

ZAMORANO
CARRERA DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

Plan de restauración para la zona de recarga de la Quebrada La Ciénega, Cerro de Hulá, Honduras, C.A.

Trabajo de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Agroindustria en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por:

Javier Eduardo Arana Ruiz

Honduras
Diciembre, 2002

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

Javier Arana

Honduras
Diciembre, 2002

**Plan de restauración para la zona de recarga de la quebrada La
Ciénega. Cerro de Hulá, Honduras, C.A.**

presentado por:

Javier Eduardo Arana Ruiz

Aprobada:

Nelson Agudelo, M.Sc.
Asesor Principal

Peter Doyle M.Sc.
Coordinador(a) de Carrera Desarrollo
Socioeconómico y Ambiente.

Luis Caballero, M.Sc.
Asesor

Antonio Flores, Ph.d.. D
Decano Académico

Mario Contreras, Ph. D
Director General

DEDICATORIA

Este esfuerzo se lo dedico a Dios por ser El.

A la virgen Maria por su bendición.

A mi Papa y a mi Mama, por darme la vida y hacer su mejor esfuerzo por enseñarme a vivirla.

A mis hermanos por todo su amor.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por toda su luz y bendición.

A mis papas por ser darme aliento y amor a través de toda esta aventura.

A mis hermanos por los rosarios y las piedras de moler.

Al Ing. Nelson Agudelo por su amistad y enseñanzas.

A Arturo Artiga por ser mi hermano 3 años.

A Juan Felipe Gutiérrez, por su amistad y compañía en las grandes batallas.

Jorge Pacas, Rufino Marroquín, y Alex por los buenos momentos en los peores momentos.

Diana Moran por su ayuda y amistad.

Roberto de Jesús Escobar por su apoyo durante mis primeros días en Zamorano..

Ana Valle, Arlen Montoya, Kyra Cáliz, Marielena Pérez por su amistad, y buenos momentos.

Francisco Sáenz, Simón Oramas, Raúl López por los dos últimos años de carrera.

A todos mis colegas, especialmente los Delgadistas, muchas gracias por ser los compañeros en esta aventura.

Cristian L, Rubén G, Miguel G, Francisco H, Daniel R, Mateo P, Estaban S, Jorge B, Javier B, Ricardo S, Laura D, Luis T, Rodolfo I, por regalarme alegría y buenos momentos.

Maria Interiano, gracias por todo.

Las Familias Restrepo, Kaegui, Duarte, Interiano por su apoyo y por hacer mi vida agradable estos años zamoranos.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Agradezco al Banco de Fomento Agropecuario, por el financiamiento brindado para llevar a cabo mis estudios en Zamorano.

Agradezco a mis padres, por el financiamiento brindado para llevar a cabo mis estudios de Ingeniero en Zamorano.

RESUMEN

Arana, Javier. 2002. Plan de restauración para la zona de recarga de la Quebrada La Ciénega, Cerro de Hulá, Honduras, C.A. Tesis de proyecto especial de Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Zamorano, Honduras. Ed. 49p

El agua es fuente de vida en el planeta tierra.. Es esencial y determinante en todos los procesos de la vida cotidiana. A la fecha, menos del uno porciento del total de agua existente en el planeta esta disponible para uso humano. Este recurso no solamente se encuentra mal distribuido a escala mundial, sino que esta contaminado en muchas regiones y zonas del planeta. América latina es una de las regiones mejor dotadas del mundo en términos de agua dulce y debido a sus elevadas cordilleras, las cuencas de montaña desempeñan un papel crucial en la producción y/o regulación de agua dulce. En muchas de éstas cuencas los bosque nublados o nebulosos son trampas hidrológicas determinantes para la captura y posterior infiltración del vapor de agua atmosférico.

Sobre esta base se realizo el estudio de una zona de recarga influenciada por nubes y/o neblinas, enclavada en el Cerro de Hulá, orientado a evaluar su estado ecológico e hidrológico. La zona de recarga, con una superficie de 27.8 ha, pertenece al bosque húmedo montano bajo subtropical y está constituida por basalto fracturado y por suelos derivados de cenizas volcánicas. Se identificaron cuatro usos principales de la tierra: barbecho, agricultura, pantano y potrero. Con base en el mapa de conflictos de la tierra se pudo concluir que la situación de la zona de recarga es critica en términos ecológicos e hidrológicos, ya que sólo los barbechos y el pantano eran uso adecuados. Ante esta situación, se propuso un esquema de restauración para la zona fundamentado en cambios en el uso de la tierra y en la plantación de árboles.

Palabras clave: Bosque nublado, conflictos de uso de la tierra, cuencas de montaña, plan de restauración, zona de recarga.

NOTA DE PRENSA

LLUVIA HORIZONTAL, UNA RESPUESTA A LA CRISIS DE AGUA MUNDIAL

El agua es fuente de vida en el planeta tierra.. Es esencial y determinante en todos los procesos de la vida cotidiana. A la fecha, menos del uno porciento del total de agua existente en el planeta esta disponible para uso humano. Este recurso no solamente se encuentra mal distribuido a escala mundial, sino que esta contaminado en muchas regiones y zonas del planeta. América latina es una de las regiones mejor dotadas del mundo en términos de agua dulce y debido a sus elevadas cordilleras, las cuencas de montaña desempeñan un papel crucial en la producción o regulación de agua dulce. En muchas de éstas cuencas los bosques nublados o nebulosos son trampas hidrológicas determinantes para la captura y posterior infiltración del vapor de agua atmosférico.

El Cerro de Hulá es la segunda fuente de agua más importante para la ciudad de Tegucigalpa, el 90 % de su precipitación está concentrada en seis meses. El cerro se encuentra fuertemente impactado actividades agrícolas y ganadería, lo que ha reducido su potencial de producción de agua y desmejorado la calidad del vital liquido.

La presencia de nubes o neblina es permanente en la zona, sin embargo, el agua que se produce no es captada debido a la ausencia de boque latifoliado que las atrape y condense. Recientemente se realizó un estudio en la zona de recarga influenciada por nubes y neblina en el Cerro de Hulá, orientado a evaluar su estado ecológico e hidrológico. La zona de recarga con una superficie de 27.8 hectáreas, pertenece al bosque húmedo montano bajo subtropical y está constituida por basalto fracturado y por suelos derivados de cenizas volcánicas.

Con base en el estudio, se propuso un plan de restauración, con el fin de incrementar la producción de agua en el cerro, enriqueciendo con árboles la zona de recarga, estabulando el ganado y reduciendo el área agrícola. A largo plazo, se pretende que este plan sea útil en la restauración del Cerro de Hulá, para reducir así los problemas de agua que afronta la ciudad de Tegucigalpa.

TABLA DE CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Agradecimientos a patrocinadores.....	vi
	Resumen.....	vii
	Nota de prensa.....	viii
	Contenido.....	ix
	Índice de cuadros.....	xii
	Índice de figuras.....	xiii
1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Evaluación de los recursos hídricos del mundo.....	1
1.2	Importancia de las cuencas de montaña.....	2
1.3	Situación hidrológica de América Central.....	2
1.4	Justificación.....	3
1.5	Límites del estudio.....	3
1.6	Objetivos.....	4
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1	Importancia de las cuencas de montaña.....	5
2.1.2	El papel de las montañas como productoras de agua.....	5
2.1.3	Efecto del uso de la tierra en montañas sobre la disponibilidad de agua.....	7
2.1.4	Efectos del uso de la tierra sobre la calidad del agua.....	8
2.2	Impacto hidrológico de los bosques.....	8
2.2.1	Conformación de los bosques.....	8
2.2.2	Microclima dentro de bosques.....	8
2.2.3	Precipitación.....	8
2.2.3.1	Precipitación bruta.....	8
2.2.3.2	Precipitación neta.....	9
2.2.4	Interceptación, evaporación, transpiración y evapotranspiración..	9
2.2.4.1	Interceptación.....	9
2.2.4.2	Evaporación.....	10
2.2.4.3	Transpiración.....	10
2.2.4.4	Evapotranspiración.....	10
2.2.5	Infiltración y escorrentía.....	10

2.2.6	Procesos erosivos y pérdida de suelos.....	10
2.2.7	Producción de agua.....	11
2.2.8	Inundaciones.....	11
2.2.9	Calidad del agua.....	12
2.3	Bosques nublados.....	12
2.3.1	Ecología de los bosques nublados.....	13
2.3.1.1	Elementos y factores climáticos.....	13
2.3.2	Estructura, composición y aspectos silviculturales.....	16
2.3.3	Riesgos que enfrentan los bosques nublados.....	17
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1	Ubicación de la zona de estudio.....	19
3.2	Materiales.....	19
3.3	Metodología.....	19
3.3.1	Metodología de levantamiento.....	19
3.3.1.1	Delimitación de la zona de recarga de agua.....	19
3.3.1.2	Levantamiento del mapa de ecosistemas con base en el sistema Holdridge.....	19
3.3.1.3	Levantamiento de mapa de geología y suelos.....	19
3.3.1.4	Levantamiento de mapa de uso actual de la tierra.....	20
3.3.1.5	Levantamiento de mapa de conflictos en el uso de la tierra.....	20
3.3.1.6	Recopilación de información climática de la zona de estudio.....	20
3.3.1.7	Estudio de flora.....	20
3.3.2	Metodología de evaluación.....	20
3.3.2.1	Mapa de ecosistemas.....	20
3.3.2.2	Balance hídrico balance hídrico.....	20
4	RESULTADOS.....	26
4.2	Ecosistemas.....	26
4.3	Geología y suelos.....	26
4.3.1	Perfil del suelo: franco limoso Milile.....	26
4.4	Uso actual de la tierra.....	29
4.5	Conflictos en el uso de la tierra.....	31
4.6	Información climática.....	31
4.7	Balance hídrico.....	31
4.8	Estudio de flora.....	34
4.9	Plan de restauración.....	34
4.9.1	Zona de pantano.....	35
4.9.2	Barbecho.....	35
4.9.3	Potrero.....	36
4.9.4	Agricultura.....	36
5	DISCUSIÓN.....	38
5.1	Eliminación del bosque latifoliado maduro en la zona de recarga de agua y su impacto hidrológico.....	38

5.2	Los esquemas de uso actual de la tierra bajo un contexto hidrológico.....	39
6	CONCLUSIONES.....	40
7	RECOMENDACIONES.....	41
8	BIBLIOGRAFÍA.....	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		
1	Uso actual de la tierra.....	29
2	Información climática.....	32
3	Balance hídrico.....	33
4	Especies presentes en la zona de recarga.....	34
5	Especies recomendadas para restauración de la zona de recarga...	35
6	Especies recomendadas para el banco de proteína.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		
1	Zona de recarga.....	27
2	Uso actual de la tierra.....	30

1.INTRODUCCIÓN

1.1 EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL MUNDO

¡El agua es la vida! El agua es esencial en todos los aspectos de la vida cotidiana, como bebida básica y para producir alimentos y proteger la salud, para producir energía y para el desarrollo industrial, para la ordenación sostenible de los recursos naturales y para la conservación del ambiente. El agua tiene también valores religiosos y culturales. Lamentablemente está escaseando en muchas regiones y zonas del planeta.

Si bien el 70 % del planeta está cubierto de agua, el 97% de esa agua es salada y sólo el 2.5 % es dulce. Cerca del 70 % del agua dulce constituye el hielo de los casquetes polares de la Antártica y Groenlandia y gran parte del resto corresponde a la humedad del suelo o yace en los acuíferos subterráneos profundos no accesibles al uso humano. En consecuencia, menos del 1 % del agua dulce del mundo resulta directamente accesible al uso humano (Recursos Mundiales, 1991).

Gran parte de los casi 110000 km³ de precipitación anual en cada continente se evapora y vuelve a la atmósfera o es absorbida por las plantas. Además, cerca de 42700 km³ del agua que cae sobre la tierra constituye el caudal de los ríos del mundo, siendo este total equivalente a los mayores sistemas lacustres del globo (Jiménez, 1999).

Si se divide el caudal total de los ríos del mundo por la población mundial de 1995 se obtiene un cociente de 7300 m³/persona/año. Esta cifra ha sufrido un 37% de disminución respecto a 1970 (Jiménez, 1999).

Los recursos de agua dulce están distribuidos de manera desigual: en un extremo están los desiertos y en el otro las regiones muy húmedas, que pueden llegar a recibir varios metros cúbicos de lluvia al año. La mayor parte del caudal se encuentra concentrada en unos pocos ríos, el Amazonas con el 16% de la escorrentía mundial y la cuenca fluvial del Congo-Zaire con un tercio del caudal de todos los ríos de África.

El volumen de agua fácilmente accesible para el uso humano es estimado en alrededor de 9000 km³ anuales, a los cuales se añaden 3500 km³ captados y almacenados por presas y embalses, de los cuales aproximadamente el 70 % es usado en agricultura.

La demanda de agua dulce es cada vez mayor, por la creciente población y por la contaminación de las aguas que cada vez es más aguda.

1.2 IMPORTANCIA DE LAS CUENCAS DE MONTAÑA

La mayoría de los ríos importantes del mundo nacen en zonas montañosas y más de la mitad de la humanidad depende del agua que éstas producen, aunque constituyen una proporción relativamente pequeña de las cuencas aluviales (Unasilva, 1998)

Las montañas contribuyen a la producción de agua porque constituyen una barrera, la cual provoca que el aire se eleve, contribuyendo a que éste se enfríe, trayendo consigo precipitación, produciendo escorrentía, recargando con esto las aguas subterráneas y las partes bajas de las cuencas (Unasilva, 1998)

En las zonas húmedas del mundo la proporción de agua generada por las montañas alcanza un 60 % y en las áridas y semiáridas puede llegar a un 90 % (Unasilva, 1998).

1.3 SITUACIÓN HIDROLÓGICA DE AMÉRICA CENTRAL

La región centroamericana es una de las más ricas en agua dulce. Para asegurar esta riqueza a largo plazo es necesario tener en cuenta el ciclo hidrológico, el cual es complejo ya que involucra varios factores (WWWF, Centroamérica 1999).

Los factores que contribuyen a que Centroamérica tenga abundante agua dulce son:
Geomorfología: el sistema montano presenta condiciones favorables para la precipitación y el escurrimiento superficial.

Condiciones meteorológicas: la ubicación de la zona de convergencia intertropical varía a lo largo del año, trayendo consigo precipitaciones y sequías, así como también los fenómenos de El Niño y La Niña.

Existen también factores negativos como el uso de la tierra y la consecuente deforestación reduciendo la infiltración y acelerando los procesos de erosión, pérdida de fertilidad, sequía e inundaciones. Otro factor determinante es la contaminación constante de los ríos, lagos y acuíferos por la descarga constante de químicos en ellos (WWWF, Centroamérica 1999).

La combinación de las condiciones descritas anteriormente plantea problemas en los rubros siguientes:

Abastecimiento de agua: en la vertiente pacífica se presenta, en la época de sequía, una alta demanda. Para suplirla se hace una sobrexplotación de las aguas subterráneas. Por otra parte, la contaminación por desechos sólidos a los cuerpos de agua, hacen del abastecimiento de agua un problema.

El mal manejo de las cuencas, ha traído como consecuencia el deterioro del potencial de producción energético de Centroamérica, el cual es grande.

América Central era un paraíso, el cual se ha ido deteriorando por el desarrollo desordenado y el alto crecimiento demográfico. Se tiene que tomar acción de inmediato para restaurarlo (UNESCO, 1994)

1.4 JUSTIFICACIÓN

A pesar de que las tres cuartas partes del planeta están cubiertas de agua, el 97% de toda el agua de la tierra es salada y del 3 % restante, cerca del 70 %, se encuentra en los casquetes polares y gran parte del resto se encuentra en acuíferos subterráneos inaccesibles al uso humano. En consecuencia, menos del 1 % del agua dulce (0.0071 % del agua de la tierra) resulta directamente accesible al uso humano. Es esta agua la que renueva el ciclo hidrológico (WWWF, Centroamérica 1999).

Aunque la disponibilidad general de agua se considera que ha permanecido relativamente constante, la disponibilidad *per capita* ha disminuido conforme la población y la actividad económica se han expandido. El incremento en la demanda significa que los recursos hídricos superficiales, subterráneos y costeros, sufrirán una contaminación cada vez mayor, con incrementos de conflicto de uso competitivos, y entre estos usos y el ambiente. La escasez de agua ya es crítica en muchos lugares de América Central, llevando incluso a racionamiento de este recurso en ciudades como Tegucigalpa (Jiménez, 1999).

En vista de la problemática anterior, los bosques nublados o nebulosos como también se les llama, se convierten en un recurso cada vez más importante por su capacidad de producir agua, constituyendo las zonas de recarga de las cuencas hidrográficas. Por esta razón es necesario investigar la degradación de las zonas de recarga, para su conservación, o, de ser necesario, su debida restauración.

1.5 LÍMITES DEL ESTUDIO

- Falta de interés de la población por el medio ambiente y su conservación.
- Recursos monetarios para la implementación del plan de restauración.

1.6 OBJETIVOS

GENERAL:

Mejorar e incrementar los conocimientos sobre aspectos relacionados con la hidrolgía forestal y el manejo de cuencas.

ESPECIFICOS:

1. Delimitar una zona de recarga de agua del Cerro de Hulá.
2. Realizar un inventario florístico de las especies nativas existentes en el cerro de Hulá, tanto en bosques de galería como en áreas no ribereñas.
3. Elaborar una propuesta de restauración para la zona de recarga evaluada.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 IMPORTANCIA DE LAS CUENCAS DE MONTAÑA

El agua es esencial para la vida humana, sin ella no habría vida en el planeta. En la actualidad el problema de escasez de agua a nivel mundial es cada vez más apremiante, mas aún en algunas zonas del planeta. En 1950 solo 12 países con 20 millones de habitantes padecieron escasez de agua, en 1990 fueron 26 países con 300 millones de habitantes. Se ha proyectado que en 2050 el problema va a afectar 65 países con 7000 millones de habitantes, es decir, 60 % de la población mundial, principalmente en los países en desarrollo (Recursos Mundiales, 1991).

Las montañas desempeñan un papel decisivo en el suministro de agua dulce a la humanidad, así en regiones montañosas como llanas. En 1992, en la cumbre sobre la tierra (Conferencia de las Naciones Unidas para el Ambiente y el Desarrollo) llevada a cabo en Río de Janeiro se incluyó el Capítulo 13 titulado “Ordenación de los ecosistemas frágiles: desarrollo sostenible de los ecosistemas de montaña”, en el Programa 21, principal documento de la reunión, designándose a la FAO como organismo encargado de este capítulo (Unasilva 1998).

2.1.2 El papel de las montañas como productoras de agua

Todos los ríos grandes del mundo tienen sus cabeceras en tierras montañosas y más de la mitad de la humanidad depende del agua dulce que se acumula en las montañas (Liniger y Weingartner 1998). Aunque constituyen una pequeña parte de las cuencas aluviales, la mayor parte del caudal se origina en las montañas, pero esta proporción depende de las estaciones (Liniger 1998). Dado la creciente demanda de agua que se avecina para el siglo próximo, es de vital importancia la gestión de los recursos hídricos.

Muchas razones impulsan al ser humano a fijar la atención en las montañas, siendo algunos de estos los siguientes:

Abundancia de precipitaciones: Las montañas forman barreras a las grandes masas de aire, obligando las corrientes a elevarse. Al elevarse, las corrientes se enfrían, dando lugar a precipitaciones. Este tipo de precipitación es de vital importancia en las regiones áridas y semiáridas, donde solo las tierras altas tienen suficiente pluviosidad para producir escorrentía y recargar las capas de agua subterránea (Liniger y Weingartner 1998).

Almacenamiento y distribución de agua en las tierras bajas: Las aguas captadas a altitudes elevadas fluyen por gravedad a través de la red fluvial o las faldas acuíferas subterráneas hacia las tierras bajas, donde hay una fuerte demanda de los centros urbanos, la agricultura y la industria. Un ejemplo es la Paz y el Alto, ambas ciudades de Bolivia, dependen sobre todo del agua de los glaciares circundantes por encima de los 4900 msnm.

En las regiones húmedas del mundo el agua generada en las montañas puede alcanzar el 60 % del total del agua disponible en la cuenca, mientras que en las regiones áridas y semiáridas, puede llegar a un 90 % (Weingartner 1998).

El agua como sustentadora de vida: EL agua es imprescindible para la vida humana. Desde 1940 la explotación de todas las fuentes de agua se ha aumentado en más del cuádruple, siendo el 70 % para riego.

La relación entre el agua de las montañas y la producción mundial de alimentos es evidente, en particular en los climas áridos y semiáridos de las regiones tropicales y subtropicales donde se encuentran la mayoría de los países en desarrollo y más de la mitad de la población mundial (Liniger y Weingartner 1998).

Además, el agua almacenada tiene un valor potencial como fuente productora de energía hidroeléctrica. El agua dulce de las montañas mantiene también muchos hábitat naturales, en tierras altas o bajas, contribuyendo así a la conservación de la biodiversidad (Liniger y Weingartner 1998).

Ecosistemas frágiles: Las montañas son ecosistemas frágiles, lluvias muy fuertes, fuertes pendientes y suelos poco firmes pueden dar como resultado fuertes escorrentías, altas tasas de erosión y hasta deslizamientos de tierra. El uso de la tierra, el desarrollo de infraestructuras, la minería y el turismo en las zonas montañosas pueden condicionar notablemente la cantidad y la calidad del agua de los ríos y los acuíferos (Weingartner 1998).

Conflictos en torno al agua: En todo el mundo, 214 cuencas fluviales, que acogen al 40% de la población mundial y abarcan más del 50 % de la superficie terrestre de continentes e islas, son compartidas por dos o más países (Weingartner 1998).

En 1995 el agua fue causa de 14 conflictos internacionales teniendo como ejemplo principal el árabe-israelí habiendo también disputas regionales por agua en diversos países.

Uso de las montañas: repercusiones directas e indirectas. Recientes estudios han demostrado que el uso de las montañas trae consigo efectos directos e indirectos.

Los efectos directos son: el uso del agua de ríos y acuíferos mediante tomas y bombeo, traen repercusiones sobre la cantidad de agua disponible.

La contaminación de las fuentes de agua con aguas residuales afecta la calidad de ésta. La facilidad de verificación de estos efectos hace posible su control a través de políticas y normas que controlen los desagües y el uso del agua.

Los efectos indirectos son: el uso de la tierra que altera el ciclo y la cantidad del agua, la contaminación difusa, influye sobre la calidad del agua y en muchas situaciones es la causa principal de contaminación de las aguas.

Los efectos indirectos son mucho más difíciles de identificar y cuantificar que los directos por las complicadas interacciones de agua, suelo y su vegetación, por lo que son más difíciles de combatir.

2.1.3 Efecto del uso de la tierra en montañas sobre la disponibilidad de agua

Las regiones montañosas están actualmente amenazadas por la deforestación, la agricultura y el turismo, así como por la creciente demanda de sus recursos en los valles densamente poblados. A menudo son zonas marginales para ser habitadas por el hombre, por las dificultades derivadas de las fuertes pendientes, la pobreza de los suelos, las temperaturas frías y la inaccesibilidad. Los valles próximos suelen ser más favorables para los asentamientos, la agricultura y la industria, pero dependen de los recursos hídricos de las montañas (Liniger, 1995).

Precipitaciones mayores a la tasa de infiltración, traen consigo erosión de las capas superficiales del suelo, reduciéndose la fertilidad natural del lugar, bajando la productividad del mismo (Liniger, 1995). Esto es compensado ampliando el área cultivada, descombrando nuevas áreas, completándose un ciclo vicioso. Es difícil determinar que tipo de suelo, uso de la tierra y condiciones climáticas inician este ciclo y en que punto se pierde la capacidad de recuperación para las generaciones futuras (Hamilton, 1987).

La vegetación natural y sus varias capas, tienen altas capas de infiltración y dan una buena protección a las capas superficiales del suelo. Todo cambio en el uso de suelo, reduce la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua en el mismo (Hamilton, 1987).

Las repercusiones del cambio de uso de la tierra son más apremiantes en su etapa de transición (primeros meses después del cambio), siendo estas menguadas una vez la

cobertura vegetal se restablece, llegándose a desarrollar en las montañas de todo el mundo, sistemas de producción agrícola más sostenibles (Hamilton, 1987).

Otro problema generado por el cambio en uso de la tierra es la reducción de la evapotranspiración, trayendo consigo cambios en los niveles freáticos y contribución al caudal fluvial.

2.1.4 Efectos del uso de la tierra sobre la calidad del agua

Toda intensificación en el uso de la tierra, trae consigo la reducción en la calidad del agua. Aún cuando no se altere el ciclo del agua, el uso de químicos en la agricultura, contamina el agua de ríos y arroyos. La escorrentía puede aumentar la contaminación difusa, la cual ha sido cada vez mayor en los últimos años (Unasilva, 1998)

2.2 IMPACTO HIDROLOGICO DE LOS BOSQUES

2.2.1 Conformación de los bosques

Los bosques tienen una biomasa aproximada de 400 – 500 m³/ha y su masa está formada por estratos horizontales compuestos por tres estratos de árboles, un estrato de arbustos y un estrato de herbáceas (Richards, 1981). Esta estructura por estratos tiene gran influencia en el microclima e influye grandemente en los procesos y elementos hidrometeorológicos (Richards, 1981).

2.2.2 Microclima dentro de bosques

EL microclima se define como el clima de espacios reducidos y definidos, o el clima cercano a la superficie (Whitmore, 1990).

EL microclima en bosques varía aunque generalmente es caracterizado por alta humedad, ausencia de vientos fuertes y temperaturas extremas y el amortiguamiento de la caída de la lluvia (Whitmore, 1990). Este microclima favorece el crecimiento de arbustos y plantas herbáceas, así como una cobertura del suelo por materia orgánica en procesos de descomposición, siendo estos elementos de vital importancia para la conservación de suelos y la infiltración (Morgan y Davidson, 1986).

2.2.3 Precipitación

2.2.3.1 Precipitación Bruta. La precipitación bruta es definida como la precipitación que llega a la parte superior de la vegetación. El efecto que los bosques tienen sobre la precipitación bruta es un tema donde existen muchos mitos y mal entendidos llegando a creer que los bosques producen lluvia, por lo cual es necesario aclarar que los procesos meteorológicos que causan eventos de precipitación generalmente no dependen de la cobertura vegetal sobre la cual se precipita el agua (Hamilton y King, 1983). Ello implica que una determinada superficie de bosque no influye sobre la ocurrencia, cantidad y duración de eventos de precipitación a los cuales está expuesta (Bruijnzeel, 1990).

Sin embargo, en el trópico húmedo existen dos excepciones:

1. En áreas boscosas muy extensas, como la Cuenca del Río Amazonas, existe cierto ciclaje de humedad a través de procesos de evapotranspiración, condensación y precipitación en la misma región a nivel de gran escala.
2. En ciertas zonas montañosas cubiertas a menudo por nubes y/o neblinas, los bosques nublados a través de mecanismos de condensación y captación directa de las nubes pueden aumentar la precipitación bruta (Stadtmüller, 1987)

2.3.3.2 Precipitación neta. Es la cantidad de precipitación que llega al suelo por goteo directo, goteo de la vegetación y escorrentía de los tallos. Bajo regímenes de lluvia similares la precipitación neta es menor en bosques que en otros tipos de cobertura (Baumgartner y Brunig, 1978), debido a la interceptación de la precipitación por el bosque.

2.2.4 Interceptación, evaporación, transpiración y evapotranspiración

2.2.4.1 Interceptación. Es la cantidad de agua precipitada, detenida por la vegetación y luego evaporada, esta puede ser absoluta o relativa.

Interceptación absoluta es la cantidad de agua que puede ser interceptada por una cobertura vegetal; se ajusta a un valor determinado por la capacidad de almacenamiento. Este valor depende de la estructura y densidad de la vegetación y sobre todo de su índice de área foliar (IAF), (Stadtmüller, 1987).

Interceptación relativa depende de las características del evento de precipitación y disminuye porcentualmente con la cantidad de lluvia por evento (Stadtmüller, 1987).

Los bosques son generalmente capaces de interceptar más agua que otras coberturas vegetales. Su capacidad de almacenamiento depende de la estructura y corresponde a una cantidad de agua equivalente a varios milímetros de precipitación (Baumgartner y Bruing, 1978). La variación temporal y espacial de la interceptación en bosques tropicales es muy pronunciada. La excepción la constituyen los bosques nublados, donde la interceptación es mínima y la lluvia horizontal puede llegar a superarla (Stadtmüller 1987).

Se han realizado numerosas investigaciones acerca de la cantidad interceptada por los bosques llegando a resultados preliminares. Según Bruijnzeel (1990) los bosques húmedos tropicales de bajura tienen un promedio de interceptación de 13% y para bosques de montaña 18%. Este aspecto se continúa investigando en virtud de que no se tomó en consideración en estos estudios la hojarasca y la vegetación herbácea.

2.2.4.2 Evaporación. Evaporación es definida como la cantidad de agua evaporada desde el suelo. El monto evaporado en suelos forestales es bajo por las condiciones micro climáticas que predominan en los bosques (Baumgartner, 1970).

2.2.4.3 Transpiración. La transpiración es la pérdida de agua principalmente por los estomas, relacionada con los procesos productivos de las plantas (Baumgartner, 1970). Los bosques son la cobertura que tienen las tasas más altas de transpiración de todas las coberturas vegetales (Baumgartner, 1970).

2.2.4.4 Evapotranspiración. La evapotranspiración es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por los estomas de las hojas.

Los bosques evapotranspiran más que cualquier otra cobertura vegetal bajo las mismas condiciones microclimáticas (Baumgartner, 1970). Esto se debe a su alta capacidad de almacenamiento y a los valores elevados de transpiración por su elevado índice de área foliar y por los sistemas radicales extensos y profundos. Según una amplia revisión de estudios de evapotranspiración, la evapotranspiración por bosques de bajura varía entre 1400 y 1430 mm/año, mientras que el rango para bosques de montaña es de 1155 a 1295 mm/año con excepción de bosques nublados que tienen valores de evapotranspiración mucho mas bajos (308 – 392 mm/año).

2.2.5 Infiltración y escorrentía

La capa de humus y la ausencia de un uso intensivo facilitan la infiltración e inhiben la destrucción de agregados y desecamiento del suelo. El humus contribuye a la retención de la humedad y a la infiltración gradual de ésta junto con material orgánico disuelto lo que mejora la estructura del suelo y su capacidad de infiltración (Hamilton y King 1983). En la mayoría de suelos forestales la capacidad de infiltración supera la intensidad de las lluvias, infiltrándose la mayor parte del agua que llega al suelo, favoreciendo la calidad de agua de la cuenca.

La alta capacidad de infiltración de los suelos forestales se debe principalmente a los siguientes factores: densidades relativamente bajas y estructura favorable del suelo, uso inexistente o poco intensivo, interceptación parcial de la precipitación bruta, cobertura del suelo por material orgánico y ausencia del golpeteo directo de las gotas de lluvia en el suelo mineral. Además, el porcentaje de materia orgánica es alto lo que incrementa la capacidad de campo (Zinke, 1970).

2.2.6 Procesos erosivos y pérdida de suelos.

Los bosques debido a su microclima, condicionan coberturas de arbustos y plantas herbáceas; ésta traen consigo altas cantidades de materia orgánica en descomposición,

que acompañadas a las raíces profundas de los árboles y arbustos son estabilizadores del suelo.

En cuanto a la vegetación no son los árboles grandes del bosque tropical los que tienen el papel principal de protección del suelo, sino el sotobosque, ya que este no solo amortigua el agua de la precipitación, sino también la que cae de las copas de los árboles, lo que disminuye el poder erosivo de las gotas a pesar del alto potencial erosivo de las lluvias.

Los árboles estabilizan las orillas de los ríos contra erosión directa provocada por éste (Nikolaenko, 1970) pero en a su caída actúan como palanca, dejando suelos descubiertos erosionables, de allí la importancia de manejar las coberturas arbóreas de zonas ribereñas (Nikolaenko, 1970).

Los bosques con sus raíces profundas pueden estabilizar pendientes contra deslizamientos, tomando en cuenta la pendiente y situación geológica del lugar (Bruijnzell, 1990). Este efecto es relevante en suelos con profundidades menores a un metro, en suelos con profundidades mayores a tres metros no causa ningún efecto (Bruijnzell, 1990).

2.2.7 Producción de agua.

Contrario a lo que es generalmente aceptado, los bosques producen menos agua que otras coberturas, como pastos o terrenos en barbecho (Hamilton et. al., 1985). En regiones tropicales la diferencia puede alcanzar hasta un 10 %. Esta diferencia es debida a las altas tasas de evaporación de los bosques (Baumgartner, 1970).

El manejo de la cobertura forestal puede realizarse con el objetivo de aumentar la producción de agua realizando una tala selectiva de árboles, para reducir la interceptación y transpiración de los árboles. (Lull, 1970).

2.2.8 Inundaciones

El papel que juegan los bosques en la mitigación de inundaciones es debido a la influencia de estos en algunos procesos como son:

Los bosques mantienen el suelo en su lugar, así evitan procesos de erosión acelerada y transporte de material a los cauces (Hamilton, 1987).

La capacidad de los bosque de estabilizar las laderas contra la erosión en masa disminuye el riesgo de deslizamientos y derrumbes (Bruijnzeel, 1990).

Las áreas boscosas mitigan caudales pico en cuencas pequeñas debido a su capacidad de infiltración y a que su alta evapotranspiración aumenta la capacidad de recarga (Hamilton, 1987).

Ahora bien, los bosques no pueden prevenir inundaciones mayores, ya que éstas ocurren cuando lluvias fuertes y prolongadas se precipitan sobre cuencas extensas y el suelo se satura con agua, no importando la cobertura vegetal del suelo ((Hamilton, 1987).

2.2.9 Calidad del agua

Las cuencas cubiertas por bosques producen agua de muy buena calidad por la alta infiltración, las bajas tasas de escorrentía superficial y la ausencia de erosión acelerada. Los bosques son excelentes filtros naturales, teniendo los bosques vírgenes la mejor calidad de agua posible (Rothacher, 1970)

La sombra de los árboles, evita que aumente la temperatura en los cauces, y así cambios químicos y biológicos relacionados con la temperatura (Rothacher, 1970).

El agua proveniente de las cuencas forestales se caracteriza por el bajo contenido de sedimentos, baja turbidez, bajo contenido de organismos infecciosos, baja temperatura, así como un alto contenido de oxígeno disuelto.

Las intervenciones silviculturales y operaciones de manejo forestal pueden alterar algunos parámetros de calidad de agua, como son sedimentos y turbidez así como también la temperatura y oxígeno disuelto.

2.3 BOSQUES NUBLADOS

El termino bosque nublado se refiere, en líneas muy generales, a bosques afectados o influenciados por la frecuente presencia de nubes y/o neblinas. De acuerdo a estudios realizados, los límites del piso altitudinal de la ocurrencia de bosques nublados en el trópico en relación con la latitud geográfica son, el límite inferior varía entre 1500 y 2500 msnm, y el superior entre 2400 y 3300, o sea, existe un rango de 800 a 1000 m que no varía con la latitud. Esto es una escala muy general que solo puede dar una idea aproximada a nivel mundial.

Se ha demostrado que a nivel regional o local existen factores climáticos y geográficos que influyen adicionalmente en la altura y en el proceso de formación de nubes, así como el tipo de nubes, su contenido de agua, su espesor y su dinámica (Stadtmüller, 1987)

Los factores climáticos y geográficos que intervienen e influyen en los límites altitudinales de los bosques nublados de trópico húmedo son:

- Contenido promedio de humedad en la atmósfera.
- Generación de nubes por procesos convectivos o advectivos.
- Efectos de la inversión de los vientos alisios y sus cambios sobre la formación de las nubes.
- Dirección y velocidad de los vientos predominantes.

- Efecto de la elevación de masas.
- Forma y orientación de las cordilleras
- Micro-relieve de las montañas, que pueden causar importantes efectos topoclimáticos.
- Distancia promedio al mar más cercano en función de los vientos predominantes.
- Temperatura superficial y corrientes predominantes del mar más cercano.

Por lo tanto, no es posible precisar los límites altitudinales de los bosques nublados válidos para todo el trópico húmedo. Tampoco se puede determinar el ancho del piso altitudinal de los bosques nublados en función de la latitud.

Según el sistema de vida de Holdridge (1982) los bosques nublados como “asociación atmosférica muy húmeda” predominan en las zonas de vida desde bosque húmedo a bosque pluvial de las fajas Premontano a Montano Bajo, aunque Myers (1969) destaca que bosques nublados pueden ocurrir también en otras zonas de vida o fajas orográficas.

2.3.1 Ecología de los bosques nublados.

2.3.1.1 Elementos y factores climáticos. Se le llama lluvia horizontal al ingreso de agua al sistema condicionado por procesos de condensación de humedad de nubes o neblina en las superficies de la vegetación, o por captación directa de gotitas de nubes a través de la vegetación, éste significa una entrada de agua a los bosques adicional a la precipitación.

La cantidad de precipitación horizontal depende de factores relacionados a la vegetación así como también, a factores y elementos climáticos. Los factores relacionados con la vegetación, son los siguientes:

- Altura de la vegetación.
- Estructura del dosel (influye sobre la rugosidad y causa micro turbulencias).
- Tamaño, cantidad, colocación y agrupación del follaje.
- Cantidad, formas y especies epífitas.

Según Juvik y Ekern citados por Stadtmüller (1986), la precipitación horizontal se puede medir con dos métodos que son:

1. coleccionar la precipitación total debajo del dosel por medio de canoas o pluviómetros y compararla con la lluvia encima del bosque.
2. coleccionar las gotitas de nubes mediante aparatos artificiales llamados atrapa nieblas.

El primer método da valores reales de precipitación neta, la cual ecológica e hidrológicamente es relevante, pues permite estimar el aporte real de la precipitación horizontal a la precipitación neta. Este método tiene la limitante de requerir mucho equipo, resultando costoso e implicando la dificultad de que el lugar de las canoas recolectoras o los pluviómetros no sea representativo para el lugar en general.

EL segundo método ha sido utilizado por muchos científicos como Ekern, Baynton, Vogelmann y Caceres entre otros fuera del trópico, pues éste determina la cantidad que se puede extraer de las nubes por procesos de condensación y captación en obstáculos artificiales. La dificultad de utilizar atrapa nieblas es encontrar el diseño de un aparato que permita deducir la cantidad de agua captada por él mismo al ecosistema a investigar. Otro problema de el atrapa nieblas es la selección de la altura sobre el suelo.

En los bosques húmedos los valores absolutos de la precipitación horizontal son variables, oscilando entre 325 mm/a y 941 mm/a y los valores relativos entre 7,2 por ciento y 158,5 por ciento, siendo estos mayores en la estación seca donde se alcanzan los valores pico Juvik y Ekern citados por Stadtmüller (1986). Es muy probable que la cantidad de agua relativamente alta recibida por la precipitación horizontal durante los periodos secos juegue un papel muy importante en la ecología de los bosques nublados.

Según Juvik y Ekern citados por Stadtmüller (1986) el barlovento recibe generalmente mucho mas precipitación horizontal que el sotavento, tanto en valores absolutos como relativos.

Es importante también mencionar, que árboles solitarios captan mucho más precipitación horizontal por área que bosques de la misma especie, esto se debe según algunos autores a que un factor fundamental en la vegetación para captar y condensar agua de las nubes es su exposición al viento.

Poco se sabe sobre el efecto de forma y tamaño de las hojas sobre la intercepción horizontal; sin embargo algunos autores como Went (1955) y Vogelmann (1973) citados por Stadtmüller (1986) opinan que las coníferas son más eficientes que las latifoliadas.

Aspectos macroclimáticos: en general los aspectos macro climáticos que afectan los bosques nublados son los siguientes:

- Frecuencia de nubes.
- Estructura de la topósfera
- El efecto de elevación de masas influye en la distribución y el perfil vertical de la temperatura y así en la formación de nubes.
- La dirección y velocidad de los vientos predominantes en conjunto con el contenido promedio de humedad.
- La distribución temporal de lluvias y la presencia de nubes.
- El diámetro de las gotas de aguas contenidas en las nubes.
- La inversión de los vientos alisios.
- El tipo de nubes que predomina en el bosque húmedo.

Aspectos mesoclimáticos: existe poca información sobre este tema, pero Huber (1976) citado por Stadtmüller (1986), lo subdivide en tres tipos según diferencias de estructura:

1. Bosque nublado de transición con tres estratos y árboles que frecuentemente se elevan sobre el dosel (aproximadamente entre 800 y 1100 msnm).

2. Bosque nublado verdadero con dos estratos, algunos árboles que se elevan sobre el dosel, gran riqueza en palmeras y un máximo de sinusias de epífitas en cantidad y diversidad (aproximadamente entre los 1100 y 1600 msnm).
3. Bosque nublado del piso superior con un estrato de árboles dominantes, un estrato de palmeras como estrato dominado y mucho menos epífitas que en los otros dos tipos (por encima de 1600 msnm).

Aspectos microclimáticos: en cuanto al microclima, en bosques nublados, existen solamente algunos estudios limitados.

Ahora bien aparte de las características generales del microclima en los bosques húmedos tropicales se pueden resumir las siguientes propiedades microclimáticas en los bosques nublados:

- Alta humedad relativa del aire en combinación con la precipitación horizontal. Estos dos factores asociados, a con las temperaturas relativamente bajas, mantienen los bosques nublados permanentemente húmedos, ayudado por la presencia de plantas epífitas que contribuyen también a mantener el microclima húmedo.
- El viento favorece la transpiración porque baja la resistencia externa de transpiración. Sin embargo, corrientes de aire muy húmedo pueden bloquear la transpiración al depositar permanentemente agua sobre las hojas.
- La presencia de estructuras xeromórficas, cuyas causas siguen en discusión.

Características edáficas: según Whitmore (1975) citado por Stadtmüller (1986) los bosques nublados tienen una capa gruesa y continua de residuos orgánicos, coincidiendo con varios autores en que estos residuos orgánicos se encuentran en zonas de nubes densas y persistentes. La formación del suelo está afectada en forma muy marcada por el gran ingreso de agua al ecosistema. Las consecuencias de este fenómeno son:

- Lixiviación
- Podsolación
- Saturación completa del suelo con agua.

Según Frangi (1983) el bajo déficit de saturación atmosférica en los bosques nublados hace que el bombeo de agua desde el suelo hacia la atmósfera sea muy reducido, favoreciendo así condiciones pantanosas aún en lugares de mayor permeabilidad y pendiente. Además las bajas temperaturas, que predominan en muchos bosques nublados por su altura sobre el nivel del mar reducen la actividad biológica en el suelo y la meteorización química, teniéndose generalmente suelos ácidos (pH 3 a 3.5) aun en suelos desarrollados sobre material calcáreo.

Características hidrológicas a nivel de cuencas: la eliminación de los bosques en cuencas, significa un aumento en los caudales, debido a la reducción de pérdidas por la alta evapotranspiración característica de los bosques. Sin embargo en el caso de bosques nublados, especialmente en zonas tropicales, la deforestación puede causar una pérdida

sustancial de agua en la cuenca, esto se debe principalmente a la precipitación horizontal. Tosi (1974) citado por Stadtmüller (1986) menciona que la deforestación de bosques nublados tropicales da lugar a una disminución de los caudales, lo que significa a la vez una reducción de la recarga de los acuíferos subterráneos. Además de el efecto esponja mismo que tiene gran importancia hidrológica, su remoción puede tener consecuencias catastróficas para los valles situados aguas abajo.

En la hidrología de bosques nublados interviene además un factor energético cierta cantidad del agua depositada por medio de la precipitación horizontal sobre las hojas corresponde a la cantidad de agua evaporada desde las hojas durante horas sin nubes. Esta cantidad de agua habría sido usada en transpiración de agua proveniente del suelo (Stadtmüller 1986).

Por lo tanto, Zadroga (1981) citado por Stadtmüller (1986) resume tres componentes de mayor importancia para evaluar el efecto de bosques nublados sobre la hidrología de una cuenca:

- Incremento de precipitación neta.
- Disminución de la tasa de evapotranspiración.
- Regulación de régimen hídrico, especialmente durante periodos “secos” (en términos de lluvia).

La importancia de la precipitación horizontal como proveedora de agua en las cuencas ha sido cada vez mas conocida, aumentado su importancia en la época seca y dando mayor énfasis al manejo de bosques nublados, principalmente en el trópico.

Factores Bióticos: Entre los factores bióticos en los bosques nublados, uno de los más importantes lo constituye la presencia de epífitas, pues según muchos autores los bosques nublados constituyen el medio ambiente optimo para que éstas se desarrollen.

Las epífitas incluyen una gran variedad de formas de vida e introducen así un elemento fisonómico nuevo en sus árboles huéspedes, además éstas aprovechan directamente la precipitación horizontal, siendo esta la causa principal de abundancia de epífitas en bosques nublados, pudiéndose encontrar éstas en las copas de los árboles dominantes.

Otro fenómeno frecuentemente encontrado en los bosques nublados es el endemismo de flora o fauna, siendo estos de vital importancia para la conservación de especies en peligro. Además muchas especies utilizan estacionalmente los bosques nublados en sus migraciones latitudinales como en sus estacionales desplazamientos altitudinales en busca de refugio y alimento (Stadtmüller, 1986).

2.3.2 Estructura, composición y aspectos silviculturales.

Según Beard (1955) citado por Stadtmüller la estructura del bosque húmedo típico esta compuesta por dos estratos de árboles, que alcanzan 10 y 20 metros respectivamente.

El estrato superior puede ser más alto en condiciones favorables. Pero esta no es una regla debido a la alta heterogeneidad de los bosques encontrándose amplias variaciones. En cuanto a composición florística en los bosques nublados se han realizado estudios en situaciones diferentes, obteniéndose resultados diferentes.

En aspectos silviculturales, se han realizado varios estudios sugiriéndose el método de entresaca con adaptaciones para los diversos sitios, así como el enriquecimiento del bosque con especies valiosas.

Los bosques nublados del trópico húmedo no son comparables silviculturalmente por las razones siguientes:

1. Condiciones climáticas desfavorables
2. Condiciones topográficas desfavorables.
3. Condiciones edáficas desfavorables.
4. Alto riesgo de erosión.
5. Función hidrológica.
6. Protección de comunidades con flora y fauna endémica, y conservación de recursos genéticos.
7. Protección de elementos paisajistas únicos.

2.3.3 Riesgos que enfrentan los bosques nublados

Aparentemente existe una historia diferente de uso de los bosques nublados en los países mesoamericanos con respecto a los andinos, porque los primeros iniciaron su colonización en las tierras bajas y los otros en zonas montañosas, además en la región andina la colonización comenzó antes de la venida de los españoles.

La situación actual de los bosques nublados es crítica, siendo de los sistemas que se están transformando más rápidamente (Kappelle, 2002).

Puerto Rico, con 890,000 ha en el tiempo de la venida de los españoles, para 1950 solo persistían 3,400 ha, pero se ha realizado un importante trabajo de reforestación, teniéndose 21 % de área forestal en el país. República Dominicana ha perdido el 90 % de sus bosques (García-Roersh 1996). En Méjico se estima que mas del 50 % del bosque mesófilo de montaña ha desaparecido y la tendencia continua (García-Roersh 1996) en Colombia se calcula que el 10 % de los bosques andinos esta intacto (Henderson et al. 1991) y quizá menos del 5 % (Kappelle 2002), aunque al menos 25 % mantiene su fisonomía forestal Cavelier citado por Kappelle.

En Ecuador, los bosques nublados han desaparecido completamente de Valle Central y solo queda el 4 % de la vertiente occidental (Dodson y Gentry 1991). Según Mejía (2002) citado por Kappelle se ha previsto que Honduras perderá sus bosques montanos de hoja ancha en 20 años, si continúa su ritmo de explotación. En Ecuador se está dando un

proceso de sabanización en los últimos 20 años que ha substituido el anterior paisaje de bosques por una homogeneidad de potreros, campos de cultivo y plantaciones con especies exóticas (Kappelle 2002).

Por otro lado en algunas regiones la situación no es tan caótica. En Costa Rica, en la cordillera de Talamanca, hacia 1950 solo se había deforestado el 0.3 % de sus bosques; en los 40 años siguientes la deforestación alcanzó 13 % y luego se estacionó en una tasa de 0.1 % cada 10 años (Kappelle 2002). En Argentina los bosques que ocurrieron a principio del siglo XX aun persisten en un 90 %, con excepción de las selvas pedemontanas que desaparecieron en un 90 % a causa del cultivo de la caña de azúcar .

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El estudio fue realizado en el Cerro Hulá, departamento de Francisco Morazán, entre los 13° 56' 77" N y 87° 11' 18" W a una altura de 1520 msnm.

3.2 MATERIALES

- Vehículo
- GPS
- Tijeras para recolección.
- Computadora
- Disquetes
- Prensas

3.3 METODOLOGIA

3.3.1 Metodología de Levantamiento

3.3.1.1 Delimitación de la zona de recarga de agua. Para delimitar se tomó como base la divisoria de cuencas hidrográficas y el contacto permanente y/o temporal de nubes y/o neblinas.

3.3.1.2 Levantamiento del mapa de ecosistemas con base en el Sistema Holdridge. Para éste fin se recorrió la zona de recarga de agua desde la porción más bajas hasta las más altas, con un altímetro calibrado. Para el reconocimiento, clasificación y cartografía de ecosistemas se utilizó el diagrama de clasificación de zonas de vida.

3.3.1.3 Levantamiento de mapa de geología y suelos. El mapa de geología y suelos se levantó con base en el estudio de suelos de Honduras y en reconocimientos terrestres.

3.3.1.4 Levantamiento de mapa de uso actual de la tierra. Para tal efecto, se hizo uso de un Sistema de Posicionamiento Geográfico, recorriendo los perímetros de las áreas de los diferentes usos para delimitarlas, pasándose luego a su corrección en las computadoras del laboratorio de SIG de la Escuela Agrícola Panamericana.

3.3.1.5 Levantamiento de mapa de conflictos en el uso de la tierra. Los conflictos en el uso de la tierra se determinaron con base en los siguientes mapas temáticos: ecosistemas y uso actual de la tierra

3.3.1.6 Recopilación de información climática de la zona de estudio. En la Unidad de Recursos Hídricos del Ministerio de Recursos Naturales, se obtuvo la información climática de temperatura, precipitación y de otros elementos climáticos, registradas en estaciones enclavadas dentro o en las proximidades de las zonas de recarga. Ante la ausencia de esta información, total o parcial, se procedió al uso de extrapolaciones por medio de mapas de isohietas e isotermas medias mensuales.

3.3.1.7 Estudio de flora. Para la zona de recarga. El muestreo se hizo por medio de transectos verticales (siguiendo los cauces de las quebradas permanentes y/o intermitentes) y horizontales. Las especies se identificaron directamente en el campo, en el caso de que fueran conocidas, o se recolectaron especímenes para su posterior clasificación en el Herbario Paúl C. Standley de Zamorano.

3.3.2 Metodología de evaluación

3.3.2.1 Mapa de ecosistemas. para la cartografía de ecosistemas se tomó como base el sistema Bioclimático de Holdridge.

3.3.2.2 Balance Hídrico. Con la información climática disponible de temperatura y precipitación mensuales, se evaluó el movimiento del agua en el suelo en la totalidad de la zona de recarga por medio de la técnica de balance hídrico. Para tal efecto, se aplicó el modelo de Holdridge.

Método de Holdridge. Esta técnica utiliza como importación primaria para el cálculo del escurrimiento, valores mensuales de temperatura y precipitación del más largo periodo de registro. Se asume que la microcuenca está localizada sobre un clima zonal o normal, en términos de biotemperatura anual y precipitación promedio total anual, según su ubicación hemisférica.

El método o procedimiento para el cálculo del balance hídrico fue desarrollado por el Centro Científico Tropical, posiblemente en la década del '70.

Agudelo en la década de los '80 publicó este procedimiento cuando se continuó con la actualización del mapa ecológico de Honduras (Departamentos de Comayagua, Cortes, Atlántida, Yoro y Francisco Morazán)

La metodología se diseñó con el propósito de publicar balances hídricos por ecosistemas en la memoria explicativa de los mapas ecológicos publicados en esa década.

El documento de Agudelo se copia textualmente, pero no se encierra entre comillas.

PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DEL BALANCE HIDRICO EN LA ASOCIACION CLIMATICA

Paso # 1: En la Línea de 1 tabla de valores (véase anexo 1) para el cálculo del balance hídrico, se colocan los promedios de un término largo de las biotemperaturas medias mensuales. Para la determinación de este parámetro se procede de la siguiente manera: aquellos meses con temperatura media mensual del aire menor a 24 °C, tendrán una biotemperatura media mensual igual a la temperatura. Para los meses con temperatura media mensual del aire mayor de 24 °C, se deberá obtener la biotemperatura media mensual mediante el empleo de la fórmula empírica:

$$T \text{ bio} = t - \left[\frac{\text{grados de latitud} * (t - 24)^2}{100} \right]$$

Donde:

t bio = Biotemperatura promedio mensual

t = Temperatura promedio mensual

Los promedios deben tomarse con una cifra decimal. También se entra en la última columna la biotemperatura media anual, la cual se calcula sumando las medias mensuales y dividiendo el total por 12.

Paso # 2: Como se ha discutido antes, la evapotranspiración potencial es una función directa de la biotemperatura. La evapotranspiración potencial para cada mes y su total anual, se computa multiplicando las biotemperaturas medias de cada mes por las constantes 5.00 para los meses de 31 días 4.48 para los meses de 30 días y por 4.56 para

el mes de febrero. Cada producto se calcula al milímetros mas cercano y se coloca en la columna correspondiente a su mes, en la Línea 2.

Para obtener la evapotranspiración potencial del año, se coloca en la última columna de esta fila, se suman los valores correspondientes a los doce meses.

Paso # 3: a base de los datos de un período largo de precipitación, se obtienen los promedios mensuales de precipitación total, que se entran en forma parecida, más el total anual, en las columnas de la Línea 4.

Paso # 4: Cuando la precipitación total anual es igual o mayor a la evapotranspiración potencial total durante el año (Líneas 4 y 2 respectivamente), la evapotranspiración real potencial (Línea 3) es igual a la evapotranspiración potencial (Línea 2) por mes y se pueden combinar las Líneas 2 y 3 como se ha hecho en algunas de las tablas presentadas en este estudio. Pero cuando la precipitación total anual es menor que la evapotranspiración potencial, es necesario hacer un ajuste para los efectos de la vegetación natural que, debido a sus adaptaciones especiales al grado de sequedad existente en tales climas, tendrán una reducida transpiración potencial. El ajuste se hace en la forma siguiente: a) se divide la precipitación total anual por la evapotranspiración total anual, lo que dará un valor siempre inferior a 1.00; b) empleando este valor como una constante, se multiplica sucesivamente por los valores mensuales de evapotranspiración potencial ya entrados en la Línea 2, anotando los productos de la multiplicación en las columnas apropiadas de la Línea 3; c) el total de los valores obtenidos así, que corresponde a la evapotranspiración potencial anual, se coloca en la última columna de esta línea. Este total será siempre igual a la precipitación total anual.

Paso # 5: se calcula el faltante de precipitación (Línea 12). Para cada mes con un total de precipitación (Línea 4) menor que su evapotranspiración real potencial y se coloca la diferencia en la columna correspondiente al mes en la Línea 12. En otras columnas se pone un cero. El total de los valores se entra en la última columna de la línea.

Paso # 6: se calcula la humedad disponible en el suelo al fin del mes (Línea 9) y el % de agua con su uso restringido. Para el cómputo de la humedad disponible es necesario, primero, calcular el total de agua que puede ser almacenada en el suelo. Suponiendo que se trata solamente del suelo zonal para la zona de vida en cuestión, esta cantidad debe ser equivalente a la capacidad de campo del suelo, medida en milímetros de precipitación.

Con base en estudios preliminares se estima que la capacidad de campo será equivalente a aproximadamente el 10 % de la precipitación total anual (este valor es tentativo). Este valor se inserta en la Línea 9, bajo uno de los meses cuyo promedio mensual de precipitación sea mayor que su evapotranspiración real potencial; preferiblemente se selecciona aquel mes en el que el suelo esté cargado con suficiente humedad.

Se determina la relación de evapotranspiración potencial. La que es igual al total de evapotranspiración potencial dividido por la precipitación total anual y con base en este valor y en los que aparecen sobrepuestos sobre los de aquella escala en el diagrama para la clasificación de zonas de vida, (Anexo 1), se obtiene el porcentaje de agua almacenado

en el suelo a capacidad de campo con uso restringido, es decir, a un potencial fuerza de 2.7 (P F 2.7). Se calcula la cantidad de agua libre la que es igual a la diferencia entre la capacidad de campo y el 1 % de agua no libremente disponible.

Paso # 7: se calcula la evapotranspiración real (Línea 5) para cada mes. Para cómputo de este parámetro se comienza con el siguiente mes para el cual se ha insertado la capacidad de campo y se continúa sucesivamente por meses, de la siguiente manera: si el mes en cuestión posee una deficiencia de precipitación mayor, menor, o igual que la cantidad de agua libre y la humedad disponible en el suelo al fin del mes anterior es superior al % de agua con uso restringido, toda la deficiencia se considera agua que sale del suelo y se anota, entonces, en la Línea 8. El agua libre restante será igual al total de ésta menos el agua que sale del suelo, siempre y cuando la cantidad de ésta sea inferior a la de aquella. En caso contrario no existe agua libre y de hecho se utiliza para satisfacer la deficiencia de precipitación, el 50 % del agua con uso restringido como se observará en el párrafo siguiente. La humedad disponible en el suelo al fin del mes, la que se indica en la Línea 9, será igual a la disponible en el mes anterior menos la cantidad que sale del suelo. En la Línea 11, deficiencia de humedad en el suelo, se añade el valor correspondiente al agua que sale a cualquier total que exista antes, de tal manera que la suma pare el mes de las Líneas 9 y 11 será siempre igual a la cantidad estimada como capacidad de campo. La evapotranspiración real en estos meses se obtiene sumando los valores correspondientes a la precipitación (Línea 4) y agua que sale del suelo (Línea 8). Si la deficiencia de la precipitación es mayor que el agua libre restante y la humedad disponible en el suelo al fin del mes anterior es mayor que el % del agua con uso restringido, se puede tomar toda el agua libre restante mas el 50 % de la de uso restringido, hasta completar la deficiencia si la suma de los valores así lo permite; en este caso, toda la deficiencia se considera agua que sale del suelo, cuya cantidad se anota en la Línea 8. Pero si la suma de agua libre restante y el 50 % de la de uso restringido es menor que la deficiencia de precipitación, el valor para colocar en la Línea 8, disminución en la humedad del suelo, es el que corresponde a esta suma. La evapotranspiración real, en ambos casos, es igual a la precipitación real mas el agua que sale del suelo. Antes de proceder al mes siguiente, se colocan los valores correspondientes a las Líneas 9 y 11, con el procedimiento arriba descrito.

Si la deficiencia de precipitación es mayor que la humedad disponible en el suelo al fin del mes anterior y la precipitación es mayor que la humedad disponible en el suelo al fin del mes anterior y la precipitación es menor que la humedad disponible, la cantidad que se inserta para el mes en la Línea 8 es igual al 50 % de la humedad disponible. La suma de los valores de precipitación y disminución de la humedad del suelo (Línea 8), equivale a la evapotranspiración real para el mes.

En cambio, si la deficiencia de precipitación continua siendo mayor que la humedad disponible en el suelo al fin del mes anterior, pero la precipitación es igual o mayor que la humedad disponible, la cifra para colocar en la Línea 8 es cero. La evapotranspiración real, en este caso, corresponde a la semisuma de la precipitación y la humedad disponible la que en situación extrema puede ser igual a la evapotranspiración potencial ajustada para climas secos (Línea 3).

Aplicando el procedimiento precedente se obtienen y anotan los valores para las Líneas 9 y 11. Además, si la evapotranspiración real para el mes es menor que su precipitación, se resta el valor de evapotranspiración real del correspondiente de precipitación y se coloca la diferencia en la columna perteneciente al mes en la Línea 6, sobrante de agua.

Paso # 8: Cuando se llega a un mes que demuestra un sobrante de agua (Línea 6), el procedimiento es inverso. El sobrante de agua se usa primero para reabastecer la diferencia en el suelo hasta que éste llegue de nuevo a su capacidad de campo. Esta deficiencia es igual a la cantidad indicada como faltante de agua en el suelo (Línea 11) para el mes anterior. Siendo esta cantidad igual o mayor que el sobrante de agua para el mes en cuestión, todo el sobrante (Línea 6) constituye agua que entra al suelo (Línea 7), y se añade el total de agua a almacenada en el suelo al fin del mes anterior para obtener el valor que se inserta en la columna del mes en la Línea 9. Al mismo tiempo, se resta este valor correspondiente al presente mes para la Línea 11, faltante de agua en el suelo.

Si, al contrario, la cantidad para el mes anterior en la Línea 11 es menor que el sobrante de agua del mes, el valor para colocar en la Línea 7 es igual al de la deficiencia, Línea 11. El agua almacenada en el suelo al fin del mes será igual a la capacidad de campo y el faltante de agua al fin de mes será cero. La diferencia entre sobrante (Línea 6) y el agua que entra al suelo (Línea 7) se calcula para colocar el valor de la Línea 10, escurrimiento. Para los meses en los cuales hay normalmente tanta precipitación que el suelo quede saturado a su capacidad de campo y todo el sobrante de agua constituye el escurrimiento (Línea 10), los valores correspondientes a las Líneas 7, 8, 11 y 12 serán cero.

Paso # 9: Se calcula la deficiencia total de agua (Línea 13) para cada mes. El faltante total de agua se obtiene sumando los valores de faltante de agua en el suelo (Línea 11) y faltante de precipitación (Línea 12).

Paso # 10: Se calcula el total promedio del año para la evapotranspiración real (Línea 5), el sobrante de agua (Línea 6), el escurrimiento (Línea 10) y el faltante de precipitación (Línea 12), el cual se obtiene sumando los valores mensuales respectivos. Las Líneas 7, 8, 9, 11 y 13 no llevan totales anuales.

Paso # 11: Finalmente, se determina la condición de humedad del suelo (Línea 14). Para la estimación de este parámetro debe considerarse la humedad disponible en el suelo al fin del mes y la cantidad o porcentaje de agua no libremente disponible en el suelo al fin del mes y la cantidad o porcentaje de agua no libremente disponible. Se observa, en la Línea correspondiente a la humedad disponible en el suelo a fin del mes, entre que meses se presenta el porcentaje de agua con uso restringido y se toman los dos valores de humedad de estos meses para determinar con exactitud la fecha en que se inicia o termina la estación seca o húmeda. Se aplica, entonces, el siguiente procedimiento: del valor menor y el resultado obtenido se divide por el número de días que tiene el mes cuyo valor es superior. Del mismo valor mayor de humedad se resta el % de agua con uso restringido y la cantidad obtenida se divide por el resultado de la operación anterior. Se determina así la fecha en que inicia la estación seca o finaliza la húmeda. Aquellos meses con escurrimiento superior a la capacidad de campo se consideran muy húmedos.

Una vez terminada la tabulación en la forma descrita, se pueden ver claramente las características estacionales de los factores climáticos principales durante el año promedio para el lugar en cuestión. Se pueden identificar, según los indicios mencionados arriba, los meses efectivamente secos y húmedos, y apreciar el grado de severidad de la sequía, así como también las tendencias más marcadas de escurrimiento durante los meses de mayor precipitación. Se puede, además, hacer referencia a las fórmulas y gráficas presentadas por Holdridge para relacionar la evapotranspiración real con la evapotranspiración potencial, para establecer el grado de desviación climática del lugar y medir así, si se encuentra en un clima zonal o se pertenece a una asociación atmosférica. Después de completar los cálculos, estos datos tabulares se pueden presentar en forma gráfica y resumida.

4. RESULTADOS

4.1 ZONA DE RECARGA

La zona de recarga tiene un área total de 27.8 ha, como se puede apreciar en la Figura 1.

4.2 ECOSISTEMAS

El único ecosistema presente en toda la zona de recarga es el bosque húmedo montano bajo subtropical (bh – MBS).

4.3 GEOLOGÍA Y SUELOS

Toda la zona de recarga de la quebrada esta cubierta desde el punto de vista geológico por basalto fracturado.

En cuanto a suelos solo se presenta la serie de suelos Milile, cuyas características se mencionan a continuación:

Son suelos profundos bien drenados, desarrollados sobre cenizas volcánicas. Ocupan un relieve fuertemente ondulado o alomado, con pendientes que, por la mayor parte son inferiores a 30 %. Se presentan con frecuencia en amplias cimas montañosas, altitudes de mas de 1400 m. La humedad que se condensa de esas nubes impide que el suelo se seque, no es probable que haya precipitaciones notablemente superiores a las que se registran a altitudes inferiores. Los suelos Milile están asociados y limitan corrientemente con áreas de suelos Ojojona y Salalica, pero que se distinguen fácilmente de estos por el mayor grosor de suelo, la falta de consolidación del material de partida y la ausencia de piedras.

4.3.1 Perfil del suelo: Franco Limoso Milile

El siguiente perfil se examinó en un corte reciente de carretera a 15 Km al Oeste de Siguatepeque. La altitud es de 1450 m. El lugar esta muy cerca de la divisoria de aguas. Las zonas adyacentes están cultivadas, principalmente con maíz

cm	
0 – 15 . A 11	Café oscuro franco limoso (10YR 3/3 en húmedo). Estructura regular, firme y fina, friable, no plástico, no adherente. pH 6.0
15 – 25 A 12	Café amarillento oscuro (10 YR 4/4 en húmedo), franco arcilloso a franco arcilloso limoso, firme, estructura en bloques finos; friable pero bastante adherente y plástico, pH 5.8.
25 – 40 B 1 las	Café amarillento (10 YR 5/4 en húmedo), franco arcilloso a franco arcilloso limoso, firme estructura en bloques finos; friable pero bastante adherente y plástico en mojado, películas de arcilla en la mayor parte de superficies. pH 4.5.
40 – 60 B 21	Arcilla café amarillenta (10 YR 5/6 en húmedo). Firme estructurada en bloques finos; friable pero adherente y plástico en mojado. Películas de arcilla prominentes. pH 4.5.
60 – 90 B 22	Similar al anterior, pero con una estructura mas firmemente desarrollada y mayores agregados (promedio 1 cm en una cara). Películas de arcilla prominentes pH 4.5.
90 – 160 B 3	Arcilla moteada de gris cafésáceo claro (10 YR 5/8 en húmedo), moteada de rojo (2,5 YR 4/6) y pardo grisáceo (10 YR 5/2). Adherencia y plasticidad medianas. Películas de arcilla prominentes. pH 4.5.

Características:

En muchos lugares, especialmente en las partes mas elevadas, el suelo superficial es mas grueso y mas rico en material orgánico. A altitudes superiores a 1700 m es algo cenagoso. En muchas partes, el subsuelo es una arcilla café rojiza (25 YR 3/6 en húmedo). La roca básica observada en este perfil no se presenta con frecuencia, pero a profundidades mayores de 1.5 m puede encontrarse una arcilla roja moteada reticularmente y gris clara.

Utilización de la tierra y practicas de cultivo

La mayor parte del área de suelo Milile ha sido desbrozada y utilizada para la producción de maíz y frijol o para pastos. Las practicas agrícolas son primitivas y el cultivo es manual o con arados de madera arrastrados por bueyes. Normalmente no se utilizan abonos y los rendimientos son bajos. Estos suelos son porosos y la erosión no es muy grave. Los pastos no soy mejorados pero tiene capacidad de apacentamiento moderado. Se observa pino en algunas partes, pero en general, estos suelos soportan una masa densa de frondosas y un sotobosque de malezas donde no se los ha desbrozado para el cultivo. Hay helechos y zarzamoras en los terrenos dejados sin cultivar. Estos suelos se explotan

fácilmente y pueden cultivarse con mayor intensidad. Parecen estar bien adaptadas las zarzamoras y otras bayas de arbustos y cañas, por lo que se recomienda su cultivo. Estos suelos resultan aptos también para la producción de papas. Puede aumentarse la producción de vacunos para carne y leche.

4.4 USO ACTUAL DE LA TIERRA.

Se determinó la existencia de cuatro usos principales de la tierra: agricultura, barbecho, potrero y pantano. Los usos fueron diferenciados con base en la tenencia de la tierra como lo muestra el mapa de uso actual de la tierra (Figura 2).

El Cuadro 1 presenta los diferentes usos de la tierra con su correspondiente superficie y porcentaje.

Cuadro 1 Uso actual de la tierra.

Uso de la tierra	Área (ha)	Porcentaje
Agricultura maíz ejidal	7.8	28
Agricultura maíz Ordóñez	0.5	2
Barbecho (pastos)	0.5	2
Barbecho antiguo	6.6	23
Barbecho joven	2.8	10
Pantano	2.9	11
Potrero Ordóñez	1.9	7
Potrero privado.	4.8	17
Total	27.8	100

Algunos aspectos importantes del uso de la tierra son los siguientes:

- El barbecho considerado como pasto, consiste en un pasto elefante sembrado con fines de corte. Actualmente se encuentra abandonado.
- El barbecho considerado como antiguo, es un bosque secundario de aproximadamente 25 años de edad.
- El barbecho denominado joven, está compuesto por un bosque secundario de 10 a 15 años de edad.
- Con base en el mapa de uso actual de la tierra, en reconocimientos terrestres y entrevistas con los propietarios se pudo diagnosticar que pantano, potrero Ordóñez, barbecho pastos y agricultura maíz Ordóñez, eran antiguamente terrenos cubiertos con pantano. En total la zona de pantano cubría un área de 5.8 ha. A la fecha, el 50 % (2.9 ha) de la zona de pantano ha sido drenada para adecuar el sitio a otros usos de la tierra (agricultura y ganadería).

4.5 CONFLICTOS EN EL USO DE LA TIERRA

En sentido estrictamente ecológico e hidrológico los únicos usos de la tierra que son relativamente apropiados son los barbechos, tanto joven como antiguo, y la actual zona de pantano. Los demás usos de la tierra son inapropiados.

Con esta base, la superficie de uso apropiado e inapropiado es de 12.3 ha y 15.5 ha, respectivamente.

4.6 INFORMACIÓN CLIMÁTICA

La información climática fue tomada de los mapas de isohietas e isotermas mensuales para los años del 66 al 88. En el Cuadro 2 se presentan los valores promedios para estos elementos climáticos.

4.7 BALANCE HÍDRICO

En el Cuadro 3 se presenta el balance de agua para la zona de recarga. De acuerdo con los datos de precipitación mensual, se observa que el 90.5 % de la precipitación total se concentra en seis meses del año (de mayo a octubre). Durante estos mismos meses se presenta un sobrante de lluvia del orden de 443 mm. De igual manera, durante el período de mayo a octubre se presenta escorrentía en todos estos meses, totalizando un valor de 378 mm. En los meses de junio a octubre todo el sobrante de lluvia se convierte en escorrentía, una situación bastante crítica para la zona de recarga en términos de erosión, máxime si los suelos se encuentran desprotegidos de cobertura vegetal.

Aunque la zona de recarga se encuentra en un ecosistema húmedo y en tierra fría (piso montano bajo), la irregular distribución de la precipitación a lo largo del año conduce a que en el período entre noviembre y abril (seis meses) se presente deficiencia de humedad a nivel de suelo en todos estos meses, con un valor total de 574 mm.

Debido a la irregular distribución de la precipitación a lo largo del año la zona de recarga presenta un período de sequía de casi seis meses, el que se extiende desde el 10 de noviembre hasta el 21 de mayo. Ocurren tres meses húmedos entre el 21 de mayo y 31 de agosto y un mes muy húmedo que es septiembre.

4.8 ESTUDIO DE FLORA

El Cuadro 4 muestra las especies arbóreas presentes en la zona de recarga.\

Cuadro 4. Especies presentes en la zona de recarga

Nombre comun	Nombre científico
Matasano	<i>Turpinia occidentalis</i>
Copalchi	<i>Casimiroa sapota</i>
Guayabilla	<i>Croton reflexifolius</i>
Guayabilla	<i>Eugenia sp1</i>
Guajiniquil	<i>Eugenia sp2</i>
Pito, Machetillos	<i>Inga orestediana</i>
	<i>Erythrina berteroana</i>
	<i>Robinsonella erasmi-sosae</i>
	<i>Trichilia oerstedii</i>
Chaperno	<i>Lonchocarpus morenoi</i>
	<i>Lonchocarpus reflexifolius</i>
Aguacatillo	<i>Persea americana var, nubigena</i>
Quebracho	<i>Lysiloma acapulcense</i>
	<i>Cestrum aurantiacum</i>
	<i>Urera corallina</i>
Pacun	<i>Sapindus saponaria</i>
	<i>Erehtia latifolia</i>

4.9 PLAN DE RESTAURACIÓN

Desde el punto de vista ecológico e hidrológico toda la zona de recarga debería estar cubierta con bosque latifoliado en estado maduro. Un bosque con estas características contiene la máxima estructuración vertical, la que es determinante para maximizar el proceso de la precipitación horizontal u oculta o lluvia del bosque. A la fecha, la zona de recarga que es influenciada periódicamente por nubes y/o neblinas carece de la cobertura forestal apropiada para garantizar este proceso, razón por la cual el paso del vapor de agua sobre el Cerro de Hulá prácticamente se desperdicia en términos hidrológicos.

Desde el punto de vista social, es prácticamente imposible garantizar que la zona de recarga llegue a estar totalmente cubierta con bosques. Sobre esta base, se propone el siguiente plan de restauración el cual esta orientado a mejorar las condiciones hidrológicas de la zona de recarga

4.9.1 Zona de pantano

Revertir a pantanal los usos de la tierra de agricultura maíz Ordóñez, barbecho pastos y potrero Ordóñez (2.9 ha). De ser posible, proceder a rellenar los actuales canales de drenaje y si por razones económicas la actividad no se pudiese hacer, dejarlos abandonados.

4.9.2 Barbecho

Independientemente de la edad del barbecho, se propone un proceso de restauración de los mismos orientado a acelerar el proceso de sucesión secundaria. En tal sentido y debido a la superficie cubierta con este uso de la tierra (9.4 ha), se recomienda su enriquecimiento con especies preferiblemente nativas y con fines puramente hidrológicos.

El enriquecimiento deberá ajustarse a los siguientes lineamientos técnicos:

- Apertura de bandas, espaciadas cada 10m dentro del bosque secundario, de dos metros de ancho con orientación E - W. Las bandas deben tener el suelo desnudo, dejando solamente las especies que tengan más de dos metros de altura.
- Plantación de árboles en las bandas de enriquecimiento a un espaciamiento de 3 x 3 m. Las diferentes especies a plantar deben mezclarse con el fin de simular la composición del bosque natural e influir favorablemente en la biodiversidad.
- Las especies a utilizar en el enriquecimiento se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Especies recomendadas para restauración de la zona de recarga

<i>Nombre vulgar</i>	<i>Nombre científico.</i>
Aguacate	<i>Persea americana var. nubigena</i>
	<i>Erehtia latifolia</i>
	<i>Turpinia occidentalis</i>
	<i>Trichilia oerstedii</i>
Chaperno	<i>Lonchocarpus morenoi</i>
Chaperno	<i>L. reflexifolius</i>
Jaul	<i>Alnus acuminata</i>
Roble	<i>Quercus benthamii</i>
Encino	<i>Q. trichodonta</i>
Palo de agua	<i>Hedyosmun mexicanum</i>
Mora	<i>Carpinus caroliniana</i>
Nogal	<i>Juglans olanchana</i>
Aguacatillo	<i>P. caerulea</i>
Cedro	<i>Cedrela tonduzii</i>
Yoro	<i>Cornus disciflora</i>
Encinillo	<i>Rapanea myricoides</i>
Ciprés de montaña	<i>Podocarpus oleifolius</i>

- Mantenimiento de las bandas de enriquecimiento. Las bandas de enriquecimiento deben recibir mantenimiento en base a cortas de limpieza durante por lo menos dos o tres veces en el año. Este tratamiento deberá efectuarse anualmente hasta que las copas de los árboles plantados sobresalgan del dosel. A partir de este momento se abandona al proceso de sucesión natural .
- Protección contra incendios. En caso de que se presentasen incendios durante el período más seco del año, el barbecho enriquecido debería ser protegido por medio de cortafuegos contra el eventual impacto de incendios.

4.9.3 Potrero

Este es el uso de la tierra que mayor impacto negativo provoca a nivel de las condiciones hidrológicas de la zona de recarga. La aparente sobrecarga de ganado en las 4.7 ha cubiertas con potreros, está compactando el suelo y reduciendo, por lo tanto, la capacidad de infiltración del suelo.

Para aliviar, al menos parcialmente, esta problemática se recomienda semiestabular el ganado y diseñar un sistema de rotación de potreros , utilizando 4 lotes de una hectárea cada uno. Las 0.7 ha restantes deberían utilizarse en un banco de proteínas, plantando lotes de árboles de las especies que se listan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Especies recomendadas para el banco de proteína.

<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
Pito	<i>Eritrina berteroana</i>
Madreado de altura	<i>Gliricidia meistophylla</i>
Guaje	<i>Leucanea guatemalensis</i>
Guachipilín	<i>Diphysa robinoides</i>
Nacedero	<i>Trichanteia gigantea</i>

4.9.4 Agricultura

En las 7.8 ha dedicadas a agricultura de tipo ejidal, debido a la topografía del terreno, se recomienda una combinación de obras de conservación de suelos, barreras vivas y árboles en linderos. En tal sentido, deberán reactivarse las terrazas hechas en el pasado por las tribus indígenas que habitaron el lugar. Si esto no fuese posible, podrían utilizarse barreras vivas a base de veti veri, madreado de altura-*G. meistophylla* y *Acacia angustissima*.

Los linderos de la zona dedicada a agricultura deberían ser plantados con árboles maderables para reducir el impacto del viento sobre los cultivos. Algunas de las especies

aptas para este fin son: nogal-J. olanchana, guachipilin-D. robinooides, cedro-C. tonduzii, jaul-A. acuminata, lloro-C. disciflora, entre otros.

5. DISCUSION

Los resultados del presente estudio permiten enfocar la discusión en los siguientes temas: eliminación del bosque latifoliado maduro en la zona de recarga de agua y su impacto hidrológico y los esquemas de uso actual de la tierra bajo un contexto hidrológico

5.1 ELIMINACION DEL BOSQUE LATIFOLIADO MADURO EN LA ZONA DE RECARGA DE AGUA Y SU IMPACTO HIDROLOGICO.

En la zona de recarga y en todo el Cerro de Hulá, el bosque maduro ha desaparecido por completo. A la fecha, sólo se encuentran pequeños manchones de bosque latifoliado en diferentes fases de restauración. Los arboles viejos remanentes parecen indicar que una superficie relativamente grande de Cerro de Hulá estuvo cubierto en el pasado por un bosque latifoliado maduro, posiblemente dominado por especies de la familia Fagaceae y Lauraceae. Debido a la ubicación de Cerro de Hulá en términos de altitud y al carácter fisonómico de las comunidades vegetales, parece evidente que este cerro y la zonas adyacentes estuvieron y aun están sometidas a la influencia periódica de nubes y/o neblinas. En síntesis, eran tierras cubiertas con bosques nublados o nebulosos.

Los bosques nublados en estado maduro, con una estructura vertical integrada por cuatro o cinco pisos o estratos, constituyen las barreras más eficientes para el ascendente y frío vapor de agua atmosférico. Bajo tales condiciones, estos bosques se convierten en cinturones de condensación del vapor de agua y mediante el proceso de la precipitación horizontal u oculta o lluvia del bosque aportan a los ecosistemas cantidades considerables de agua. Tales aportes adicionales pueden ser del orden del 7 hasta el 158 % sobre la precipitación vertical normal.

Las porciones más elevadas de Cerro de Hulá y, por lo consiguiente, la zona de recarga de la Quebrada la Cienega son áreas influenciadas por nubes y/o neblinas como lo demuestra claramente el elevado grado de epifitismo que se aprecia tanto a nivel de árboles individuales como de pequeños remanentes del bosque natural. El epifitismo está constituido básicamente por representantes de las familias *bromeliaceae* y *orquidiaceae* y por musgos.

La total eliminación del bosque natural maduro en esta importante zona geográfica del país constituye, de hecho, una perdida sustancial de agua a nivel de cuencas lo que se traduce en una disminución de los caudales y en una reducción de la recarga de los acuíferos subterráneos.

5.2 LOS ESQUEMAS DE USO ACTUAL DE LA TIERRA BAJO UN CONTEXTO HIDROLOGICO.

Los actuales esquemas de utilización de la tierra en la zona de recarga de la microcuenca son, con algunas excepciones, contraproducentes desde el punto de vista hidrológico. Solo las áreas bajo barbecho y la reducida zona de pantano todavía no drenada, son usos de la tierra que garantizan un movimiento normal del agua en el suelo. La agricultura, tal como se practica, expone el suelo tanto a erosión eólica como hídrica. La ganadería es todavía más nociva en términos hidrológicos, ya que no solo favorece erosión sino que el pisoteo del ganado al compactar el suelo reduce la infiltración e incrementa la escorrentía superficial con sus funestas consecuencias.

6. CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio permiten obtener las siguientes conclusiones

- Desde un punto de vista ecológico e hidrológico, la zona de recarga se encuentra en un estado crítico, dado que los usos de la tierra no son los mas apropiados. Tanto la agricultura como la ganadería han propiciado altos índices de erosión y fuerte compactación del suelo. Bajo estas condiciones se han incrementado las tasas de sedimentación y de escorrentía superficial y se ha reducido sustancialmente la capacidad de infiltración del suelo.
- EL aporte de agua brindado por la precipitación horizontal u oculta, que podría ser significativo tomando en cuenta estudios realizados en Honduras, se considera una pérdida para la cuenca en términos del incremento de caudales y del enriquecimiento de mantos freáticos subterráneos.
- Reuniones sostenidas con personeros municipales, con funcionarios de la UMA (Unidad de Manejo Ambiental) de Sta. Ana y con propietarios privados residentes en la zona de recarga o en su área de influencia, demuestran claramente la escasa organización y el poco interés que existe por el manejo de Cerro de Hulá en general y de la microcuenca en particular.

7. RECOMENDACIONES

- Implementar a la mayor brevedad posible el plan de restauración propuesto en el estudio para la zona de recarga. Una vez implementado o en ejecución, el plan podría ser tomado como modelo para la restauración paulatina de todo el Cerro de Hulá.
- Realizar un estudio ecológico e hidrológico de todo el Cerro de Hulá para identificar la zona de recarga y evaluar su situación ecológica e hidrológica..
- Diseñar y validar un programa de concientización para todas las personas que deriven beneficios directos e indirectos del Cerro de Hulá. Se debería promover, asimismo, la constitución de una unidad responsable de la restauración y manejo de la zona de recarga del Cerro.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Braumgartner, A.; Brunig, E.F. 1978. Tropical forests and the biosphere. In the United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. Tropical Forests Ecosystems: a state of knowledge report. Paris. Francia. p. 33 – 60.
- Braumgartner, A, 1970. Vaporization in forests. In The joint FAO/UNESCO International Symposium on Forests Influences and Watershed Management. (1970, Moscow, USSR). Proceedings. s.n.t. p. 70 – 92.
- Bruijnzeel, L.A. 1990. Hydrology of moist forests and effects of conversion: a state of knowledge review. Paris, Francia, UNESCO. 224 p.
- Dodson, C.H.; Gentry, A.H. 1991. Biological extinction in western Ecuador. Ann. Missouri Bot. Gard. 78: 669-678.
- Frangi, J.L. 1983. Las tierras pantanosas de la montaña puertorriqueña. In Lugo A.E. Los Bosques de Puerto Rico. Institute of Tropical Forestry, Rio Piedras, Puerto Rico. p. 233-248.
- Garcia, R.; Roersch, C. 1996. Política de manejo y utilización de los recursos florísticos en la República Dominicana. Journal of Ethnopharmacology 51: 147 – 160.
- Hamilton, L.S. 1987. What are the impacts of Himalayan deforestation on the Ganges-Brahmaputra lowlands and the delta? Assumptions and facts. Mountain Research and Development, 1 disco compacto, 8mm.
- Holdridge, 1982. Ecología basada en las zonas de vida. Centro Científico Tropical. IICA, San Jose, Costa Rica. 216 p.
- Jiménez, F. 1999. Agua dulce: un enfoque de la situación centroamericana. WWF Centroamérica (Costa Rica). p. 4-6.
- Kappelle, M. 2002. Bosques nublados del neotropico. Instituto Nacional de Biodiversidad. INBIO. San Jose, Costa Rica. 697 p.
- Liniger, H.P. 1995. Endangered water - a global overview of degradation, conflicts and strategies for improvement. Development and Environmental Reports No. 12. Centre for Development and Environment. Berna, Lang Druck AG. 1 disco compacto, 8mm.

- Liniger H. , Weingartner R., 1998. Montañas y recursos hídricos. Unasilva. FAO Vol. 49. 1 disco compacto, 8mm.
- Lull, W.W. 1970. Management possibilities for water-yield increases. In The joint FAO/USSR International Symposium on Forests Influences and Watershed Management (1970 Moscow, USSR). Proceedings. s.n.t. p. 168-178.
- Morgan, R.P.C.; Davidson, D.A. 1986. Soil erosion and conservation. Essex, G.B., Longman Scientific & Technical. 298 p.
- Myers. C.W. 1969. The ecological geography of cloud forests in Panama. American Museum Novitates No. 2396. 56 p.
- Nikolaenko, V.T. 1970. Antiabrasive role of three-shrub vegetation. In The joint FAO/USSR International Symposium on Forest Influences and Watershed Management (1970, s.l.). Proceedings. s.n.t. p. 293-395.
- Proyecto apoyo a la gestión sostenible de los recursos naturales, 1998. Consultado 31 enero 2002. RAFA
Disponible en <http://www.rcfacan.org/spanish/s.profile.11.html>
- Richards, P. W. 1981. The tropical rain forest. Candbridge, G.B., Cambridge University Press. 450 p.
- Rothacher, J.S. 1970. International Symposium on Forest Influences and Watershed Management: managing forest land for water quality. In The joint FAO/USSR. Moscow, USSR. p. 232-244.
- Stadtmuller. T. 1987. Los Bosques Nublados en le Tropico Humedo. Universidad de las Naciones Unidas. Turrialba, Costa Rica. p. 83.
- Szollosi-Nagy, A. 1994. Evaluación de los recursos mundiales de agua dulce. La naturaleza y sus recursos. UNESCO. Vol. 34 N. 1; 10-20
- Whitmore, T.C. 1990. An introduction to tropical rain forests. Oxford, G.B., Clarendon Press. 226 p.