios previos realizados por Tecnoriego, indican que el caudal en la parte baja de la Quebrada Los Lirios tiene en promedio 60 l/seg (Tecnoriego, 1990) (Anexo 5) El mismo estudio asegura que las características hidrológicas de la zona son satisfactorias. Aforos realizados por García (1993) en la parte baja de la microcuenca cerca de la posible presa, aseguramos un caudal medio mensual es de 80 l/seg.

### **3.3 METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO**

Se realizará la delimitación de la microcuenca, la actualización del mapa de uso de la tierra en la zona de recarga. En la parte hidrológica se hará una estimación de la precipitación dentro del bosque latifoliado y el cálculo de la precipitación a campo abierto.

**3.3.1 Delimitación de la microcuenca sobre mapas topográficos y mapa de ecosistemas o zonas de vida.** Para Los levantamientos terrestres se utilizó un mapa topográfico a escala 1: 5000 obtenido para el estudio de García (1993) por medio de restituidor fotométrico y el mapa de ecosistemas terrestres mayores o zonas de vida elaborado por Villatoro (1995), como se observa en la Figura 3.

**3.3.2 Actualización del mapa de uso actual de la tierra en la zona de recarga. Se tomó como base el mapa elaborado por García en 1993, luego mediante interpretación de fotografías aéreas a escala 1:20,000 del año 1995, se delimitaron nuevamente los usos de la tierra en la zona de recarga. Se hizo un control terrestre por medio de SIG (Sistema de información geográfica). Sobre el mapa de García se trasladó la nueva información terrestre y de las fotos aéreas para obtener el mapa actualizado del uso**

**de la tierra.**

**3.3.3 Estimación de la precipitación dentro del bosque maduro latifoliado nublado del Cerro Uyuca.** Para estimar la precipitación dentro del bosque se utilizaron los datos totales de lluvia el periodo hidrológico 1987 – 1992.<sup>3</sup>

Los datos disponibles de precipitación total anual del año hidrológico incluyen precipitación horizontal y vertical. El total anual no incluye el escurrimiento por los troncos, pues según Stadmüller (1987) la escorrentía de los tallos no alcanza ni el 1% de la precipitación.

**3.3.4 Cálculo de la precipitación a campo abierto.** Para el cálculo de ésta precipitación se tuvo información disponible de 3 pluviómetros instalados a campo abierto sobre una superficie de 5 ha relativamente planas, y se procedió al cálculo de dicha precipitación.<sup>4</sup>

### 3.4 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para llevar a cabo la metodología de evaluación se realizará el cálculo de la precipitación media dentro del bosque latifoliado del Cerro Uyuca y su caudal. Se realizará la valoración indirecta del agua producida.

**3.4.1 Cálculo de la precipitación media dentro del bosque nublado latifoliado maduro del Cerro Uyuca.** Para el cálculo de esta precipitación se utilizó la técnica de los polígonos de Thiesen, usándose para cada una de las 12 estaciones el promedio total anual para un período de cinco años.

**3.4.2 Estimación del caudal producido por el Cerro Uyuca.** Debido a que Uyuca produce agua de infiltración, no da escorrentía, se tuvo que recurrir a método indirectos. En este caso se cuantificó la población beneficiada por agua potable por parte de Uyuca y su correspondiente dotación. La dotación por persona para zonas rurales es del orden de 18.75 l/día entretanto que para Zamorano es de 590 l/día (0.59 m<sup>3</sup>). El cuadro 2 resume la población beneficiada y su correspondiente consumo de agua.

**Cuadro 2.** Población beneficiada y su correspondiente consumo de agua, dependiente de la Montaña Uyuca.

Comunidad	Población beneficiada	Consumo de agua (m <sup>3</sup> /día)
Zamorano	2145	1265.55
Tatumbla	522	9.79

<sup>3</sup> AGUDELO, N. 1997. Estimación de la precipitación dentro del maduro latifoliado nublado del Cerro Uyuca . Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica, E.A.P. (Comunicación personal)

<sup>4</sup> AGUDELO, N. 1997. Cálculo de la precipitación a campo abierto en el Cerro Uyuca . Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica, E.A.P. (Comunicación personal)

<b>Chagüite</b>	300	5.62
<b>Pedregal</b>	150	2.81
<b>Joya</b>	457	8.58
<b>Jicarito</b>	3850	72.19
<b>Macuelizo</b>	200	3.75
<b>Total</b>	7624	1368.29

Ahora bien, la cantidad de agua que utiliza la E.A.P para riego es de 425,800 l/día (425.8 m<sup>3</sup>/día) Velasquez (1991). Si se tomara, entonces, en consideración el consumo de agua potable y de riego por parte de Zamorano se tiene un total de 1691.35 m<sup>3</sup>/día.

**3.4.3 Valoración indirecta o no de mercado de la cantidad de agua producida por la microcuena.** Debido a la dificultad de realizar una valoración íntegra de los recursos, se tuvo que utilizar técnicas parciales. En el caso del presente estudio se utilizará la técnica del costo evitado por ser la técnica más a fin al recurso que se aplica, siendo esta la técnica más amigable.

Los costos mencionados se pueden clasificar en costos fijos y variables. Se realizará una depreciación de los costos fijos que en este caso serán sólo los costos de infraestructura de la red de captación (Anexo 6). Para ello se utilizará el método de la depreciación lineal, por ser el método que permite depreciar cada año en partes iguales a través de todos los períodos de vida útil; además no se toma en cuenta el valor residual o de desecho, que en este caso toda esta infraestructura utilizada no tiene dicho valor, es decir, queda sin ningún uso. La fórmula para el cálculo de este tipo de depreciación es la siguiente: (Horngren, C. y Sundem, G. 1990)

La depreciación se realizará de aquellos costos directos como es el caso de la infraestructura de captación. Se utilizará un vida de útil de 50 años; se adoptó este período de vida debido a sugerencias de personas que trabajan tanto en el SANAA y en la oficina de Superintendencia de servicios de Zamorano. Los costos serán tomados en dólares.

$$\text{Depreciación en línea recta} = \frac{\text{Costo original} - \text{valor residual estimado}}{\text{Vida útil en años}}$$

$$\text{Depreciación en línea recta de la infraestructura} = \frac{508,740 - 0}{50}$$

Del cálculo anterior se obtiene que la depreciación anual de la infraestructura es de 10,174.8 dólares. En el siguiente cuadro, se presentan los costos de producción de agua potable.

**Cuadro 3.** Costos de producción de agua potable en Zamorano

<b>Costo</b>	<b>Gasto total en Dólares</b>	
<b>Costos fijos</b>	<b>Costos variables</b>	
<b>Costo de infraestructura</b>		52,538.98
<b>Costo de la tierra</b>		10,174.8
	Costo de mantenimiento	15,094.34
	Costo de tratamiento	5,718.80
	Costo de análisis	611.28
<b>Depreciación de infraestructura (anual)</b>		10,174.80
<b>TOTAL</b>		<b>94,313.00</b>

Para valorar el agua que se produce en la Microcuenca de Santa Inés se tomarán en cuenta los siguientes supuestos:

- Las dos Microcuencas con las que se realiza el presente trabajo tienen igualdad de condiciones para realizar procesos de extracción de agua.
- Las condiciones por las que atraviesa el agua para luego poder ser utilizada por el hombre, son distintas en el caso de Uyuca el agua pasa por procesos de infiltración y lo que sucede en Santa Inés son procesos de escorrentía.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA

Se mapearon cinco usos principales de la tierra en la microcuenca, los que se ilustran en la figura No 5 y se describen en el cuadro No 4.

**Cuadro 4.** Distribución por área y porcentual de los usos de la tierra, en la zona de recarga de la Microcuenca de la Quebrada Santa Inés.

Uso de la tierra	Area (ha)	Pocentaje
<b>Cultivos (Maíz/frijol)</b>	20.53	6.52
<b>Pastos y barbecho</b>	209.49	66.50
<b>Pinar natural</b>	5.8	1.84
<b>Bosque latifoliado</b>	79.24	25.15
<b>TOTAL</b>	315.00	100.00

### 4.2 MAPA DE CONFLICTOS EN EL USO DE LA TIERRA EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA DE SANTA INÉS

La superposición de los mapas de zonas de vida, geología, suelos y uso actual permitió obtener el mapa de los conflictos en el uso de la tierra para la zona de recarga de esta microcuenca, el que aparece en la figura 6.

### 4.3 PRECIPITACIÓN MEDIA EN LA ZONA DE RECARGA

Según la técnica utilizada para la medición de la precipitación horizontal, se obtuvo un promedio de 1782 mm anuales; se realizara una extrapolación de datos debido a la proximidad de los ecosistemas que en términos teóricos y de forma muy general, se asume que la precipitación promedio del Cerro Uyuca es similar a la que se produce en la parte alta del bosque nublado de la microcuenca de Santa Inés, si ésta tuviese la vegetación original.

#### 4.4 CAUDAL DE LA MICROCUENCA

El caudal de la Microcuenca del Cerro Uyuca que fue de 19 l/seg, equivalente a 68,400 Lt por hora, 1,641,600 Lt por día y 597,542,400 Lt por año.

En el caso de la Microcuenca de Santa Inés, se tienen datos de mediciones de caudal y según García, 1993 el caudal medio mensual es de 0.083 m<sup>3</sup> por segundo (83 l/seg.); por mediciones hechas por la Sección de Ingeniería Agrícola la producción es de 0.085 m<sup>3</sup> por segundo (84.85 l / seg.).

#### 4.5 PÉRDIDA DE AGUA Y SU VALOR ECONÓMICO APROXIMADO POR CONVERSIÓN DEL BOSQUE MADURO A OTROS USOS DE LA TIERRA, EN LA ZONA DE RECARGA.

- Cantidad de agua producida dentro del bosque nuboso : 1,782.89mm
- Cantidad de agua producida a campo abierto : 886.46mm
- Cantidad de agua que se deja de percibir : 896.43 mm

En el caso del Cerro Uyuca la cantidad de agua que se capta por procesos de precipitación horizontal y vertical, 1,782.89 mm se traduce en una salida o caudal de 2,064.09 m<sup>3</sup> diarios. Si se asume que la precipitación en Santa Inés es la misma, entonces la microcuenca bombea la misma cantidad que Uyuca, pues se tiene la misma pérdida por infiltración. Pero si se asume que la precipitación en Santa Inés es más o menos mayor, se traduciría también en un mayor caudal por ser agua de escorrentía lo que sería alrededor de 7,257.6 m<sup>3</sup> diarios, teniendo una producción de 84 l/seg.

Si se utilizan porcentajes para determinar la cantidad de agua que se está dejando de captar es aproximadamente un 50.3 % (1,037.82 m<sup>3</sup> diarios).

A continuación se presenta un cuadro resumen con valores de precipitación anual, de distintas cuencas, en mm y su traducción en metros cúbicos.

**Cuadro 5.** Aproximación de la cantidad de agua que produce una cuenca, al conocerse los datos de precipitación y datos de medición de caudal ya sea de manera directa o indirecta.

Nombre de la cuenca	Precipitación en mm.	Traducción en caudal m <sup>3</sup> /seg.
Cerro Uyuca	1,782.89	0.0238
Santa Inés	1,782.89	0.084
La Tigra	2,000 ó más	3.32 (Hennings.1997)
Cusuco	2,500 a 4,000	5.16

## 4.6 VALORACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA PRODUCIDA POR EL CERRO UYUCA

Para dar el costo al metro cúbico de agua se tomarán en cuenta tres maneras a considerar: primero, se asumirá el costo directo de traslado. Se tomará en cuenta la producción actual del Cerro Uyuca y los costos antes mencionados (Cuadro 3), se divide y se tiene dicho costo, con ello se está obteniendo el costo evitado de la producción de agua. Si la producción de Uyuca es de 0.0238 m<sup>3</sup>/seg, la producción anual será de 750,556.8 m<sup>3</sup>. Entonces el costo de producir un metro cúbico es de:

$$\text{Costo de producción de 1m}^3 \text{ de agua} = \frac{\text{Costos anuales}}{\text{Cantidad de agua producida anualmente}}$$

$$\text{Costo de producción de 1m}^3 \text{ de agua} = \frac{94,313.00 \$}{750,556.8 \text{ m}^3} = 0.13 \text{ \$/m}^3$$

Si se tiene un consumo diario de 12265.55 m<sup>3</sup> en Zamorano, el costo por consumo sería de 164.52 dólares. Y un costo anual de 59,885.826 dólares.

- Si se asume que se tendría que pagar el agua que se consume como agua potable, teniendo como costo del metro cúbico en Tegucigalpa 0.865 lempiras que equivale a 0.07 US \$/m<sup>3</sup>. Por tanto si tomamos en cuenta la cantidad de agua que produce Uyuca para uso doméstico y se le asigna dicho precio, se tendría un costo para Zamorano de **88.59** dólares diarios por ende un costo anual de 32,334.8 dólares, ya que Zamorano consume diariamente 1,265.55 m<sup>3</sup> de agua potable.

## 4.7 PÉRDIDAS ECONÓMICAS POR LA DEFORESTACIÓN

Si asumimos que la producción de agua en Santa Inés es la misma que en el Cerro Uyuca, por extrapolación de datos, entonces se tienen una producción de 750,556.8 m<sup>3</sup> anuales; pero si se tiene el bosque deforestado es decir sin su cobertura original se tiene una producción de 373,179.83 m<sup>3</sup> metros cúbicos anuales. Por tanto se está dejando de percibir 377,376.97 m<sup>3</sup> de agua. Si se da el costo que se obtuvo anteriormente se tiene: Dinero que se deja de percibir = 377,376.97 \* 0.13 = **49,059.006 dólares anuales**

## 5. DISCUSIÓN

Para fines de discusión los resultados se englobarán en dos temas principales:

- **Conflictos en el uso de la tierra en la zona de recarga.** Desde el punto de vista de la producción de agua mediante los procesos de lluvia horizontal y vertical, la zona de recarga debería estar totalmente cubierta con bosque latifoliado en estado maduro. Un ecosistema en su estado estable maximiza en el espacio el número de estratos, condición determinante para la captación máxima de neblinas. A la fecha, esta zona de recarga con una superficie de 315 ha presenta un área de 79.24 ha cubierta con bosque latifoliado en estado maduro lo que equivale a un porcentaje de 25.15%. Esta reducida porción de bosque maduro no se encuentra en un bloque compacto sino que está totalmente fragmentado, lo que es una situación no deseable desde el punto de vista de captación del vapor de agua atmosférico. Por tal razón la mayor parte de los usos actuales de la tierra en esta zona de recarga que cubren una superficie de 315 ha son inapropiados desde el punto de vista hidrológico. La situaciones precedentes son más que evidentes para demostrar que cualquier proyecto de manejo de agua en las porciones bajas de la microcuenca es de futuro dudoso a largo plazo si no se garantiza el mejor uso de la tierra en la zona de formación de acuíferos.
- **Estimación de la precipitación media a nivel de microcuenca, volumen bombeado de agua (caudal) y valor del recurso agua.** Ante la ausencia de una red adecuada de estaciones meteorológicas en las cuencas hidrográficas de toda América tropical y subtropical, la estimación de la precipitación promedio es con toda lógica incompleta. A nivel de zonas de recarga en cuencas montañosas, la estimación de la determinación de la precipitación media es crítica, pues se dispone de muy poca información de lluvia vertical y horizontal dentro de las masas forestales. Por tal razón, la determinación de la precipitación promedio en la zona de recarga de Uyuca es de valor incalculable, para extrapolarla a otras áreas de formación de acuíferos más o menos similares, como es el caso de la zona de recarga de la microcuenca de la Quebrada de Santa Inés.  
**Traducir la precipitación promedio de una cuenca a caudal bombeado constituye otro serio problema en algunas cuencas de montaña, al no drenar el agua en forma de escurrimiento normal. Si en la microcuenca se produjese escurrimiento superficial, la determinación del caudal sería una actividad sencilla aplicando mediciones directas de aforo. Pero tales aforos debiesen tener una duración considerable y deben presentar información de picos. Si la cuenca no drena sus aguas mediante escorrentía superficial se tiene que recurrir a métodos indirectos para cuantificar el caudal. Las microcuencas de Uyuca se clasifican en la segunda categoría. La Microcuenca de Santa Inés drena por medio de fuentes superficiales pero no tiene registro, de aforo confiables. Por otra parte, carece de información climática a nivel de toda su superficie.**

A corto o mediano plazo Zamorano tendrá que depender de la Microcuenca de Santa Inés para el abastecimiento del agua potable y/de riego. Las condiciones ecológicas de las dos zonas de recarga son más o menos similares, por tanto, la precipitación media dentro del Cerro Uyuca es más o menos igual a la zona de recarga. De igual manera el caudal estimado para Uyuca debe ser más o menos aproximado al caudal medio de Santa Inés. La comparación de precipitación media y caudal entre las dos áreas es bastante conservador y, por lo consiguiente, válido.

## 6. CONCLUSIONES

### **Los resultados del presente estudio nos llevan a emitir las siguientes conclusiones:**

- El uso actual de la tierra que presenta la zona de recarga de la microcuenca de la Quebrada de Santa Inés es inapropiado, toda esta zona debería estar cubierta de bosque latifoliado por ser un área de recarga o formación de acuíferos, para maximizar la captación de neblinas. Actualmente el área total de la zona de recarga es de 315 ha de las cuales sólo una superficie de 79.24 ha (25.15 %) se halla cubierta con bosque latifoliado maduro, lo que es una situación no deseable para la captación de agua atmosférica.
  
- Por ser la captación de agua en el Cerro Uyuca a través de procesos de infiltración, no se pudieron realizar mediciones de caudales. Pero a través de metodologías indirectas se pudo obtener el caudal, que corresponde a 2064.09 m<sup>3</sup> diarios, teniéndose una precipitación promedio de 1782.89 mm anuales. Al asignarle un valor de 1.253 US \$ el metro cúbico de agua, por medio de la técnica del costo evitado, se obtiene que Zamorano está ganando 2586.3 US dólares diarios, lo que significa un ahorro sustancial anualmente.
  
- La estimación de la precipitación promedio y caudales es todavía ineficiente en el caso de Uyuca por varias razones:
  - La zona de recarga está en un 80 % destruída y registros pluviométricos de sólo 5 años.
  - El caudal producido ha sido determinado en una forma muy rudimentaria.

## 7. RECOMENDACIONES

1. Ante la gran importancia que presenta la Microcuenca de Santa Inés, para el abastecimiento de agua de riego y en un futuro no muy lejano para agua potable de Zamorano, se sugiere a las autoridades a la toma de decisiones inmediatas, relacionadas con la adquisición y/o concesión de todos los terrenos de la zona, en especial de aquellos terrenos que se hallan en la parte alta o zona de recarga, y darle un plan de manejo adecuado. Para así garantizar cualquier proyecto de inversión, ya sea con fines de obtener agua potable o para riego.
2. El realizar mediciones periódicas de caudal, para llevar un registro de producción que pueda servir para una buena planificación de uso y para pronóstico de las actividades futuras. Zamorano debido a la producción de agua de Uyuca tiene un ahorro sustancial (2586.3 US \$ diarios) por tanto debe restaura el área destruida, además tener mediciones diarias de precipitación tanto en la zona de recarga como a campo abierto para tener mayor veracidad en estimaciones posteriores de producción e agua.
3. Se recomienda para estudios posteriores realizar una mejor estimación de caudal, para una mejor veracidad en el cálculo de el caudal de Uyuca.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- AGUDELO, N. 1997. Notas de la clase de Silvicultura.
- BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology (Holanda)* 55 (1-4) : 3-23.
- Citado por: Stadmüller, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de Bosques naturales tropicales medidas para mitigarlo. Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. 62 p.
- BROWN, M.; VALLEJO, A. 1996. La influencia de la precipitación horizontal y el efecto de la deforestación sobre la producción hídrica en el Parque Nacional Cusuco. San Pedro Sula, Hond. 62 p.
- BRUIJNZEEL, L.A. 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. IHP- UNESCO Humid Tropical Programme, Paris.
- CÁCERES, G. 1981. Importancia hidrológica de la intercepción horizontal en un bosque muy húmedo premontano en Balalaica, Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE, Turrialba, C.R. 98 p.

Citado por: Stadmüller, T. 1987. Los bosques nublados en el trópico húmedo.

Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza,  
CATIE. 85 p.

CÁCERES MORENO, G. 1987. Importancia hidrológica de la intercepción horizontal

en un bosque húmedo premontano en Balalaica, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc.

Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE.

95 p.

CENTRO CIENTÍFICO TROPICAL (C.R.). 1992. La depreciación de los recursos

naturales en Costa Rica y su relación con el sistema de cuentas nacionales. San

José, C.R. 160 p.

DGC/AID. 1990. Manejo de cuencas hidrográficas. Gua. C.A. 200 p.

EIDT, R.C. 1968. The climatology of South America. In Fittkau et al. (Eds.)

Biogeography and Ecology in South America. Dr. W. Junk N.V. Publishers,

The Hague, vol.I. pp. 54-81.

Citado por: Stadmüller, T. 1987. Los bosques nublados en el trópico húmedo.

Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza,  
CATIE. 85 p.

FREEMAN, A.M. 1987. Control de la contaminación del agua y el aire.  
Méx.  
Limusa. 217 p.

Citado por: Serrano, E. 1990. La producción y valoración del agua: un  
marco  
conceptual y metodológico. **In** Memorias del Primer Simposio  
Nacional: El agua  
en el manejo forestal. (1990, Chapingo, Méx.) Chapingo, Méx,  
Universidad  
Autónoma Chapingo. p. 117 – 190.

GARCÍA RAMOS, B. 1993. Potencial hídrico de la Microcuenca de Santa  
Inés.  
Tesis Ing. Agr. Zamorano, Hond, Escuela Agrícola Panamericana. 97 p.

GREGORY, R. 1972. Forest resource economics. N.Y., John Wiley &  
Sons, Inc.  
Citado por: CENTRO CIENTÍFICO TROPICAL (C.R.). 1992. La  
depreciación  
de los recursos naturales en Costa Rica y su relación con el sistema de  
cuentas  
nacionales. San José, C.R. 160 p.

HAMILTON, L.S., J.O. Juvik and F.N. Scatena (eds.). 1993. Tropical  
montane  
clouds forests: Proceedings of an International Symposium. San Juan,  
P.R: East-  
West Cener Program on Environment.

Citado por: Mouraille, C.; Porras, I.; Aylward, B. 1996. La protección  
de cuencas  
hidrográficas: una bibliografía anotada de hidrología, valoración  
económica e  
incentivos económicos. Centro Científico Tropical (CCT), Centro  
Internacional  
de Política Económica (CINPE), International Institute for Enviroment  
and  
Development (IIED). San José, C.R. 130 p.

HAMILTON, L.S.; KING, P.N. 1983. Tropical forested watersheds: hydrologic and soils response to major uses and conversions. Boulder, Colo., EE.UU., Westview Press. 168 p.

Citado por: Stadmüller, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de Bosques naturales tropicales medidas para mitigarlo. Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. 62 p.

HENNINGS, E. 1997. Valoración económica del recurso agua en el Parque Nacional La Tigra, Honduras. Tesis Ing. Agr. Zamorano, Hond., Escuela Agrícola Panamericana. 127 p.

HERRERA, R. 1990. Evaluación financiera el manejo del bosque natural secundario en 5 sitios en Costa Rica. Tesis. CATIE. Turrialba. Citado por: CENTRO CIENTÍFICO TROPICAL (C.R.). 1992. La depreciación de los recursos naturales en Costa Rica y su relación con el sistema de cuentas nacionales. San José, C.R. 160 p.

HORNGREN, C. y SUNDEM, G. 1990. Contabilidad administrativa. Trad. por Claudia Josephine Reynaud Cesario. México, Lehmann. PHH. 920 p.

LINSLEY, R. K.; Kohler, M. A y Paulos, J. L. H. Dowdy, 1985. Loss in long-term productivity from soil erosion in the United States, in S:A: El-Swaify et al. (eds) Soil erosion and conservation. Ankeney, Iowa, Soil Conservation Society of America.

Citado por: CENTRO CIENTÍFICO TROPICAL (C.R.). 1992. La depreciación de los recursos naturales en Costa Rica y su relación con el sistema de cuentas nacionales. San José, C.R. 160 p.

LÓPEZ, F.; BLANCO, M. 1976. Hidrología forestal. Primera parte. Madrid, España. 386 p.

MEJÍA, D.A. and T.HAWKINS. 1993. Los bosques nublados de Honduras. Serie miscelanea de CONSEFORH Número 43-24/93. Siguatepeque, Honduras: COHDEFOR-ODA-ESNACIFOR.

Citado por: Brown, M.; Vallejo, A. 1996. La influencia de la precipitación horizontal y el efecto de la deforestación sobre la producción hídrica en el Parque Nacional Cusuco. San Pedro Sula, Hond. 62 p.

MOURAILLE, C.; PORRAS, I.; AYLWARD, B. 1996. La protección de cuencas hidrográficas: una bibliografía anotada de hidrología, valoración económica e incentivos económicos. Centro Científico Tropical (CCT), Centro Internacional de Política Económica (CINPE), International Institute for Environment and Development (IIED). San José, C.R. 130 p.

KERFOOT, O. 1968. Mist precipitation on vegetation. Leading review article. Forestry Abstracts, vol.29. pp. 8-20.

Citado por: Stadmüller, T. 1987. Los bosques nublados en el trópico húmedo. Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza,

SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE ECONOMIA AMBIENTAL.  
(1992,

MERIDA, VEN.). 1993. [Informe]. Mérida, Ven., Organización de los  
Estados

Americanos-Departamento de Desarrollo Regional y Medio  
Ambiente/Centro

Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial.  
260 p.

SERRANO, E. 1990. La producción y valoración del agua: un marco  
conceptual y

metodológico. **In** Memorias del Primer Simposio Nacional: El agua en  
el manejo

forestal. (1990, Chapingo, Méx.) Chapingo, Méx, Universidad  
Autónoma

Chapingo. p. 117 – 190.

STADMÜLLER, T., and AGUDELO, N. 1990. Amount and variability of  
cloud

moisture input in a tropical cloud forest. Intern. Assoc. of Hyd. Sci. Pub.  
93:25-32.

Citado por: Brown, M.; Vallejo, A. 1996. La influencia de la  
precipitación

horizontal y el efecto de la deforestación sobre la producción hídrica en el  
Parque Nacional Cusuco. San Pedro Sula, Hond. 8 p.

STADMÜLLER, T. 1987. Los bosques nublados en el trópico húmedo.  
Turrialba,

C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza,  
CATIE. 85 p.

STADMÜLLER, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de  
bosques

naturales tropicales medidas para mitigarlo. Turrialba, C.R., Centro  
Agronómico

Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. 62 p.

TECNORIEGO. 1990. Embalse Quebrada “Los Lirios” con fines de irrigación en

terrenos de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. San Pedro Sula,  
Hond. 27 p.

The Ecoomist. 1995. Agua: la guerra del siglo 21. Sumac (Hond.) no. 17:  
22 – 23.

UNESCO/CIFCA. 1980. Ecosistemas de los bosques tropicales. Madrid,  
España.  
771 p.

VELASQUEZ, J. 1991. Evaluación del sistema de abastecimiento de agua  
potable.

Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. Hond. 16 p.

VILLATORO GRANADOS, N. 1995. Caracterización biofísica y  
redefinición de

límites de la Reserva Biológicas Yuscarán el Paraíso, Honduras. Tesis  
Ing. Agr.

Zamorano, Hond, Escuela Agrícola Panamericana. 104 p.

WEAVER, P.L. 1972. Cloud moisture interception in the Luquillo  
Mountains of

Puerto Rico. Carib.J. Sci. 12(3-4): 129-144.

Citado por: Mouraille, C.; Porras, I.; Aylward, B. 1996. La protección  
de cuencas

hidrográficas: una bibliografía anotada de hidrología, valoración  
económica e

incentivos económicos. Centro Científico Tropical (CCT), Centro  
Internacional

de Política Económica (CINPE), International Institute for Environment  
and

Development (IIED). San José, C.R. 130 p.

WISCHMEIER, W.H. Y SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses.  
USDA handbook 537. Wash. D.C. 58 p.

Citado por: CENTRO CIENTÍFICO TROPICAL (C.R.). 1992. La depreciación de los recursos naturales en Costa Rica y su relación con el sistema de cuentas nacionales. San José, C.R. 160 p.

WORREL, A.C. 1959. Economics of American Forestry. N.Y., John Wiley & sons.  
441 p.

Citado por: Serrano, E. 1990. La producción y valoración del agua: un marco conceptual y metodológico. In Memorias del Primer Simposio Nacional: El agua en el manejo forestal. (1990, Chapingo, Méx.) Chapingo, Méx, Universidad Autónoma Chapingo. p. 117 – 190.

ZADROGA, F. 1981. The hydrological importance of a montane cloud forest area of Costa Rica. In Lal R. And Russel E. W. (Eds.) Tropical Agricultural Hydrology. John Wiley & Sons Ltd. Pp. 59-73.

Citado por: Stadmüller, T. 1987. Los bosques nublados en el trópico húmedo. Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. 85 p.

ZAMORANO. MACROMODULO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA. 1997. Manual de prácticas de campo. Zamorano, Hond. 38 p.

## **Anexo 5. Costos de infraestructura, de la captación de agua potable para Zamorano**

Los costos serán sacados en dólares tomando en cuenta el cambio actual en lempiras que es de 13.25 lempiras por dólar.

### 1.- CAJAS DE CAPTACIÓN

<b>Tipo de caja</b>	<b>Número de unidades</b>	<b>Costo por unidad \$</b>	<b>Costo total \$</b>
<b>Caja de 1 ó 2 chorros</b>	20	1660	33200
<b>Caja, captación mayor</b>	1	4528	4528
<b>TOTAL</b>			37728

### 2.- TANQUES

<b>Tipo de tanque</b>	<b>Número de unidades</b>	<b>Costo por unidad \$</b>	<b>Costo total \$</b>
<b>Almacenamiento</b>	2	60377	120754
<b>Distribución</b>	2	56604	113208
<b>TOTAL</b>			233962

### 3.- LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

#### 3.1 Líneas de PVC entre el tanque de almacenamiento / distribución

<b>Descripción de la línea</b>	<b>No. de líneas</b>	<b>Tamaño en metros</b>	<b>No. tubería en pulg.</b>	<b>Costo tubería por m. Lineal \$</b>	<b>Costo total \$</b>
<b>A</b>	1	2100	6	13	27300
<b>B</b>	2	4200	4	7	29400
<b>TOTAL</b>					56700

### 3.2 Distribución I

<b>Descripción de la línea</b>	<b>No. de líneas</b>	<b>Tamaño en metros</b>	<b>No. tubería en pulg.</b>	<b>Costo tubería por m. Lineal \$</b>	<b>Costo total \$</b>
<b>Tanq. a intercepción con valv. reduct</b>	2	1200	6	13	15600
<b>Valv. reduct. a C.K y PIA</b>	1	400	4	7	2800
<b>Valv.reduct. a Hortic.</b>	1	500	6	13	6500
<b>Auditorio a Hortic.</b>	1	1300	3	4	5200
<b>Hortic. al interior</b>	1	2000	2	3	6000
<b>Hortic. al llano</b>	1	1600	2	3	3200
<b>TOTAL</b>					39300

### 3.3 Distribución II. Desde las válvulas reductoras a Campus parte baja

<b>Descripción de la línea</b>	<b>No. de líneas</b>	<b>Tamaño en metros</b>	<b>No. tubería en pulg.</b>	<b>Costo tubería por m. Lineal \$</b>	<b>Costo total \$</b>
<b>Edificio Principal</b>	1	1150	6	13	14950
<b>Dentro Campus</b>	1	5000	4	7	35000
<b>Entre dormitorios</b>	1	5000	2	3	15000
<b>Entre Campus</b>	1	1000	3	4	4000
<b>Apartamentos a piscicultura</b>	1	2500	3	4	10000
<b>Pisicul. a ganado</b>	1	1000	2	3	3000
<b>Calle inicio de Z.II a Z.III</b>	1	2200	3	4	8800
<b>Cruce a Agronomía</b>	1	1000	3	4	4000
<b>TOTAL</b>					94750

### 3.4 Distribución III. Dirección a Zootecnia

Descripción de la línea	No. de líneas	Tamaño en metros	No. tubería en pulg.	Costo tubería por m. Lineal \$	Costo total \$
Cruce valv. reduc a zootecnia	1	600	6	13	7800
Ceda a caballos	1	1600	4	7	11200
Ceda a aves	1	1800	4	7	12600
Cruce a rastro	1	300	2	3	900
<b>TOTAL</b>					<b>32500</b>

### 3.5 Distribución IV Campus Alto

Descripción de la línea	No. de líneas	Tamaño en metros	No. tubería en pulg.	Costo tubería por m. Lineal \$	Costo total \$
Cruce valv. reduc. A la primera casa	1	1700	3	4	5100
Distrib. Interna	2	2900	2	3	8700
<b>TOTAL</b>					<b>13800</b>

### COSTO TOTAL INFRAESTRUCTURA

DESCRIPCIÓN	COSTO EN DOLARES
Cajas de captación	37728
Tanques	233962
Líneas de PVC entre tanque almacen. Y distribución	56700
Distribución I	39300
Distribución II	94750
Distribución III	32500
Distribución IV	13800
<b>TOTAL</b>	<b>508740</b>

## **COSTOS ANUALES DE MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES**

Los costos de mantenimiento de dichas instalaciones han sido proporcionados por la sección de superintendencia de la E.A.P. Los costos serán dados en dólares , siendo el cambio a lempiras de 13.25.

Costo de mantenimiento anual: **15094.34** dólares

## **COSTOS DE TRATAMIENTO**

Dichos costos también fueron proporcionados por la sección de superintendencia de la E.A.P. Se presentarán costos en dólares, siendo el cambio a lempiras de 13.25.

Costos de Tratamiento: 15.7 por día  
**5718.8** por año

Costos de Análisis: 67.92 por muestreo  
**611.28** anual

Anualmente se realizan 9 muestras .

Anexo 7. Mediciones de caudales en la Estación Santa Inés

Order Number	Date	Ratin	Stage (m)	Velocity (m/s)	Area (sq m)	Discharge (cumecs)	--Comparison-- Diff./Rat Plot
1	20 Apr 1990	?	0.26	0.135	0.48	0.065	
2	23 Apr 1990	?	0.26	0.140	0.48	0.067	
3	23 Apr 1990	?	0.26	0.133	0.48	0.064	
4	24 Apr 1990	?	0.26	0.133	0.48	0.064	
5	24 Apr 1990	?	0.26	0.131	0.48	0.063	
6	25 Apr 1990	?	0.26	0.135	0.48	0.065	
7	25 Apr 1990	?	0.26	0.131	0.47	0.062	
8	26 Apr 1990	?	0.26	0.138	0.48	0.066	
9	26 Apr 1990	?	0.26	0.140	0.48	0.067	
10	27 Apr 1990	?	0.26	0.133	0.48	0.064	
11	27 Apr 1990	?	0.26	0.133	0.48	0.064	
12	28 Apr 1990	?	0.26	0.132	0.48	0.063	
13	28 Apr 1990	?	0.26	0.135	0.48	0.065	
14	30 Apr 1990	?	0.26	0.131	0.48	0.063	
15	30 Apr 1990	?	0.26	0.135	0.48	0.065	
16	02 May 1990	?	0.26	0.131	0.48	0.063	
17	02 May 1990	?	0.26	0.142	0.48	0.068	
18	03 May 1990	?	0.26	0.130	0.48	0.062	
19	03 May 1990	?	0.25	0.130	0.47	0.061	
20	04 May 1990	?	0.25	0.125	0.47	0.059	
21	04 May 1990	?	0.25	0.128	0.47	0.060	
22	05 May 1990	?	0.26	0.128	0.48	0.061	
23	05 May 1990	?	0.25	0.124	0.47	0.058	
24	07 May 1990	?	0.26	0.128	0.48	0.061	
25	07 May 1990	?	0.26	0.119	0.48	0.057	
26	08 May 1990	?	0.26	0.130	0.48	0.062	
27	08 May 1990	?	0.26	0.129	0.47	0.061	
28	09 May 1990	?	0.26	0.124	0.48	0.059	
29	09 May 1990	?	0.26	0.131	0.48	0.063	
30	10 May 1990	?	0.26	0.130	0.48	0.062	
31	10 May 1990	?	0.26	0.130	0.48	0.062	
32	11 May 1990	?	0.26	0.126	0.48	0.060	
33	11 May 1990	?	0.25	0.125	0.47	0.059	
34	12 May 1990	?	0.25	0.121	0.47	0.057	
35	12 May 1990	?	0.25	0.125	0.47	0.059	
36	14 May 1990	?	0.25	0.120	0.47	0.056	
37	14 May 1990	?	0.25	0.122	0.47	0.057	
38	15 May 1990	?	0.25	0.118	0.47	0.055	
39	15 May 1990	?	0.25	0.118	0.47	0.055	
40	16 May 1990	?	0.25	0.121	0.47	0.057	
41	16 May 1990	?	0.25	0.123	0.47	0.058	
42	17 May 1990	?	0.25	0.123	0.47	0.058	
43	17 May 1990	?	0.25	0.123	0.47	0.058	
44	18 May 1990	?	0.27	0.144	0.49	0.071	
45	18 May 1990	?	0.26	0.139	0.48	0.067	

Total Number of gaugins = 45

Fuente: Tecnoriego, 1990.

