

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

CATIE

PROGRAMA EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN

**PRODUCCIÓN Y VALORACIÓN ECONÓMICA DEL COMPONENTE HÍDRICO Y
FORESTAL DE LOS ROBLEDALES DE ALTURA BAJO INTERVENCIONES
SILVICULTURALES**

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

Magister Scientiae

por :


Willmer Reynaldo Turcios Carrasco

Turrialba, Costa Rica
1995

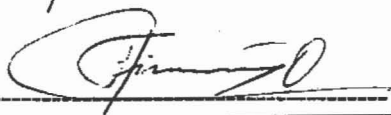
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité asesor del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

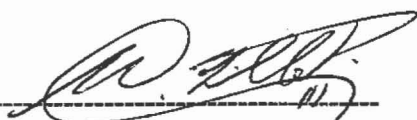
FIRMANTES:



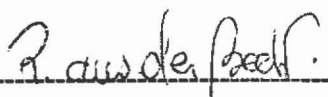
Juan A. Aguirre
Profesor Consejero



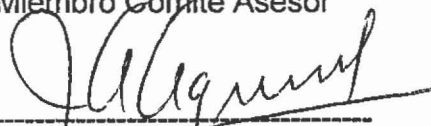
Francisco Jiménez
Miembro Comité Asesor



Marcelino Losilla
Miembro Comité Asesor



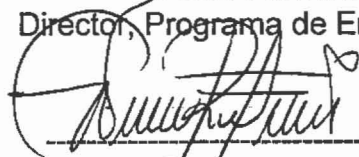
Robin aus der Beek
Miembro Comité Asesor



Juan A. Aguirre
Jefe, Area de Postgrado



Pedro Ferreira
Director, Programa de Enseñanza



Willmer Reynaldo Turcios Carrasco
Candidato

DEDICATORIA

A mi **DIOS** por fortalecerme y confirmar mis pasos cada día, gracias **SEÑOR** por permitirme conocerte

A mi madre y hermanos

A Karla Karina, mi esposa y Danna Yanmei nuestra hija

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias a la ayuda de muchas personas, a las cuales quiero reconocer de manera especial.

Al Sr. Juan Antonio Aguirre , mi profesor consejero, por todo el apoyo brindado.

A los miembros del comité Sr. Francisco Jiménez, Sr. Marcelino Losilla, Sr. Robin aus der Beek.

Al Sr. Luis Diego Delgado por su colaboración.

Al Sr. Marvin Mena Granados, y a toda la comunidad de Villa Mills por su hospitalidad

Al personal del proyecto CATIE - COSUDE.

Al Sr. Johnny Pérez, por su valiosa aportación.

A la Sra. Violeta Colan, compañera de maestría.

A todo el personal de Postgrado.

A todo el personal de la Biblioteca Orton.

Al proyecto RENARM - CUENCAS por el financiamiento de la Beca

GRACIAS

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. PROCESOS HIDROLÓGICOS EN UNA CUENCA HIDROGRAFÍA	3
2.2. BALANCE HÍDRICO.....	4
2.3. EL MANEJO DE BOSQUES NATURALES Y SU IMPACTO HIDROLÓGICO.....	8
2.4. PRODUCCIÓN DE AGUA	11
2.5. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL MANEJO DE BOSQUES	12
2.6. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL AGUA.....	13
2.7. PRECIOS AMBIENTALES Y LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN.....	16
2.7.1. MÉTODO DE LOS COSTOS INDUCIDOS O EVITADOS.....	17
2.7.1.1. <i>Enfoque productivo.</i>	17
2.7.1.2. <i>Enfoque Utilitario.</i>	17
2.7.2. MÉTODO DEL COSTO DEL VIAJE.....	18
2.7.3. MÉTODO DE LOS PRECIOS HEDONICOS.....	20
2.7.4. MÉTODO DE VALORACIÓN CONTINGENTE.....	21
2.8. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS EFECTOS AMBIENTALES.....	23
2.9. VALORACIÓN DEL AGUA.....	24
2.9.1. <i>Valoración por precios administrados.</i>	25
2.9.2. <i>Valoración en base al mercado</i>	25
2.9.3. <i>Valoración en términos de costo energético.</i>	27
2.9.4. <i>Valoración por disposición a pagar</i>	27
2.9.5. <i>Valoración por cambio de uso.</i>	28
MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	30
3.2. TRATAMIENTOS Y VARIABLES EVALUADAS	31
3.3. METODOLOGÍA	33
3.3.1. <i>I Etapa : Cuantificación y valoración económica de la producción hídrica.</i>	33
3.3.1.1. Distribución de pluviómetros lineales y selección de árboles para medir el agua que atraviesa el follaje y escurre por el tallo.....	33
3.3.1.2. Transformación de datos de volumen a milímetros de altura de agua.....	34
3.3.1.2.1. Datos de los pluviómetros lineales.....	34
3.3.1.2.2. Datos de escurrimiento por el tallo.....	34
3.3.1.2.3. Determinación de la intercepción.....	35
3.3.1.2.4. Pruebas de infiltración.....	37
3.3.1.3. Recopilación de la información hidrológica	39
3.3.1.4. Análisis de intensidades para las bandas diarias de precipitación	40
3.3.1.5. Determinación del agua que infiltra y el agua que escurre	40
3.3.1.6. Determinación de la evapotranspiración	41
3.3.1.7. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente	41
3.3.1.8. Determinación del balance hídrico para cada tratamiento.....	41

3.3.1.9. Valoración económica del agua	43
3.3.1.10. Voluntad de pago de la comunidad por el recurso agua.....	43
3.3.1.11. Valor actual por servicio de agua	43
3.3.1.12. Convertir un m ³ de aguas negras a agua para uso industrial	44
3.3.1.13. Conversión de m ³ de agua a kilowatt	44
3.3.2. II Etapa : <i>Análisis Estadístico</i>	45
3.3.3. III Etapa : <i>Cuantificación y valoración económica de los productos maderables</i>	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1. DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL	47
4.2. AGUA QUE LLEGÓ AL SUELO.....	53
4.3. INTERCEPCIÓN DE LA LLUVIA	54
4.4. ESCURRIMIENTO DEL AGUA POR EL TALLO.....	55
4.5. TASA DE INFILTRACIÓN BÁSICA	56
4.6. BALANCE HÍDRICO EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS	59
4.7. VALORACIÓN DEL COMPONENTE MADERERO DEL BOSQUE.....	64
4.8. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN HÍDRICA.....	66
4.8.1. <i>Análisis de la encuesta, para determinar la voluntad de pago</i>	66
4.8.2. <i>Voluntad de pago</i>	68
4.8.3. <i>Tarifa de pago actual</i>	70
CONCLUSIONES	74
BIBLIOGRAFIA	75
ANEXOS.....	81

Lista de figuras

1	Ciclo hidrológico en un ecosistema forestal.....	5
2.	Esquema de la instalación del pluviómetro lineal.....	36
3	Anillos concentricos para medir infiltración.....	38
4	Tasa de infiltración básica en los diferentes tratamientos.....	63
5	Precipitación que infiltra y recarga potencial del acuífero en el bosque (sin intervención, con 20% y con 30% de intervención ⁰ y en el potrero (0,53 u.a y 0,63 u.a) en Villa Mills, Costa Rica.....	64

Lista de cuadros

En textos :

1.	Distribución de la precipitación en el bosque primario con 0% de extracción de área basal, para mayo - agosto 1995, en Villa Mills, Costa Rica.....	50
----	---	----

2.	Distribución de la precipitación en el bosque primario con 20% de extracción de área basal, para mayo - agosto 1995, en Villa Mills, Costa Rica.....	51
3.	Distribución de la precipitación en el bosque primario con 30% de extracción de área basal, para mayo - agosto 1995, en Villa Mills, Costa Rica.....	52
4.	Precipitación promedio (mm), que llegó al suelo en tres tipos de tratamientos : bosque primario sin intervención, con 20% de intervención y con 30% de intervención, en Villa Mills, Costa Rica.....	53
5.	Análisis de varianza del agua que llega al suelo : (A) en el bosque primario (sin intervención, con 20% de intervención y 30% de intervención) y (B) para el periodo mayo - agosto 1995, Villa Mills, Costa Rica.....	53
6.	Intercepción promedio de la precipitación en tres tipos de tratamiento : bosque primario (sin intervención, 20% de intervención, 30% de intervención), en Villa Mills, Costa Rica.....	54
7.	Análisis de varianza del agua interceptada en : (A) bosque primario (sin intervención, con 20% de intervención y 30% de intervención) para (B) periodo mayo - agosto 1995, Villa Mills, Costa Rica.....	54
8.	Promedio de escurrimiento por el tallo en tres tipos de tratamiento bosque primario (sin intervención, 20% de intervención, 30% de intervención), en Villa Mills, Costa Rica.....	55
9.	Análisis de varianza del escurrimiento por el tallo en : (A) bosque primario (sin intervención, con 20% de intervención y 30% de intervención) para (B) periodo mayo - agosto 1995, Villa Mills, Costa Rica.....	55
10.	Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para la comparación de escurrimiento por el tallo entre el bosque sin intervención, bosque con 20% de intervención y bosque con 30% de intervención, Villa Mills, Costa Rica.....	56
11.	Datos de precipitación que llega al suelo, escurrimiento por el tallo, intercepción en porcentaje, en diferentes coberturas.....	56
12.	Tasa de infiltración básica (mm/hr) promedio en cinco tipos de tratamientos; tres condiciones de bosque primario (sin intervención, 20% intervenido, 30% intervenido), y dos condiciones de potrero, en un bosque húmedo montano tropical, Villa Mills, Costa Rica.....	58
13.	Análisis de varianza de la tasa de infiltración básica (mm/hr), en cinco tipos de tratamiento; tres condiciones de bosque primario (sin intervención, 20% intervenido, 30% intervenido), y dos condiciones de potrero, en un bosque húmedo montano tropical, Villa Mills, Costa Rica.....	58
14.	Prueba de comparación múltiple (Duncan $\alpha=0,05$), para la tasa de infiltración básica (mm/hr) en los cinco tratamientos evaluados en un bosque húmedo montano tropical, Villa Mills, Costa Rica.....	59

15.	Balance hídrico diario del tratamiento bosque primario sin intervención; con una intercepción de 34,4% de la precipitación incidente (186,7 mm) y una tasa de infiltración de 116,5 mm/hr, Villa Mills, Costa Rica.....	60
16.	Balance hídrico diario del tratamiento bosque primario 20% de intervención ; con una intercepción de 24,2% de la precipitación incidente (186,7 mm) y una tasa de infiltración de 117,5 mm/hr, Villa Mills, San José, Costa Rica.....	61
17.	Balance hídrico diario del tratamiento bosque primario, 30% de intervención ; con una intercepción de 25,2% de la precipitación incidente (186,7 mm) y una tasa de infiltración de 84,2 mm/hr, Villa Mills, San José, Costa Rica.....	61
18.	Balance hídrico diario del tratamiento potrero #1; sin intercepción y una tasa de infiltración de 44,2 mm/hr, Villa Mills, Costa Rica.....	62
19.	Balance hídrico diario del tratamiento potrero #2 ; sin intercepción y una tasa de infiltración de 21,7 mm/hr, Villa Mills, Costa Rica.....	63
20.	Resumen del balance hídrico en los tres tipos de bosque primario. (sin intervención, 20% intervención, 30% intervención) y dos tipos de potreros (8 u.a y 19 u.a) en Villa Mills, Costa Rica.....	63
21.	Resumen de ingresos por hectárea de los productos forestales, de la empresa forestal, Villa Mills, Costa Rica.....	65
22.	Resumen de costos de inversión y operación para la empresa forestal, Villa Mills, Costa Rica.....	65
23.	Resumen de los costos administrativos para los 15 años de proyecto de la empresa forestal, Villa Mills, Costa Rica.....	66
24.	Resumen de la variable voluntad de pago por categorías, de la encuesta practicada a las comunidades aledañas a la estación experimental Villa Mills, Costa Rica.....	69
25.	Resumen de los indicadores financieros (VAN y B/C) para los tratamientos silviculturales (sin intervención, 20% y 30% de extracción de área basal) valorando solo la producción de madera, Villa Mills, Costa Rica.....	72
26.	Resumen de los indicadores financieros (VAN y B/C) para los tratamientos silviculturales (sin intervención, 20% y 30% de extracción de área basal) valorando la producción de madera y agua (venta de agua potable), Villa Mills, Costa Rica.....	72
27.	Resumen de los indicadores financieros (VAN y B/C) para los tratamientos silviculturales (sin intervención, 20% y 30% de extracción de área basal) valorando la producción de madera más producción de agua, Villa Mills, Costa Rica.....	73

En anexo :

- 1A. Categorías de diámetro por parcela, inventario forestal año 1994, Villa Mills, Costa Rica.
- 2A. Categoría de diámetro de los árboles en estudio, año 1994 Villa Mills, Costa Rica.

- 3A. Características físico - químicas de los perfiles de suelo / horizonte en el rodal en estudio, Villa Mills, Cartago, Costa Rica.
- 4A. Textura y variación del contenido de humedad en los perfiles de suelo
- 5A. Conexiones, consumo y consumo promedio según área geográfica y categoría tarifaria, para el año 1995, Costa Rica.
- 6A. Boleta de registro de las pruebas de infiltración.
- 7A. Programa de SAS, para separar el agua que infiltra y escurre, comparada con la tasa de infiltración y la intercepción.
- 8A. Plantilla para analizar intensidades
- 9A. Flujo de caja del tratamiento 20% de extracción de área basal
- 10A. Calculo de la venta de agua del tratamiento 20% de extracción de área basal
- 11A. Flujo de caja del tratamiento 30% de extracción de área basal
- 12A. Calculo de la venta de agua del tratamiento 30% de extracción de área basal

TURCIOS, W. R. 1995. Producción y valoración económica del componente hídrico y forestal de los robledales de altura bajo intervenciones silviculturales. Tesis M. Sc., Turrialba, C.R., CATIE, 80 p.

Palabras claves: Bosque nublado, *Quercus copeyensis*, silvicultura, manejo forestal, aprovechamiento forestal, balance hídrico, características hidrológicas, análisis económico.

Resumen

El objetivo del estudio fue valorar económicamente la producción hídrica y forestal en un robledal de altura que se encuentra bajo intervenciones silviculturales de 0%, 20% y 30% de extracción del área basal. Al mismo tiempo se evaluó el efecto de ese manejo forestal sobre algunos componentes del ciclo hidrológico en un bosque de altura. La investigación se realizó en el área experimental Villa Mills, Siberia perteneciente al Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales (CATIE-COSUDE). El área se localiza en la parte noroeste de la Cordillera de Talamanca (Costa Rica), entre los 2,600 y 2,800 msnm.

De cada tratamiento silvicultural se tenían cuatro repeticiones; en cada repetición se instalaron cuatro pluviógrafos lineales y dispositivos para medir la escorrentía de tallos en cuatro árboles. Las variables evaluadas fueron la precipitación incidente, la precipitación que llegó al suelo, la escorrentía por los tallos, la intercepción, la tasa de infiltración del suelo, variables que nos permitieron cuantificar la recarga del acuífero (m^3 de agua / ha) por medio de balances hídricos diarios para cada tratamiento. Los datos sobre volumen de recarga del acuífero en los tratamientos 20% y 30% de extracción de área basal fueron incluidos en el análisis financiero y su venta (como agua potable, producción hidroeléctrica, calidad de agua) fue tomado como ingresos, lo que permitió evaluar el bosque desde dos escenarios : como productor de madera y como productor de madera y agua.

El estudio determinó que la precipitación que alcanza el dosel en los tres tratamientos silviculturales tiene la siguiente distribución : en el bosque primario con 0% de extracción de área basal el agua que llegó al suelo representó el 65,0%, la intercepción el 34,4% y el escurrimiento por el tallo el 0,07% de la precipitación incidente; en el bosque primario con 20% de extracción de área basal, el agua que llegó al suelo representó 75,8%, la intercepción el 24,2% y la escorrentía por el tallo el 0,007% de la precipitación incidente; en el bosque primario con 30% de extracción de área basal, el agua que llegó al suelo constituyó el 74,8%, la intercepción el 25,2% y la escorrentía por los tallos el 0,04% de la precipitación incidente; para los tratamientos de potreros la intercepción se consideró despreciable.

Las tasas de infiltración para los tratamientos con 0%, 20% y 30% de extracción de área basal fueron 116 mm/hr, 117 mm/hr, 84 mm/hr respectivamente; en el potrero con carga animal baja (0,53 u.a /ha) la tasa de infiltración fue de 45 mm/hr y para el potrero con carga animal alta (0,63 u.a/ha) fue de 22 mm/hr.

Los balances hídricos diarios mostraron que la recarga anual al acuífero en los tratamientos silviculturales, 0%, 20%, 30% de extracción basal representan, 7597 m^3 /ha, 10468 m^3 /ha, 9339 m^3 /ha, respectivamente; en el potrero con carga animal

más baja (0,53 u.a/ha) fue de 12790 m³/ha, y para el de carga animal más alta (0,63 u.a/ha) fue de 9840 m³/ha. El estudio indica que la variable hídrica que más influye en los balances hídricos diarios para los tratamientos silviculturales es la interceptación, mientras que para los potreros es la tasa de infiltración. De lo anterior se concluye que una extracción de área basal muy severa en el bosque afectaría el régimen hídrico.

Los indicadores financieros (VAN y B/C), para los tratamientos silviculturales 20% y 30% de extracción de área basal, valorando solo la producción de madera son \varnothing 32108790 y 2,17 para el tratamiento 20%; para el tratamiento 30% es de \varnothing 47250802 y 2,38, respectivamente. Adicionando la producción hídrica al análisis financiero y valorándola como un producto más del bosque a dos tarifas mensuales de agua (731 y 300 colones) y el excedente de agua en dos usos (hidroenergético, función ecológica), los indicadores financieros son: tratamiento 20% de extracción de área basal (tarifa de \varnothing 731, uso hidroenergético), VAN y B/C igual a \varnothing 37360321 y 2,28; (tarifa de \varnothing 731, uso ecológico) VAN y B/C igual a \varnothing 80327998 y 3,14, el mismo tratamiento a tarifa de \varnothing 300 y uso hidroenergético el VAN y B/C fue de \varnothing 36692750 y 2,26 ; igual tarifa y función ecológica el VAN y B/C igual a \varnothing 79660427 y 3,13.

Tratamiento 30% de extracción de área basal (tarifa de \varnothing 731, uso hidroenergético), VAN y B/C igual a \varnothing 55354615 y 2,53; (tarifa de \varnothing 731, uso ecológico) VAN y B/C igual a \varnothing 90004847 y 3,18, el mismo tratamiento a tarifa de \varnothing 300 y uso hidroenergético el VAN y B/C fue de \varnothing 54687045 y 2,52; igual tarifa y función ecológica el VAN y B/C igual a \varnothing 89337276 y 3,17.

TURCIOS, W. R. 1995. Production and Economic valoration of the hydrological and forest components of montane Oak Forest under silvicultural intervention. M.Sc Thesis, Turrialba, C.R., CATIE, 80 p.

Key Words: Cloud Forest, *Quercus copeyensis*, Silviculture, Forest Management, Logging, Water Balance, Hydrological Characteristics, Economic Analysis.

SUMMARY

The objective of the study was to economically value production of water and forest products in a montane oak stand subject to silvicultural intervention with Basal Area extraction of 0%, 20% and 30%. At the same time the effect of the forest management on some components of the Montane Forest hydrological cycle were evaluated. The research was carried out in the experimental area of Villa Mills, Siberia, belonging to the Natural Forest Silviculture Project (CATIE-COSUDE). The area is located in the North East of the Talamanca Mountain Range (Costa Rica) at altitude between 2,600 and 2,800 metres above sea level.

Each silvicultural treatment had four repetitions; in each repetition four rain meters were installed in order to measure surface runoff from the trunks of four trees. The variables evaluated were the incident precipitation, precipitation that reached the ground, variables that permit the calculation of aquifer recharge (m^3 of H_2O / ha) by means of daily hydrological balances for each treatment. The data on volume aquifer recharge on the 20% and 30% extraction intensities were included in the financial analysis and its sale price (as drinking water, hydroelectric production and water quality) were taken as income, which permitted the evaluation of the forest in two scenarios: as a wood producer and as a producer of wood and water.

The study determined that precipitation that reaches the crowns in three silvicultural treatments has the following distribution : in Primary Forest with 0% extraction of Basal Area the water which reached the ground represented 65.0%, 34.4% interception and trunk surface runoff of 0.07% of total precipitation. In Primary Forest with 20% extraction of Basal Area the water which reached the ground represented 75.8%, 24.2% interception and trunk surface runoff of 0.007% of total precipitation. In Primary Forest with 30% extraction of Basal Area the water which reached the ground represented 74.8%, 25.2% interception and trunk surface runoff of 0.04% of total precipitation. The interception by trees on farmland was considered negligible.

The rates of infiltration for the treatments with 0%, 20% y 30% extraction of Basal Area were 116 mm/hr, 117mm/hr, 84mm/hr respectively; on the farmland with low stocking density (0.53 stock unit per hectare) the rate of infiltration was 45 mm/hr and with high stocking density (0.63 s.u./hr) was 22 mm/hr.

The daily hydrological balances show an annual recharge to the aquifer in silvicultural treatments, 0%, 20%, 30% represent, 7597 m^3 /ha, 10468 m^3 /hr y 9339 m^3 /hr and for the highest animal stocking rate (0.63 s.u./ha) was 9840 m^3 /ha. The study indicates that the hydric variable that most affects daily water balances for the

silvicultural treatments is interception, whilst that on farmland the it is the rate of infiltration. It is concluded from this that a very severe extraction of basal area from the forest would affect the water balance.

Financial indicators (VAN and B/C), for the silvicultural treatments 20% and 30% of basal area extraction, valuing only wood production are \$ 174504 and 2.17 for the 20% treatment, the 30% treatment is \$ 256797 and 2.38, respectively. Adding water production to the financial analysis and valuing it as another product from the forest at two monthly tariffs for water (4 and 1,6 dolares) and the excess in two uses (hydroelectric energy and ecological use) VAN and B/C equal to \$ 436565 and 3.14, the same treatment at a tariff of \$ 1,6 and hydroelectric use was \$ 199417 and 2.26; same tariff and ecological function gives VAN and B/C equal to \$ 432937 and 3.13.

The treatment; 30% extraction of basal area (tariff of \$ 4, hydroelectric use), VAN and B/C equal to \$ 300840 and 2.53 (tariff of \$ 4, ecological use) VAN and B/C equal to \$ 489156 and 3.18, the same treatment at tariff of \$ 1,6 and hydroelectric use the VAN and B/C was \$ 297212 and 2.52; same tariff and ecological function VAN and B/C equal to \$ 485528 and 3.17.

Introducción

El rápido cambio que se ha producido en las formas de aprovechamiento del agua y los problemas de contaminación relacionados indican que la humanidad se halla actualmente en una fase de transición de la época en que se suponía que el agua era abundante, a un futuro en el que su utilización estará condicionada por una escasez creciente en varias partes del mundo.

Actualmente la situación de los robledales montanos debe ser calificada como inestable. Por un lado, con las condiciones protectoras del bosque, se priva la población local de una parte importante de su sostén de vida. Por otro lado, la fuerte deforestación de los bosques de las tierras bajas habrá de conducir en fecha no lejana, a una escasez de madera en el mercado nacional. De esta manera, la demanda tendrá que ser cubierta parcialmente por los bosques montanos de roble, lo que con toda seguridad significará su desaparición si no emplean las técnicas de cosecha tradicionalmente utilizadas en el país.

Los robledales de altura cumplen varias funciones muy importantes como protección (erosión, derrumbes) mantenimiento del régimen hídrico, conservación de la biodiversidad flora y fauna, producción madera, leña, postes y carbón, recreo y turismo, y generación de empleo.

En la zona experimental del CATIE en Villa Mills, las organizaciones ecologistas tiene un gran interés en el mantenimiento de su biodiversidad, por lo que se trata de proteger en modo especial a especies endémicas como *Podocarpus spp* y *Magnolia spp* en lo que se refiere a la flora, y el quetzal (*Pharomachchrus mocinno*) u otras especies en lo que se refiere a la fauna.

Por parte de las autoridades del gobierno central, específicamente el Instituto Costarricense de Electricidad y Acueductos y Alcantarillados tienen gran interés de proteger el bosque principalmente por la influencia de este en el régimen hídrico y la producción de agua, ya que parte del agua se utiliza en la generación de energía eléctrica del país, como también parte se deriva como agua potable para el Valle Central se origina en estos bosques.

La deforestación de estos bosques causaría cambios problemáticos en el régimen hídrico de la zona, disminuyendo el flujo base del acuífero en verano y aumentando el peligro de inundaciones en época de invierno, además del aumento de arrastre de sedimentos, lo que reduciría aguas abajo la capacidad de los embalses existentes y aumentaría el costo de tratamiento del agua.

El objetivo general del estudio es, desarrollar una metodología que permita valorar el efecto de las intervenciones silviculturales sobre los bosques de altura en la producción de agua y productos maderables, planteando los objetivos siguientes específicos :

- a. Desarrollar una metodología de valoración económica de la producción de agua y productos maderables.
- b. Analizar la relación de la cobertura vegetal y el régimen hídrico y sus consecuencias sobre la producción de agua.
- c. Valorar económicamente la producción de agua y productos maderables en la cuenca.

Las hipótesis planteadas fueron :

- a. Es factible desarrollar una metodología de medición y valoración económica para la producción de agua y productos maderables.
- b. Las intervenciones silviculturales en el bosque de una cuenca no alteran el régimen hídrico, pero si mejoran la producción de madera.

Revisión de Literatura

2.1. Procesos hidrológicos en una cuenca hidrográfica

En la naturaleza, el agua se presenta bajo diversas formas, sin embargo, existe una secuencia natural del pasaje de una forma a otra que obedece a leyes físicas precisas. Todos estos cambios, movimientos y diferentes formas que afecta el agua en la naturaleza constituye el ciclo hidrológico (Liebscher, 1985)

La fuente principal de agua que alimenta el ciclo hidrológico de una cuenca es la precipitación, Walling (1980), resume el ciclo hidrológico (Fig. 1.), en donde el agua de lluvia es interceptada por la vegetación y subsecuentemente evaporada, o bien alcanza la superficie del suelo mediante dos vías, como escurrimiento por los tallos o precipitación interna.

Una vez en el suelo, el agua puede infiltrarse o ser retenida en reservorios naturales, el agua superficial puede moverse como escurrimiento superficial o ser evaporada, así mismo el agua retenida en las capas superficiales del suelo esta sujeta a evaporarse o ser transpirada por las plantas, percolarse hacia otros estratos inferiores horizontales de suelo y movilizarse en el interior como escurrimiento subsuperficial. En el interior del suelo esta sujeta también a pérdidas por transpiración y evaporación por movimiento capilar ascendente, pérdidas por drenaje continuo del agua del suelo o por salida lenta hacia nacientes y ríos como escurrimiento subterráneo.

El ciclo del agua es, por tanto, un factor importante en el funcionamiento de los ecosistemas forestales, sobre todo en las regiones con déficit hídrico y limitante, esporádicamente o habitualmente. En general, la lluvia representa la principal fuente de agua en los ecosistemas terrestres, aunque en bosques una fracción se elimina rápidamente por evaporación en la misma cubierta vegetal; en ecosistemas forestales, esta pérdida se acompaña de una repartición espacial resultante de dos vías de penetración espacial a través de la cubierta vegetal de un bosque denso : una

esta representada por el agua que atraviesa el dosel y llega al suelo y la segunda por el escurrimiento por el tallo (Santa Regina, 1987).

2.2. Balance hídrico

El balance hídrico de una cubierta forestal puede expresarse en términos de las dos fórmulas generales siguientes :

$$P = ETR + R + D \pm \Delta H$$

donde :

P : precipitación sobre el bosque

ETR : evapotranspiración

R : escorrentía

D : drenaje

ΔH : variaciones de la reserva de agua del suelo

$$P = P_{\text{suelo}} + E_{\text{tallo}} + I$$

donde :

P_{suelo} : precipitación que atraviesa el dosel y llega hasta el suelo

E_{tallo} : escurrimiento por el tallo

I : intercepción

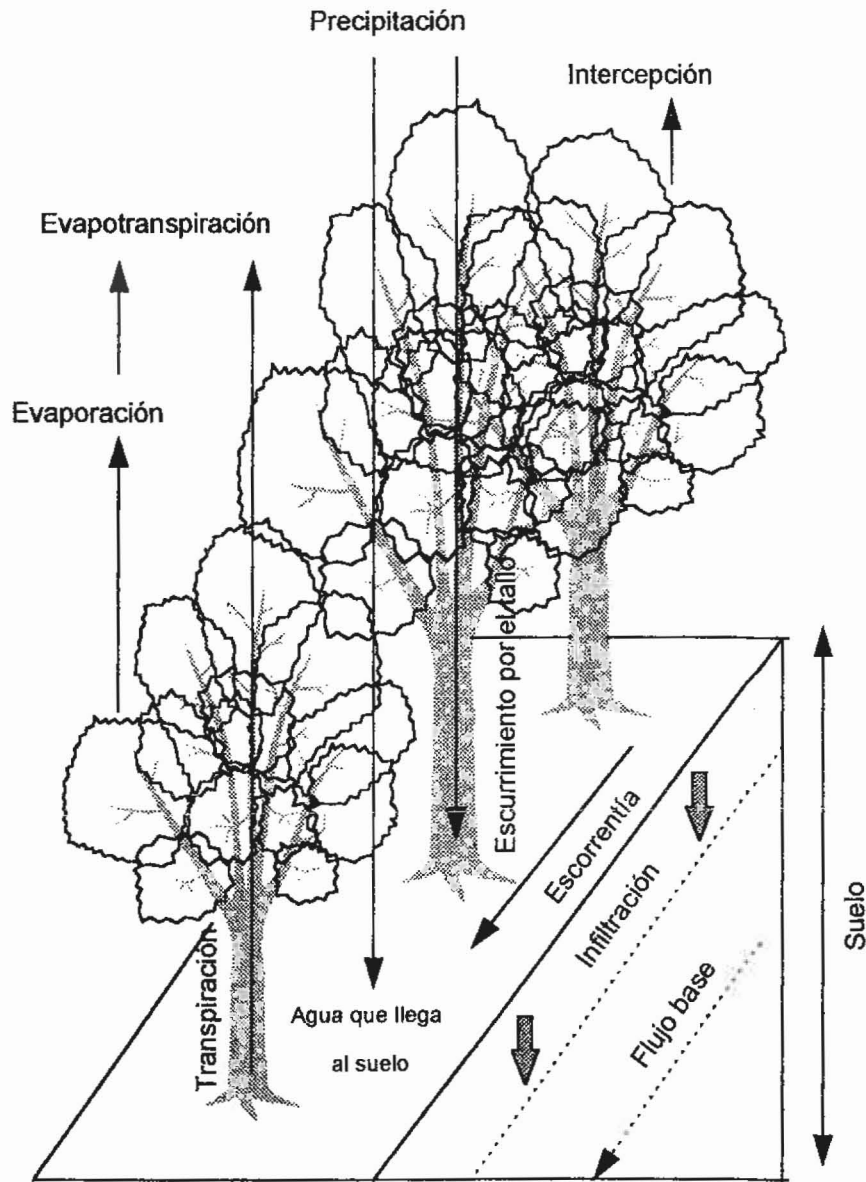


Figura 1. Ciclo hidrológico en un ecosistema forestal

Parte del agua de las lluvias que cae en un bosque es retenida temporalmente por las ramas y hojas de los árboles o arbustos, retornando a la atmósfera como

vapor de agua, el resto alcanza el piso del suelo pasando directamente por los espacios vacíos de las copas de los árboles o escurre por los troncos.

El proceso de retención parcial de agua por la vegetación y su posterior evaporación es llamado intercepción (Soriano, 1991). La intercepción es importante en la hidrología de un área, ya que resulta en pérdida de agua que de otra forma llegaría al suelo. Dentro del contexto de balance hídrico, durante épocas secas, la transpiración y evaporación resulta en pérdidas de agua de una superficie vegetal; en cambio, en períodos lluviosos la intercepción pasaría hacer pérdidas de agua en un ecosistema (Lima 1975).

Teklehaimanot (1991) analizó el efecto de distanciamiento de siembra sobre la pérdida del agua de lluvia por intercepción en un bosque de *Picea sitchensis* sembrados a distancias de 2, 4, 6 y 8 metros. El tradicional método de balance hídrico fue usado para medir el agua que atraviesa el dosel, vía escurrimiento por el tallo y la pérdida por intercepción; los resultados obtenidos muestran que, en promedio, las pérdidas anuales de intercepción, como un porcentaje de la precipitación total, representaron 33, 24, 15 y 9% en los distanciamientos de 2, 4, 6 y 8 m, respectivamente.

En un bosque de *Picea sitchensis* de 14 años de edad, en el Sur de Escocia, Ford (1978) analizó la distribución de la precipitación (agua que atraviesa el dosel, escurrimiento por el tallo y pérdidas por intercepción). La precipitación incidente fue de 1.639 mm de los cuales un 27% escurrió por el tallo, el 43% atravesó el dosel y llegó a la capa superficial del suelo y un 30% se perdió como intercepción.

En un bosque semidesiduo de sabana, en los llanos de Orinoco, Venezuela; San José (1992) estudió la distribución de la precipitación (agua que atraviesa el dosel, escurrimiento por el tallo y pérdidas por intercepción); durante 5 años las medias de precipitación anuales fueron 1.238 mm, 1.228 mm, 1.531 mm, 1.345 mm y 1.398 mm para 1981, 1982, 1983, 1984, y 1985 respectivamente, durante estos años analizados el porcentaje de agua que atravesó el dosel fue 75,7%, 81,8%, 74,1% y 77,4% de la precipitación total, respectivamente. La cantidad de agua interceptada se estimó en un rango de 0.6 a 1.0 mm. El escurrimiento por el tallo fue de 1,0%, 1.1% y 0.4% para los años 1983, 1984 y 1985, respectivamente; consecuentemente las

pérdidas por interceptación fueron de 19% y 12% de la precipitación total para los años 1983 y 1984, respectivamente.

En un área experimental situada en el bosque Acquerino cerca de Florencia, Italia, Giacomini (1992) midió la precipitación total, agua que atraviesa el dosel y el escurrimiento por el tallo en un período de 12 años (1978 a 1989). Para tal fin se realizó una categorización de la precipitación total de acuerdo a la cantidad de las hojas en las plantas y calculó las pérdidas por interceptación, escurrimiento por el tallo, y agua que atraviesa el dosel.

Scatena (1990), monitoreo la pérdida por interceptación en un periodo de un año y su relación con las características de la vegetación en dos cuencas en la estación experimental forestal de Luquillo de Puerto Rico. El promedio anual del agua que atraviesa el dosel fue de 59% y el escurrimiento por el tallo representó un 2.3% de la precipitación total.

Neal (1993) estudió la relación entre la precipitación, escurrimiento por el tallo, y el agua que atraviesa el dosel en plantaciones de tierras bajas en Hampshire, al sur de Inglaterra y determinó el escurrimiento por el tallo en 5% del total de la precipitación incidente, la cantidad de agua interceptada estuvo en un rango de 14% a 16%, y un 80% para el agua que atraviesa el dosel; estos valores cambiaron de acuerdo a la época del año en que fueron determinados.

Jonhson (1990) estudió la interceptación, agua que atraviesa el dosel y el escurrimiento por el tallo en un bosque de las tierras altas de Escocia y lo comparó con otros bosques de tierras altas en Inglaterra, y encontró que las pérdidas por interceptación fueron el 28%, el 69% y 3% para el agua que atraviesa el dosel y el escurrimiento por el tallo, respectivamente. Estos resultados fueron muy similares a los encontrados en otras tierras altas de Inglaterra.

Navar (1990) estudió la redistribución de precipitación y las pérdidas por interceptación en tres tipos de coberturas (*Diospyrus texana*, *Acacia farnesiana* y *Prosopis laevigata*) en un área semi - árida en el noreste de México en el verano de 1987; en este período 230 mm fueron registrados en 17 eventos de precipitación. Las pérdidas por interceptación fueron en promedio de 27.2% de la precipitación incidente.

Lloyd (1988) midió la variabilidad espacial del agua que atraviesa el dosel y el agua que escurre por los tallos en el bosque tropical del Amazonas, y encontró que del total de agua precipitada el 91% atraviesa el dosel, y el 1.8% escurre por el tallo.

Anderson (1986) cuantificó las pérdidas por intercepción en plantaciones de *Picea sitchensis* y "lodgepole pine", en cada plantación las mediciones fueron hechas para las variables precipitación total, agua que atraviesa el dosel y escurrimiento por el tallo, para los años 1977, 1978, 1979; las pérdidas por intercepción en la plantación joven de Sitka spruce fueron 32%, 28% y 27%, mientras que para la plantación de mayor edad en los años 1979, 1980 fueron 44% y 53%.

Viville (1993) determinó la intercepción, escurrimiento por el tallo, y el agua que atraviesa el dosel, en un bosque de *Picea abies* de 90 años de edad en la montaña de Voges, Francia. El periodo de estudio fue de tres años, durante los cuales el agua que atraviesa el dosel es de un 65.3%, la intercepción un 34.2% y el agua que escurre por el tallo 0.5% de la precipitación incidente.

2.3. El manejo de bosques naturales y su impacto hidrológico

El manejo forestal de los bosques naturales se refiere al conjunto de todas las planificaciones y operaciones necesarias para obtener madera y otros productos del bosque de manera sostenible, asegurando a la vez las funciones intrínsecas del bosque.

El manejo forestal de bosques naturales aplica técnicas que simulan y estimulan los procesos naturales de producción y regeneración, así como las perturbaciones naturales del bosque (Pedroni, 1991). En este sentido el manejo forestal basado en estos principios excluye automáticamente intervenciones muy fuertes.

Una intervención silvicultural comprende cualquier medida que implica la tala y en la mayoría de los casos la extracción de árboles para cosechar madera modificar o mejorar la estructura o composición, o favorecer individuos de potencial productivo dentro de un manejo forestal que aspira a la sostenibilidad (Stadmuller 1994). Las

operaciones pueden ejecutarse individual o colectivamente, pero siempre cumpliendo el objetivo del tratamiento silvicultural y del manejo de bosque (Hutchinson 1975).

En el marco del manejo forestal la sostenibilidad es definida como el principio que asegura, para las generaciones presentes y futuras, una producción de madera, de beneficios intrínsecos del bosque y de otros bienes en forma perpetua y óptima, (Pedroni 1991).

Cabe mencionar, que la función de producción de madera no es a priori inconciliable con la necesidad de proteger una cuenca hidrográfica, con el mantenimiento de la fertilidad del suelo o con una demanda de áreas de recreo, siempre y cuando se respeten tres principios básicos para el manejo forestal (Pedroni, 1991 citado por Beek 1992):

- I. Silvicultura basada en procesos naturales.
- II. Ordenación forestal a mediano y largo plazo.
- III. Extracción cuidadosa.

El manejo forestal influye en forma directa sobre la condición y estado de la vegetación y sobre la superficie del suelo; indirectamente en el estado de humedad del suelo antes del evento de precipitación, ya que en áreas intervenidas la modificación de la cobertura influye sobre la intercepción y la evapotranspiración.

Según Stadtmuller (1994) los efectos y funciones hidrológicas más importantes de los bosques naturales tropicales son :

1. Interceptan montos considerables de la precipitación bruta, por lo que el insumo de agua (precipitación neta) es menor que en otras coberturas vegetales.
2. Muestran altas tasa de evapotranspiración lo que significa una pérdida de agua.
3. Los suelos forestales en el trópico húmedo en general muestran altas tasas de infiltración y poca escorrentía superficial, a pesar de los altos montos e intensidades de la precipitación.
4. Muy eficientes en proteger el suelo contra erosión superficial a pesar del alto potencial erosivo de la lluvia, la densa vegetación del bosque y las capa del material orgánico en descomposición (aunque ésta a menudo es bastante delgada) son los factores principales en proteger el suelo, y en laderas protegen contra erosión en

masas, particularmente contra deslizamientos con superficies de deslizamiento poco profundas.

5. Una cuenca cubierta de bosque garantiza el cumplimiento de los más altos requerimientos de calidad de agua, comparado con otros tipos de uso de la tierra.

Contrariamente, podemos decir que los bosques naturales no tienen influencia sobre la precipitación bruta, por lo que no siempre son una garantía contra la erosión en masa, ni son una garantía contra inundaciones, especialmente contra inundaciones de cuencas extensas.

Según Stadtmuller (1994) el impacto sobre el régimen hídrico de una intervención silvicultural u operación de manejo de bosque depende de :

1. La cantidad de dosel removido y del sotobosque destruido.
2. La rapidez con la cual ocurre y se establece la regeneración natural en áreas con el sotobosque destruido y del suelo expuesto.
3. El tiempo de la intervención con relación a las épocas seca y lluviosa respectivamente.
4. Los eventos climáticos que siguen inmediatamente a la intervención.
5. El método y la tecnología de aprovechamiento.
6. El diseño y la densidad de caminos y pistas de arrastre, su uso y mantenimiento.
7. La presencia o ausencia de un manejo adecuado en las zonas de ribera o su protección.

Para estimar los impactos del manejo de bosque sobre el régimen hídrico Stadtmuller (1994) recomienda dividir las diferentes operaciones que comprende el manejo de bosque en los siguientes componentes : tala de árboles, extracción de madera, y caminos forestales.

El impacto de la tala es mínimo, siempre y cuando el dosel no sea disminuido fuertemente y la vegetación del suelo quede sin mayores daños.

Los impactos de la extracción de la madera sobre el bosque dependen principalmente del sistema de aprovechamiento, del tipo de maquinaria y de los mecanismos de control. El aprovechamiento tradicional, generalmente, causa impactos hidrológicos severos por el daño a la vegetación, al suelo y a la capa de material orgánico, exponiendo el suelo mineral en grandes áreas. La compactación y

exposición del suelo en combinación con el daño a la vegetación aumentan fuertemente la escorrentía superficial y provocan varios procesos de erosión. Por estas razones, el aprovechamiento forestal tradicional puede afectar seriamente al régimen hídrico y especialmente a la calidad de agua, hasta después de varios años del aprovechamiento, dependiendo de la intensidad del aprovechamiento y tipo de maquinaria utilizada en este.

Los caminos y pista de arrastre, generalmente son los que causan los impactos más severos entre todos los componentes del manejo, usualmente por mala planificación, lo que altera el régimen hídrico, incrementando los flujos máximos, provocando erosión y minimizando la calidad del agua generado. Los caminos y pistas de arrastre son los contribuyentes principales a la sedimentación en los ríos ya sea por pobre diseño, planificación deficiente o mala ubicación.

Hamilton *et al.* (1985) manifiesta que una cuenca puede responder hidrológicamente de diferentes formas lo que se debe a una serie de factores como ser :

1. El tiempo y la intensidad de un evento específico de precipitación.
2. La geomorfología de la cuenca en consideración.
3. El estado de humedad del suelo antes del evento de precipitación.
4. La condición y el estado de la vegetación y de la superficie del suelo.

2.4. Producción de Agua

Los resultados de varios de investigaciones en cuencas experimentales alrededor del mundo incluyendo el trópico húmedo, particularmente las realizadas para probar la hipótesis de que la cobertura vegetal afecta la producción de agua muestran una evidencia incontestable de que terrenos cubiertos por bosques producen menos agua que los mismos terrenos en barbechos, pasto o cultivos pequeños (Hewlett, 1970 ; Bosch y Hewlett, 1982 ; Hamilton *et al.*, 1985).

En zonas húmedas tropicales, esta diferencia es de aproximadamente 10% con una variación entre 110 y 835 mm en el primer año después de la conversión y

un promedio de 200 a 300 mm, comparando bosque con una cobertura de pasto bien manejada (Bruijnzeel, 1990).

El manejo de la cobertura forestal puede realizarse con el objetivo de aumentar la producción de agua mediante la tala selectiva de árboles, de tal manera que la reducción de la interceptación y transpiración de los árboles remanentes sea mayor que el aumento de interceptación y transpiración de la vegetación del suelo más la evaporación del mismo (Lull, 1970). Pero en la práctica sucede lo contrario, ya que es el bosque quien garantiza mejor y más bajo costo una adecuada protección del suelo.

Lamentablemente, la deforestación en los trópicos muy a menudo va seguida por un cambio de uso de la tierra que disminuye particularmente la capacidad de infiltración, lo que disminuye el flujo base durante las épocas secas, ya que la capacidad de infiltración disminuye a un nivel tan bajo que la mayoría del agua proveniente de la lluvia escurre superficialmente (Bruijnzeel, 1990).

El problema de las consecuencias de la deforestación para el régimen hídrico no es tanto la remoción de los árboles, sino el sobre uso que sigue después, el cual no corresponde al uso potencial del suelo y no incluye las medidas necesarias e indicadas para la conservación de suelos y aguas (Bruijnzeel, 1990).

2.5. Valoración económica del manejo de bosques

La economía forestal tiene como tarea contribuir en asignar eficiente y adecuadamente los recursos escasos entre diferentes opciones para producir bienes y servicios con el propósito de satisfacer, por un lado, las necesidades de la sociedad y por otro lado, generar beneficios o ganancias a las empresas forestales privadas (Reiche, 1993).

Hernández (1992), encontró en Baja Talamanca, Costa Rica, que en fincas mayores de 30 ha el bosque natural representa para el propietario una fuente importante de ingresos de dinero en efectivo para poder sembrar los cultivos de subsistencia y de renta. Esto implica que habrá menos posibilidad de convertir las tierras forestales a otros usos. Por otro lado, en fincas menores de 10 ha el uso de la

tierra forestal representa la única fuente de tierra para sembrar los cultivos de subsistencia y de renta. Por lo cual, el productor agrícola siente la necesidad de convertir esa tierra a uso agropecuario.

Londoño (1993) hizo una evaluación del manejo forestal en San Rafael de Bordón, Baja Talamanca, Costa Rica, y determinó que el margen bruto es de ₡ 3700 por jornal y de ₡ 15900 por hectárea, mientras los ingresos netos por jornal y por hectárea alcanzan ₡ 3400 y ₡ 16400, mostrando que la actividad forestal retribuye el jornal familiar y la tierra por encima de su costo de oportunidad (₡ 625 y ₡ 7200), de la región. En comparación con el subsistema pecuario tradicional, cuyo margen bruto por jornal oscila entre ₡ 1800 y ₡ 2100 y el margen bruto por hectárea entre ₡ 14900 y ₡ 16700, respectivamente (1 US\$ = 150 ₡).

Herrera (1990) hizo un análisis financiero de las operaciones silviculturales realizadas en Sarapiquí, Costa Rica, desde la perspectiva del manejo a nivel de finca y encontró que relaciones de beneficio costo de 0,96, 0,9 y 1,06 para las intervenciones intermedias (17, 27 y 35 años, respectivamente), en tanto que para la corta final (55 años) dicha relación fue de 7,1 (tala rasa de todas las especies) y 4,11 para la corta selectiva de la especie de Guácimo (*Goethalsia meiantha*).

2.6. Valoración económica del agua

Qué son los pseudoprecios en el caso de los bienes y servicios ambientales?:

El concepto de pseudoprecios ambientales (Aguirre, 1995; Azqueta, 1994; Brody, 1995) se basa en la idea de que es posible valorar un bien natural cuando:

1. Se asocia en forma directa el valor de este al valor de un bien privado, fácilmente identificable y mercadeable;
2. Hay una base de complementariedad entre el bien privado y el bien ambiental;
3. Es posible normalizar el valor de estos bienes en el tiempo en cierta forma;

4. Es posible identificar con mayor o menor precisión los usuarios y los no usuarios actuales y potenciales de un bien ambiental.

Con base en lo anterior, es posible afirmar además, que para cada persona o grupo de personas el medio ambiente tiene diferentes tipos de valor, en el fondo existen valores o pseudo precios derivados del argumento anterior: valores de uso y los valores de no uso.

Lo anterior se complica cuando dimensionamos estos valores dentro del contexto de los usuarios (para quienes el valor es fácilmente identificable) y los no usuarios (para quienes podría tener un valor).

Lo anterior genera dos tipos de posible fuente de valoración de un bien ambiental:

- a. Valor de uso o aquel que se deriva de las personas que utilizan un bien y que se ven afectadas directa e inequívocamente por cualquier cambio que al mismo le ocurra, en esto casos los bienes suelen tener un mercado identificables y su valor guarda relación estrecha por el valor de uso y disfrute que ese bien tenga para la persona. El problema es que esto que pareciera tan evidente en la medida que esto no contempla o da cabida al uso y disfrute de uso indirecto. Por ejemplo, en muchos casos si uno vive cerca de un bien ambiental yo puedo disfrutar de algo sin consumirlo, y el bien tiene valor pero no lo pago, porque tengo acceso a su disfrute.
- b. Valor de no uso o aquellos que existen aunque la persona no haga uso directo de los bienes y se derivan de la reconocida y aceptada existencia de tales bienes o servicios y de los beneficios que su existencia o los costos que su pérdida pueden tener para ciertos grupos de usuarios.

Esto valores de no uso suelen ser identificados algunas veces con los valores de opción. Entre los valores de opción mas comunes están:

Valor de opción: es aquel que se deriva de la incertidumbre individual, que experimenta la persona con respecto a si el bien ambiental en cuestión estará disponible o no para su utilización futura.

Valor de cuasi-opción: es aquel que se deriva de la incertidumbre de no tener información completa, para tomar cierto tipo de decisiones. En el fondo el valor de

cuasi opción es el beneficio de esperar por una información vrs el costo de obtenerla más el de postponer la decisión hasta que sepamos más. Esta valoración tiene que ver más con el proceso de toma de decisiones que con el proceso de valoración propiamente dicho.

Valor de existencia: es aquel que se deriva de la existencia de un bien aunque la persona que lo valora, no lo usa ni lo piense utilizar en el futuro. Dentro de esta idea hay implícito un altruismo ético en el fondo ligado a los conceptos de: herencia, benevolencia, simpatía por otros seres humanos y la creencia que otros seres vivos tiene derecho a existir.

En el fondo estos valores y su eventual agregación a nivel colectivo o de macroanálisis tienen como base ético/moral al menos cinco ideas:

- a) dominio no restringido del bien;
- b) una relación no negativa entre el bienestar social y el individual;
- c) independencia de selección entre las opciones de bienes sustitutivos;
- d) hay soberanía ciudadana en la selección de opciones;
- e) un proceso de valoración y agregación con un contenido democrático claro.

Por lo tanto, los que finalmente podemos llamar pseudo-precios naturales o ambientales son aquellos precios que reflejan lo que hubiera sido, las voluntad o disposición a pagar por un bien o servicio natural en aquellas situaciones o casos donde no existe una valoración competitiva del bien o servicio de parte del mercado.

En el fondo en los análisis normales nunca encontramos, ninguna de las medidas anteriores utilizadas en la práctica para la estimación de los precios lo que solemos encontrar de una forma o de otra suelen ser dos medidas analíticas alternativas fácilmente reconocibles:

- la disposición a pagar (DP) la cual muestra lo que la persona estaría dispuesta a dar para obtener una mejora o para evitar un cambio que empeoraría su situación (bienestar).
- la compensación exigida (CE) la cual muestra la cantidad que la persona demandaría para aceptar un cambio que empeora su situación, o renunciar a uno que la mejorara.

Que limitaciones suelen tener esta clase de análisis?

Las limitaciones más importantes de las pseudo valoraciones ambientales radica en el efecto que tenga sobre la valoración del bien ambiental:

- la renta inicial de la persona;
- la magnitud de los cambios esperados;
- la aversión al riesgo de la persona;
- la "moralidad o inmoralidad" percibida por la persona sobre la compensación o pago a efectuar;
- la existencia de bienes alternativos;
- las posibilidades de sustitución entre el bien en cuestión y los otros bienes alternativos;
- el derecho de propiedad que la persona pueda atribuirse por aquel bien o servicio por el cual se le esta compensando;
- el tipo, nivel y profundidad de los conocimientos que tenga el entrevistado sobre la situación base (bienestar) y sobre los efectos que sobre esta tendrán los cambios que se planean.

Como se observará al final son muchos los elementos que intervienen e influyen el análisis respectivo, no obstante lo anterior indicaría que el diseño de esta clase de análisis mientras más aisle las limitaciones anteriores menos impreciso serán los resultados en términos de la variación esperada.

2.7. Precios ambientales y los métodos de estimación

Los métodos de valoración que se derivan del planteamiento analítico anterior son muchos y han tenido una proliferación en años recientes, lo cual facilita su presentación y entendimiento, en la medida que cada uno es de aplicación reciente.

A continuación se discutirán algunas de las formas más comunes de valorar algunos de los recursos naturales renovables y algunas otras que se acercan más al sector agropecuario y forestal y a algunos de los denominados servicios ambientales

(Aguirre, 1995; Azqueta, 1994).

2.7.1. Método de los costos inducidos o evitados.

La valoración a través del método de costos inducidos, plantea usualmente dos alternativas teóricas, la productiva y la utilitaria.

2.7.1.1. Enfoque productivo.

Basa sus planteamientos en la posibilidad de que el bien ambiental objeto del análisis, este relacionado con algún bien privado de una forma muy concreta entrando a formar parte con el como sustituto en una eventual función de producción.

Dentro de este contexto puede darse el caso que el bien ambiental constituya un insumo productivo en la función de producción de un bien privado. Dentro de este contexto es básico conocer y medir físicamente como afecta el cambio en la calidad del bien público, el rendimiento de los demás factores en la producción del bien privado. En estos casos se suele afectar directa y valorablemente y son susceptibles de ser manejados en forma estadística como una función de producción en términos casi siempre del rendimiento físico del proceso productivo.

La superficie de respuesta con la variable ambiental permitiría la generación de una expresión económica de beneficio total atribuible a la medida adoptada, beneficio que en este caso tomaría la forma de un aumento de excedente al productor, por lo que conoceríamos también quienes son los beneficiarios.

2.7.1.2. Enfoque Utilitario.

Otra forma de medir los costos inducidos o evitados es verlo y medirlo por el lado de la utilidad, o sea medir el valor económico de una mejora en la calidad ambiental calculando el ahorro en costos que representa poder prescindir de la

necesidad de adquirir una serie de unidades de Y , con el consiguiente aumento en la capacidad de compra del consumidor.

Supongamos por ejemplo que yo tomo una serie de medidas para evitar la contaminación del agua de un río, y estas medidas permiten alcanzar un nivel de producción en aquellos usuarios posteriores del agua y del propio contaminador que mejoran la productividad de las actividades productivas de quienes utilizarán el agua posteriormente. El costo de las medidas defensivas (evitado) sería la expresión del beneficio introducido. En el fondo este enfoque de los costos inducidos o evitados tiene dos problemas:

- esta clase de medidas a veces tienen un efecto sinérgico entre los factores evitados y los demás factores que en el fondo no podemos medir con precisión y toda mejora solemos atribuirselo a las medidas defensivas tomadas;
- no hay prácticas defensivas perfectas que a su vez en sí mismas no generen algún tipo de alteración o daño como tal y a veces este efecto realmente "neto" no se valora.

2.7.2. Método del costo del viaje.

La relación entre bienes privados y ambientales, a veces se plantea dentro de un criterio de complementariedad en la función de utilidad de los seres humanos. En otras palabras cuando el consumo de un bien ambiental requiere el consumo de un bien privado.

El origen del concepto se debió a una solicitud del Servicio de Parques Nacionales en 1949 sobre cómo valorar los beneficios de los parques, y las bases las dio Hotelling para que después Clawson y Knetsch las perfeccionaran.

La idea de Hotelling era terriblemente simple. Normalmente el precio de entrada a los parques ha sido casi simbólico, el visitante incurre en unos costos de viaje para llegar a ellos y disfrutar de los mismos. La idea entonces sería la de estimar la demanda del parque ante cambios en el costo de disfrutar el parque.

Con ello tendríamos en teoría estimada la curva de demanda del bien y se podrían analizar, los cambios en el excedente del consumidor que una modificación en el mismo produciría.

Los costos en el fondo tienen dos tipos de componentes, cada uno de los cuales tiene una visión práctica de si se deben incluir y porque, ya sean los costos ineludibles o los gastos discrecionales.

Costos ineludibles o los relacionados con el desplazamiento al sitio, en el caso de viajes en carro tendríamos cosas como: gasolina, mantenimiento, depreciación o los costos del boleto si el servicio fuera obtenido de una empresa de servicio público.

Costos discrecionales o los relacionados con el hecho de trasladarse pero no relacionados al precio del boleto o los gastos incurridos i.e., comer por el camino, estacionamiento, dormir en el camino etc. Hay quienes argumentan que en estos casos el criterio sería el de incluir, los gastos incrementales del viaje vis-a-vis los costos en que se hubiera incurrido si nos hubiéramos quedado en la casa.

El problema en la práctica es que rara vez en el caso de los gastos discrecionales hacemos un análisis capaz de enfrentar esta clase de refinamientos, porque en el fondo nunca conocemos la "situación del año cero" o sin proyecto de viaje, ya que no es posible valorar la realidad de los gastos diarios del hogar en la actividad normal y diaria.

Aunque este método como cualquier otro que se sustente en el valor de uso es cuestionable, las limitaciones que a continuación presentamos se deben a varias cosas:

1. Cuando el análisis se hace a individuos que en un viaje visitan varios lugares;
2. La demarcación de la zona de influencia del área bajo análisis, la evidencia muestra que hay ciertos efectos en términos de lejanía, casi siempre el destino de estos es múltiple;
3. La no inclusión de emplazamientos alternativos que puedan sesgar los cálculos. La idea de exclusividad de los servicios de un sitio;
4. El efecto que tiene sobre la "intensidad de la demanda" de un visitante por un sitio dado i.e., el tiempo de la visita no es lo mismo un día que un mes de estancia;
5. El problema de la no continuidad de la variable visita;

6. El efecto de dejar fuera los usuarios potenciales del sitio, que no se contabilizan al estudiar el sitio específico.

Los problemas anteriores en el fondo son reales y a veces pueden resolverse metodológicamente compensando para algunos de ellos, desde luego que al final además de lo anterior existen tres limitaciones reales a cualquier encuesta:

1. Relevancia de la pregunta que deseamos contestar y su importancia para el colectivo para el cual se realiza el estudio;
2. El tiempo disponible para hacer el análisis y poseer una mejor información que la que se posee en un momento dado;
3. Los recursos, informaciones de base, físicos, humanos y sobretodo los financieros que definirán el grado de complejidad y de sutilezas intelectuales de los modelos a utilizar y la complejidad de los estudios;

Muchos han argumentado que el tiempo que gastamos en el viaje debe de ser estimado y valorado, la verdad es que esta posición no es fácil de superar en la medida que muchos a veces hacemos los viajes mas largos y complicados por el simple disfrute que nos da el viaje y las distracciones que del desplazamiento físico se derivan.

2.7.3. Método de los precios hedónicos.

Los precios hedónicos se refieren a circunstancias donde muchos bienes no tienen un único valor de uso, no satisfacen una única necesidad humana, sino que son bienes multiatributos: satisfacen varias necesidades al mismo tiempo.

Los llamados precios hedónicos intentan precisamente descubrir todos los atributos del bien que explican su precio y discriminar la importancia cuantitativa de cada uno de ellos. En otras palabras atribuir a cada característica del bien su precio implícito: la disposición a pagar de la persona por unidad adicional del bien.

En primer lugar, esto supone que existe una relación entre un bien privado y un bien ambiental, que los bienes ambientales son bienes superiores y que la persona en la medida que el entorno se deteriora el ser humano esta dispuesto a pagar una

cantidad mayor por recuperar las características originales del bien ambiental siendo este deterioro del bien uno que afecta las calidades del bien privado .

Después de especificada la función , el análisis marginal de los precios de los bienes ambientales se puede enfrentar de dos formas:

- a. Análisis de corte transversal: donde se analizan un numero determinado del bien privado en un instante del tiempo y su relación con su precio y los niveles del bien ambiental correspondiente;
- b. Análisis temporal: donde se analiza como cambio el precio de un bien privado al ir variando la calidad del bien ambiental.

Los supuestos elementales para poder aplicar con cierto exactitud el esquema de precios hedónicos suelen ser:

1. Movilidad de personas, o sea donde la persona no puede por alguna razón física, económica, social o política elegir que hacer en respuesta a un cambio en el bien ambiental.
2. El efecto de la renta per capita, debe ser o compensado y se debe de brindar suficientes evidencias que este no afecta la estructura de respuesta de los efectos sobre el bien privado.
3. En el fondo el precio hedónico solo recoge valores de uso, o sea el valor que los usuarios de un bien privado proyectan en cuanto a valor del bien privado en el mercado como resultado de un cambio en la calidad del bien ambiental, esto también podría aplicarse a más hectáreas de la misma calidad.
4. Que es posible recoger en una sola medida el cambio efectuado a efectuar en el componente ambiental i.e contaminación del agua, contaminación atmosférica, etc.
5. El efecto en el tiempo, en la evolución de la calidad ambiental es perfectamente previsible, este supuesto es en si bastante fuerte pero es una realidad.

2.7.4. Método de valoración contingente.

El método de valoración contingente a despecho de los métodos anteriores es un método de valoración denominado directo ya que intentan valorar los valores que

otorgan las persona a los cambios en el bienestar que les produce la modificación en las condiciones de oferta de un bien ambiental, a través de una pregunta directa.

La valoración final que se le da al bien depende de la opinión expresada por la persona a partir de la información recibida en las entrevistas. La idea central para saber como valora una persona el cambio en el bienestar es preguntándolo.

Los cuestionarios para esta clase de valoraciones suelen venir estructurados en cuatro partes normalmente:

- Bloque uno: incluye la información relevante sobre el bien o el problema en estudio, de modo que el encuestado tenga una información lo suficientemente precisa como para identificar correctamente el problema de que se trata. Es normal, en el caso de los bienes ambientales acompañar esta primera información con gráficas, fotografías o dibujos que ayuden en la comprensión del problema.
- Bloque dos: incluye la modificación objeto del estudio. Es decir el nivel de partida en cuanto a la calidad del bien ambiental; la modificación propuesta; lo que ello supone para la persona y el mecanismo de financiamiento de la medida objeto del estudio.
- Bloque tres: incluye las preguntas que intentan averiguar la disposición a pagar por el cambio propuesto. O sea el nivel de pago que se esta dispuesto a pagar por el mayor bienestar que supone una mayor calidad ambiental. (No es lo que se piensa que la sociedad debiera hacer o pagar, es lo que piensa el entrevistado).
- Bloque cuatro: incluye las características socioeconómicas mas relevantes de la persona relacionadas con el problema objeto del estudio: edad, sexo, renta personal, estado civil, nivel de estudios etc.

Los problemas más comunes en esta clase de estudios son:

1. Las restricciones que tenga de por si el método de encuesta utilizado y el formato de pregunta manejado;
2. Tiempo transcurrido entre el evento que se investiga y el momento de la investigación,
3. Tiempo para responder la encuesta;
4. Consistencia en el tiempo;

5. Las respuestas negativas o no respuesta, sobre las cuales siempre hay que volver para averiguar lo razón de la reacción;
6. Los sesgos introducidos para los diferentes aspectos del estudio.

2.8. Valoración económica de los efectos ambientales

Reflexiones sobre las implicaciones para el diseño de políticas (Azqueta, 1994; Convery, 1995).

El análisis económico del efecto ambiental de las actividades antropogénicas y su valoración apropiada , sobre el medio natural a través del análisis de los costos y beneficios a pesar de su base técnica tiene un profundo contenido político y no tecnocrático como muchos quieren hacer creer, ya que no puede argumentarse que todos los grupos económicos se van ha ver beneficiado o perjudicado de la misma forma por las medidas que en uno u otro sentido se tomen para mejorar la situación ambiental.

Los alcances políticos del análisis de impacto ambiental al igual que en cualquiera de los casos en que se aplica el análisis económico (Sheng, 1995; Van Dieren, 1995), depende de:

- a. Cuales son los grupos en conflictos ? ;
- b. Cuáles son los intereses de cada grupo ?;
- c. Que intereses sean los prioritarios ?;
- d. Porque se presentan compensaciones para los perjudicados ?;
- e. Que tipo de compensaciones se contemplan para los perjudicados ?;

Ninguna decisión de análisis de impacto ambiental puede ser iniciada sin este debate previo en que los distintos grupos sociales se ponen de acuerdo sobre:

- Los derechos e intereses en conflicto;
- Las prioridades relativas y las;
- Compensaciones planteadas para cada grupo.

No hay que olvidar que los problemas que plantea la valoración del cambio en el bienestar que genera una modificación en la calidad ambiental, no es de fácil solución ya que asume la objetivización de la subjetividad política de las preguntas antes planteadas no ha un individuo en particular sino a la sociedad como un todo.

Es importante resaltar por otra parte que : los esquemas de distribución existentes, las características del consumo y las consideración ecológicas requeridas para mantener la integridad de los sistemas enmarcan el uso de estos métodos de valoración extra mercados o valoración contingente en su capacidad de guiar la asignación de recursos entre los diferentes usos que hace el ser humano y la sociedad civil al final en su conjunto de los bienes y servicios naturales.

Si vamos a aceptar como base una esquema teórico, donde economía y naturaleza estén en armonía, y podemos valorar el uso que damos a la naturaleza a través de los diferentes mecanismos de pseudo precios, parecería lógico pensar que si dañamos estas relaciones físico ambientales es menester que identifiquemos, valoremos y paguemos a la sociedad civil los daños infringidos, es pues lógico analizar los impactos ambientales y de ello derivar las medidas de política económica que de ello se deriven.

2.9. Valoración del agua.

La sección que sigue pretende generar algunos posibles alternativas para valorar algunos de los bienes y servicios ambientales mas importantes. Los esfuerzos se centrarán sobre los mas importantes al menos por el momento en relación con el desarrollo de políticas y decisiones que de ello se deriven.

La valoración de este liquido pensamos puede enfocarse siguiendo patrones claros en función del método de costos inducidos y el de costo de oportunidad desde luego siempre y cuando podamos medir con cierta precisión la capacidad que tiene un determinado ecosistema de generar agua o como podríamos llamarlo producir agua en términos económicos (AyA, 1990a; 1990b; 1993, 1994; 1995a, 1995b).

2.9.1. Valoración por precios administrados.

En el caso del mercado, tenemos como punto de referencia los cánones que carga la empresa administradora de agua del manejo del agua a los diferentes usuarios (MEOPTMA, 1995; AyA,1995), lo anterior representaría manejar esta situación de dos formas:

- a. Obtener información sobre las tarifas por tipo de usuario que se aplican en la actualidad, para ver si existe diferencias por usuario.
- b. Obtener información sobre los montos totales de metros cúbicos vendidos o facturados por la empresa administradora, para el país en su totalidad y separar esta facturación si fuese posible entre facturación urbana y facturación rural.
- c. Paralelamente a los datos de facturación se tendría que obtener información al valor total de la facturación para cada uno de los usos para verificar los valores promedio facturados y ponderados debidamente al tener metros cúbicos y valor total por tipo de destinatario y usuario.

En el caso de Costa Rica el Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (AyA), ha establecido tarifas para los diferentes tipos de uso y usuarios que reconocen las condiciones particulares de cada grupo : domiciliaria, ordinaria, reproductiva, preferencial y gobierno.

2.9.2. Valoración en base al mercado

En los países de la región se están dando por primera vez en esta década la apertura de posibles alternativas para la venta de agua (Azqueta, 1994), el agua que es vendida se destina usualmente a dos usos:

- a. Consumo humano a nivel urbano para beber y para los usos relacionados con el hogar.
- b. Consumo para usos agrícolas principalmente el riego.

En el caso de agua para consumo urbano se podrían utilizar como precios de referencia los que cobran las empresas que venden agua en tanques cisternas en las ciudades para ellos habría que obtener información sobre las tarifas que cobran estas compañías por metro cubico.

Esta información se podría obtener ya sea en forma telefónica o en forma de visitas para obtener la información esta segunda opción sería preferible en la medida que se podría obtener información sobre:

- a. Fuentes más usuales de provisión.
- b. Si el agua recibe algún tipo de tratamiento para garantizar su uso por esta clase de consumidores.

En el caso de agua para riego, en realidad existe solamente al menos por el momento la opción de obtener información sobre las tarifas por metro cúbico de agua que cobra la empresa estatal que maneja las aguas de riego en el país y que en el caso de Costa Rica es el SENARA.

El SENARA cobra una tarifa fija que pretende recuperar los costos de inversión y los costos variables en cada distrito de riego, con bastantes problemas debido a que hasta épocas recientes solo recuperaba los costos variables y los de inversión eran cubiertos por el gobierno.

Eventualmente, sin embargo, sería posible obtener información sobre los procesos productivos relacionados con la producción agropecuaria en la que se utiliza el agua y estimar por la vía de una función de producción la productiva marginal de ese insumo.

Otra cosa es obtener por la vía de la valoración indirecta el valor de los insumos que se pierden por la lluvia y la lixiviación en un suelo normal productivo en un uso normal y valorar así el valor de un metro lineal de lluvia o de un milímetro de lluvia en este caso habría que hacer la conversión de la lluvia caída y la cantidad de agua que esto representa en términos de agua (m^3) en forma de lámina.

Estos sistemas son más complejos y requieren un análisis más complejo en materia de valoración a través de funciones de producción, pero creemos que es posible y que lo único que requeriría sería ampliar la función de producción para

incluir en estas la lluvia suplida ya sea por la vía de la lluvia o de los m^3 suministrados a través del riego.

Otra alternativa la tendríamos estudiando los diferentes usos que usan agua como materia prima básica: bebidas gaseosas por ejemplo.

Estimar cuanta agua se requiere para generar un número específico de bebidas gaseosas y dar el valor al agua en términos de las bebidas gaseosas y su valor de mercado.

2.9.3. Valoración en términos de costo energético.

Uno de los principales usos del agua en esta región es el agua utilizada para generación hidroeléctrica, este en el fondo se ha convertido en el uso alternativo más razonable que muchos de los países dan a las diferentes aguas.

Si pudiésemos asumir que en el fondo, toda agua disponible es potencialmente utilizable en la producción de energía eléctrica, no parecería muy difícil estimar para los diferentes sistemas de generación la relación entre los m^3 de agua y la capacidad de estos convertidos en energía (ICE, 1969; USDA, 1995; Gibbons, 1987). En otras palabras cuantos kilowatts por ejemplo se pueden generar en promedio con un metro cubico de agua y valorar este en su costo de oportunidad.

En este caso el ICE establece un factor de conversión de 0.97 más o menos de agua a energía, dependiendo de la estación generadora en la cual se procesa el agua, que permitirá dar un valor energéticos equivalente al m^3 de agua en términos de su capacidad para generar energía.

2.9.4. Valoración por disposición a pagar

Esta clase de valoración es obtenida a través de encuesta y se estima solicitando al encuestado a través de una entrevista (Azqueta, 1994; Convery, 1995; Gibbons, 1987).

- a. Cuánto está dispuesto a pagar por el agua para cambiar de un uso a otro ? ;
- b. Cuanto esta dispuesto a pagar para mantener el servicio actual de agua en caso de que el servicio actual por ejemplo tenga que subirse de precio para seguirlo dando ? ;

En estos casos habría que ponderar las disposiciones por los niveles de ingreso ya que en este caso la disposición a pagar dependerá desde luego del nivel de ingreso de la persona.

En nuestro caso se decidió solicitarle a los vecinos de las diferentes comunidades vecinas a la cuenca que manifestaran su disponibilidad a pagar por el agua entendiéndose desde luego que en la actualidad se les cobraba una tasa fija mensual y se les permitía un consumo no restringido de la misma.

2.9.5. Valoración por cambio de uso

En muchas ocasiones el agua que esta disponible, se recibe en condiciones que impiden su uso para un cierto tipo de actividad. En este caso habría que tipificar con claridad, las características físicas que impiden el uso para el cual se desea destinar el agua y se hace una estimación de cuanto cuesta poner el agua en condiciones de ser utilizada en ese uso que se pretende tener (Bowes,1984; Gibbons,1987; Solozarno, *et al*, 1995).

Esta alternativa también podría verse de otra forma, supongamos que de hecho una actividad cualquiera contamina un cierto cuerpo de agua, el agua así contaminada por ejemplo no puede ser usada por ejemplo aguas abajo para ser usada en riego, y esa contaminación impide producir cierto tipo de producción. En ese caso el costo a la economía es aquel valor de la producción que no se puede llevar a cabo.

Es obvio que mientras más valiosa es la actividad que no se puede llevar ha cabo, más valiosa es el agua en términos del valor de la producción perdida y como tal más tolera en términos de gastos la actividad de corrección ambiental.

Nos parece importante recordar que en la práctica lo más importante para la mayoría de las valoraciones es tener una idea de cuál es el valor de uso de la actividad a la que se destina el agua y qué es el aporte del agua en términos físicos a la actividad respectiva ya que si es posible medir físicamente el atributo al que le deseamos dar valor por un uso determinado, entonces sin duda alguna podremos valorar el bien natural en función del uso al que lo estimamos destinando.

Materiales y Métodos

3.1. Localización del área de estudio

La investigación se realizó en el área experimental Villa Mills Siberia perteneciente al Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales (CATIE- COSUDE).

El área se localiza en la parte noroeste de la Cordillera de Talamanca (Costa Rica), entre los 2600 y 2800 msnm. El clima se caracteriza por presentar una época seca corta (entre enero y marzo), con lluvias presentes durante los demás meses del año; de julio a agosto se da un descenso de las lluvias.

La temperatura media anual está entre 12.3 °C (2380 msnm) y 7.3 °C (3365 msnm), con variaciones anuales de 1.4 °C a 1.8 °C y variaciones día del orden de 6.9 °C (2380 msnm) y 5.7 (3365 msnm). Las temperaturas máximas llegan a 16 °C a (3365 msnm) mientras las mínimas pueden bajar a cero. La precipitación anual promedio alcanza los 2643 mm; cerca del 90% de ellas son de tipo convectivos y ocurren entre mayo y noviembre.

Los meses más lluviosos son septiembre y octubre con máximas absolutas mensuales hasta por encima de 1000 mm; los valores de precipitación mínima mensual en la época lluviosa se encuentra sobre los 120 mm.

Según las clasificaciones de zonas de vida de Holdrige (1978) los bosques considerados corresponden al Bosque Pluvial Montano dominados en dosel superior por especies del género *Quercus* y con fuerte presencia de bambú (*Chasquea spp.*) en el estrato inferior.

3.2. Tratamientos y variables evaluadas

Desde 1984 el Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales (SBN) del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) ha realizado investigaciones ecológicas y silviculturales en los robledales de altura de la Cordillera de Talamanca, con el objetivo de contribuir a su manejo forestal sostenibles. En esta área el Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales analiza el efecto que diferentes intervenciones silviculturales pueden tener sobre los procesos naturales. Se realizaron dos tipos de intervenciones silviculturales que combinan aprovechamiento y tratamiento silviculturales :

- a. Intervención débil, cortando el 20% del área basal existente ($Dap \geq 10$ cm), tratando de aumentar crecimiento y mejorar estructura y calidad del robledal remanente.
- b. Intervención fuerte, cortando el 30% de área basal existente ($Dap \geq 10$ cm), tratando de resolver el establecimiento y desarrollo de la regeneración natural del bosque.

En cada uno de estos tratamientos se levanta y monitorea toda la información silvicultura relevante, incluyendo crecimiento y calidad de árboles remanentes, desarrollo de la regeneración natural y daños causados por tala y arrastre. Estas mediciones se efectúan sobre parcelas permanentes de una hectárea que tienen entre ellas zonas de amortiguamiento.

Para este estudio se consideraron también como tratamiento el bosque primario (sin intervención silvicultural) y áreas de potrero con diferente carga animal (eliminación total del bosque) .

En resumen los tratamientos fueron los siguientes :

1. Bosque primario con 0 % de intervención silvicultural
2. Bosque con 20% de intervención silvicultural (aproximadamente 63 m³/ha)
3. Bosque con 30% de intervención silvicultural (aproximadamente 51 m³/ha)
4. Potrero #1 y potrero #2 con 0,53 y 0,63 u.a de carga animal.

De cada tratamiento se tuvieron cuatro repeticiones. Las variables utilizadas para calcular el balance hídrico y por consiguiente la recarga del acuífero fueron :

1. Precipitación incidente
2. Precipitación interceptada
3. Precipitación que llega al suelo
4. Escorrentía por los tallos
5. Capacidad de infiltración
6. Evaporación
7. Lámina infiltrada
8. Lámina que escurre
9. Humedad inicial del suelo
10. Punto de marchitez permanente
11. Recarga del acuífero

En el caso del tratamiento potreros, se supuso que la intercepción es despreciable y que por lo tanto toda la precipitación incidente llega hasta el suelo.

3.3. Metodología

Los objetivos propuestos anteriormente se alcanzaron en tres etapas :

- .I Etapa : cuantificación y valoración económica de la producción hídrica bajo distintas coberturas.
- .II Etapa : análisis estadístico
- .III Etapa : cuantificación y valoración económica de los productos maderables.

3.3.1. I Etapa : cuantificación y valoración económica de la producción hídrica.

3.3.1.1. Distribución de pluviómetros lineales y selección de árboles para medir el agua que atraviesa el follaje y escurre por el tallo.

Como se mencionó anteriormente ya existía una distribución de parcelas por el Proyecto de Bosques CATIE - COSUDE , por lo que solamente se ubicaron al azar, siguiendo el diseño estadístico completamente al azar cada uno de los pluviómetros lineales. Estos se colocaron de tal forma que existiera una buena distribución del dosel del bosque respecto a cada pluviómetro lineal.

Para la selección de los árboles sobre los cuales medimos escurrimiento por el tallo se tomó como criterio que su dosel interceptara directamente la lluvia, con buena forma de fuste y cuando fue posible una copa bien formada.

En cada parcela experimental, por hábitat (tratamientos) se instalaron cuatro pluviómetros lineales y se midió escurrimiento por el tallo en cuatro árboles, lo que hace un total de 16 observaciones por hábitat, lo que equivale a 48 observaciones para cada una de las variables mencionadas anteriormente.

Paralelamente al ensayo se colocaron en una zona libre de cualquier obstáculo tres testigos (pluviógrafo con banda semanal, pluviómetro lineal (canao), un recipiente con la misma capacidad de recepción que el pluviógrafo), cuyos datos se utilizaron para compararlos con lo que se midió dentro de cada hábitat bosque.

El máximo evento que los recipientes (capacidad 8 Lt) colocados en cada pluviógrafo lineal podían medir era de 31 mm, por lo tanto, si los eventos fueran superiores a ese umbral, no fueron incluidos en el estudio.

3.3.1.2. Transformación de datos de volumen a milímetros de altura de agua

3.3.1.2.1. Datos de los pluviómetros lineales

Se determinó el área de recepción de cada pluviómetro lineal (2003 cm^2), dato que salió de multiplicar un promedio del ancho del pluviómetro (10,94 cm), por el largo de este (183 cm), dando un resultado en centímetros cuadrados.

Posteriormente el volumen recolectado en cada pluviómetro lineal fue dividido entre el área de recepción lo que nos da un resultado en mililitros por centímetro cuadrado (ml / cm^2), y partiendo de que un milímetro (mm) de altura de agua es igual a un litro por metro cuadrado (l / m^2) se obtuvo la lámina de agua en milímetros.

3.3.1.2.2. Datos de escurrimiento por el tallo

Para transformar el volumen recolectado a milímetros se hizo de la forma siguiente:

- a. Se midió el diámetro de cada árbol en estudio y se agruparon por categorías de diámetro : de 10 - 29.9 cm ; 30 - 69.9 cm ; > 70 cm de diámetro.
- b. Con los inventarios forestales de cada parcela, y en base a las categorías de diámetro (anexo.1A) se clasificó la población de cada parcela en tres clases diamétricas.
- c. Teniendo ubicado cada árbol por su diámetro en su categoría correspondiente y conociendo el volumen recolectado en ese árbol, se multiplicó el volumen por el

número de árboles por hectárea que pertenecen a la categoría de diámetro de árbol en estudio, dando como resultado mililitros por árbol (ml / árbol), los que se transformaron a litros por árbol (l / árbol), y estos después se dividieron entre los 10,000 m² que corresponden a una hectárea, dando como resultado milímetros de escurrimiento por los tallos.

3.3.1.2.3. Determinación de la intercepción

La determinación de la intercepción de lluvia (I) por el bosque en los diferentes intervenciones silviculturales se realizó midiendo la precipitación incidente (Pi) y la precipitación que finalmente llega al suelo, que incluye el agua que atraviesa el dosel ya sea directamente por goteo y que escurre por los tallos, según las siguientes ecuaciones:

$$I = P_i - P_s$$

$$P_s = P_d + P_t$$

Pd es el agua que atraviesa el follaje y que llega hasta el mulch que está sobre el suelo ; Pt es la lluvia que escurre por los tallos.

Pi se midió con un pluviómetro lineal instalado en un terreno donde la presencia de bosque es nula; Pd se midió mediante pluviómetros lineales construidos de láminas de zinc de 1.83 m de longitud, teniendo una forma de canal con una base de 10 cm y un ancho de 13.5 cm (fig 2); Pt se midió utilizando plantillas de zinc que se adhirieron al tallo con clavos y tapa goteras las que drenan el agua que escurre por los tallos hacia un punto común. El agua que se recolectó se depositó en un recipiente con capacidad de 8 litros , y se midió al día siguiente por la mañana.

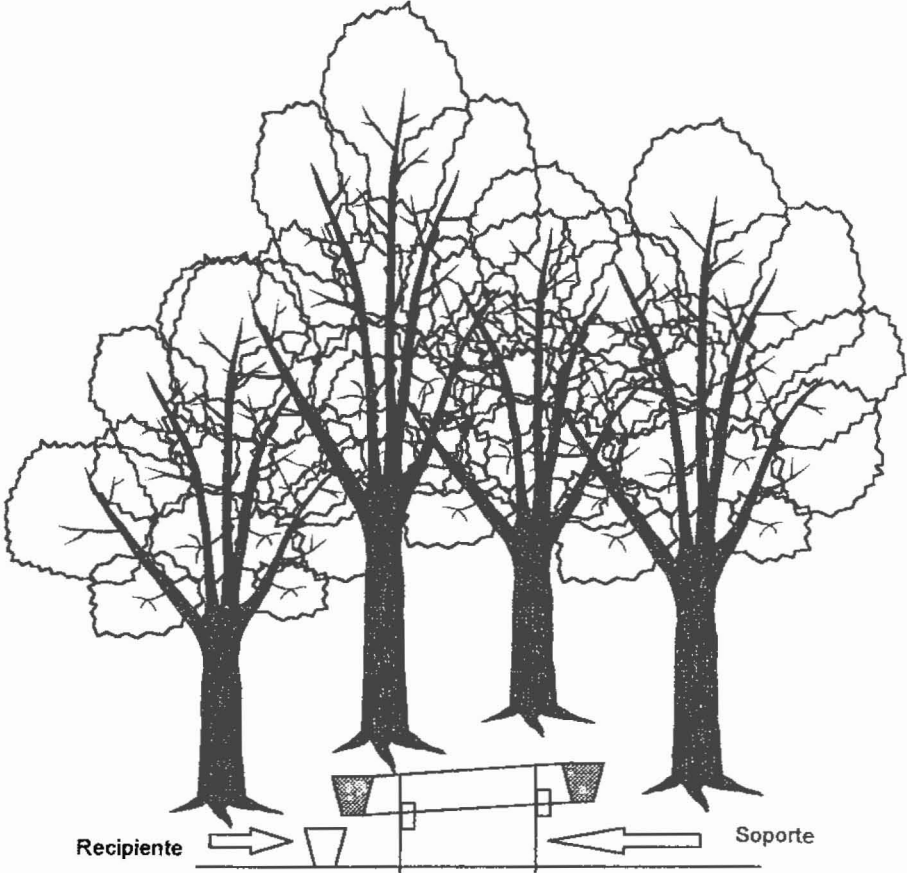


Figura 2. Esquema de la instalación del pluviómetro lineal.

3.3.1.2.4. Pruebas de infiltración

Se realizaron pruebas de infiltración en las diferentes parcelas silviculturales y usos de la tierra que están bajo la zona de influencia de la microcuenca en estudio. Estas pruebas de infiltración se basaron en el método de los anillos concéntricos, según la metodología descrita por Forsythe (1985), cuyo procedimiento es el siguiente:

a. Instalación de los cilindros

1. . Para instalar los cilindros (interno y externo), es preferible utilizar una tabla (madera) que nos permite tener una penetración de estos más uniforme, lo que se logrará golpeado todas las partes de la tabla (madera) imparcialmente con el pisón .
2. . Los cilindros deben ser introducidos a una profundidad que permita atravesar la capa de mulch y facilite trabajar con una altura de agua no menor de 15 cm.
3. . Los cilindros deben quedar bien nivelados, y con la misma altura de penetración, es preferible para el tipo de cobertura de bosque que la instalación de estos sea separada.
4. . Finalizada la instalación de los cilindros, en el cilindro interno (Fig No 3), y en su parte interna se coloca una regla graduada, que se fija al lado que tenga la mejor visibilidad.

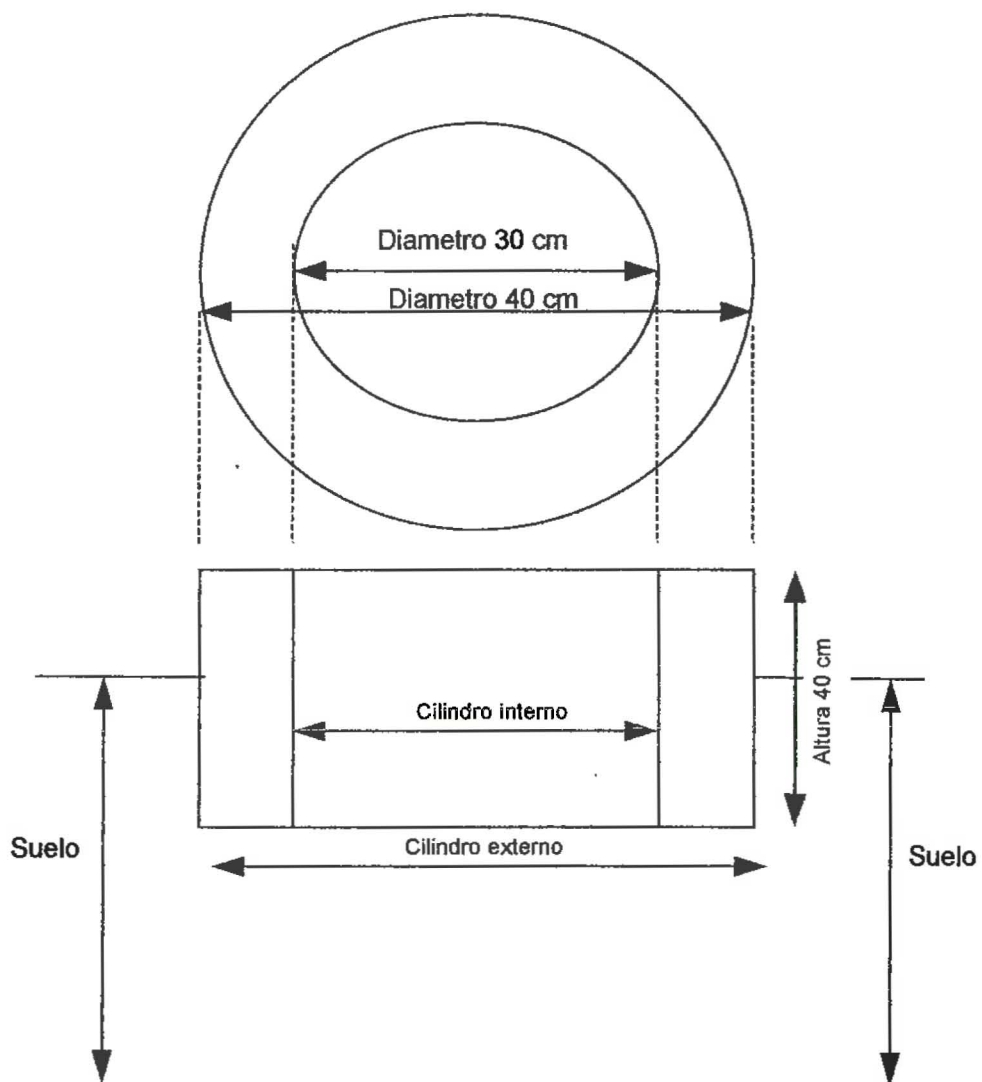


Figura 3. Anillos concéntricos para medir infiltración

b. Medición :

1. . Se deposita agua entre los cilindros externos e internos de tal forma que no permita paso del agua hacia el cilindro interno, posteriormente se aplica agua en el cilindro interno y con cronómetro en mano se comienzan a registrar la altura del agua y el tiempo en que se mide, en este caso , después de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 minutos. El formulario utilizado para registrar información en anexo 6A.
2. . En caso de que se añada más agua, se deben registrar los niveles del agua antes y después de que se deposite el agua.
3. Una vez que se han obtenido los datos se procede a calcular y graficar la infiltración básica y velocidad de infiltración de acuerdo al método de anillos concéntricos descrita en el capítulo 12 del manual de laboratorio de física de suelos. (Kostyakov, 1932 en Forsythe, 1985).

3.3.1.3. Recopilación de la información hidrológica

La información hidrológica de la zona de estudio se obtuvo del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE, 1995), que poseen una estación tipo A en el Cerro de la Muerte, cuyas coordenadas son Latitud Norte 09° 34'; Longitud Oeste 83° 46' a una elevación de 3365 msnm. En Villa Mills existe un pluviógrafo con bandas diarias ubicado en las coordenadas Latitud Norte 09° 34' ; Longitud Oeste 83° 43' a una elevación de 3000 msnm . La información facilitada por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) fue temperatura máxima, mínima y media; precipitación, humedad relativa, evaporación del tanque para la estación Cerro de la Muerte, por su parte de la estación Villa Mills solamente la precipitación diaria.

3.3.1.4. Análisis de intensidades para las bandas diarias de precipitación

De los registros de precipitación correspondientes a la estación Villa Mills, se analizaron las bandas diarias de un año típico (representativo de todos los años de registro), lo que dio como resultado para este estudio el año 91. Cada banda diaria fue analizada dividiendo los intervalos de diez minutos en periodos de cinco minutos, utilizando una plantilla (anexo 8A); el incremento de pendiente de la curva entre cada intervalo de cinco minutos es la intensidad precipitada en ese tiempo.

Los resultados del análisis de las intensidades fueron ordenadas de acuerdo a mes y día, y posteriormente se agruparon todos los meses en un solo archivo ascii, el cual mediante un programa y por medio del software SAS (1985), nos separó las intensidades de acuerdo a su frecuencia por año, mes, día.

3.3.1.5. Determinación del agua que infiltra y el agua que escurre

Al mismo archivo ASCII donde se tenían las intensidades por día y mes del año típico y conociendo el promedio de la infiltración básica (mm / hr) en los tratamientos, resultado de las pruebas en cada una de las parcelas, fue necesario pasar estos promedios al mismo parámetro al cual fueron sometidas las bandas diarias del pluviógrafo, para este estudio se analizaron intensidades cada cinco minutos (mm / 5 min). Por lo tanto, con el programa (anexo 7A.), y utilizando el software SAS separamos el agua que realmente infiltra, teniendo como parámetro de comparación la infiltración básica (mm / 5 min), esto para cada tratamiento en estudio.

3.3.1.6. Determinación de la evapotranspiración

Para determinar la evapotranspiración potencial se utilizó los datos del tanque evaporímetro clase A que corresponden al de la estación Cerro de Muerte. A los datos de evaporación diarios se les aplicó un factor de corrección denominado coeficiente de tanque, el cual depende de la humedad relativa, la velocidad del viento, de acuerdo a las recomendaciones de la FAO (Doorembos, 1979) para obtener el estimado de ETP.

3.3.1.7. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

Se utilizó el estudio y clasificación de suelos levantado por Blaser (1991), partiendo de los análisis de suelos (anexo 3A.), y determinando el tipo de suelo que corresponde, según el mapa de suelo al área en estudio se encontró la textura de las diferentes capas del perfil.

Teniendo las texturas y de acuerdo a la tabla resumen de las propiedades del suelo (anexo 4A.), se encontró los valores en porcentajes de capacidad de campo y punto de marchitez permanente para cada textura, los que posteriormente fueron ponderados para obtener un solo valor .

3.3.1.8. Determinación del balance hídrico para cada tratamiento

Para determinar el balance hídrico diario, se requiere de las siguientes variables; capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), profundidad efectiva de raíces ($P_{raíces}$), precipitación total (P_t), evapotranspiración potencial (ETP), y la precipitación que realmente infiltra (P_i)

Para calcular la precipitación que realmente infiltra (P_i), es necesario determinar la forma como la precipitación se disgrega una vez que entra al

ecosistema, esto es, cuantificar el escurrimiento por el tallo, interceptación y la cantidad de agua que llega al suelo.

El modelo de balance hídrico que nos permitió el cálculo de los balances hídricos diarios se basa en información climática y de suelos, bajo las suposiciones de que la percolación del agua se produce solo cuando se supera la capacidad de campo del suelo y de que la velocidad de percolación es similar a la conductividad hidráulica.

La lógica de la determinación de los balances hídricos es la siguiente :

1. Partiendo de la información de las características físicas del suelo , como capacidad de campo, punto de marchitez permanente y la profundidad efectiva de raíces, se determinó la cantidad de agua disponible en el suelo (en mm).
2. Con la información del análisis de las intensidades y su comparación con la tasa básica de infiltración del suelo y la resta del porcentaje de interceptación se separa estadísticamente la cantidad de agua que infiltra y que escurre, la que entra al modelo en forma directa .
3. La evapotranspiración potencial resulta de multiplicar los datos diarios del tanque evaporímetro por el factor correspondiente según el Sistema FAO (Doorembos, 1979).
4. A la cantidad de agua contenida en el suelo se le adiciona la precipitación del día, y al total se le deduce la interceptación y la evapotranspiración del día.
5. Cuando la cantidad de agua remanente supera la cantidad total de retención de agua del suelo o capacidad de campo (en mm), el excedente se cuenta como agua percolada (en mm) y se considera que el suelo se encuentra al final del día a capacidad de campo .

Cuando la cantidad de agua remanente es inferior a la capacidad total de retención de agua del suelo (capacidad de campo), se considera que no hubo paso de agua al acuífero y se adopta ese contenido de agua como estado hídrico del suelo al final del día. Se pasa a los cálculos del siguiente día, siguiendo la misma secuencia de operaciones descrita y considerando como estado hídrico inicial del suelo en ese día al estado final del día anterior.

3.3.1.9. Valoración económica del agua

El precio del agua fue determinado, de cuatro fuentes:

- a. De la voluntad de pago que tiene la comunidad por el recurso agua.
- b. Del valor que actualmente paga la comunidad por el servicio del recurso agua.
- c. Del costo que implica convertir un m^3 de aguas negras a agua para uso industrial.
- d. De la conversión de m^3 de agua a kilowatt.

3.3.1.10. Voluntad de pago de la comunidad por el recurso agua

Se realizó una encuesta, en las comunidades Villa Mills, Casa Azul, Piedra Alta y Jaular, aledañas al zona de estudio, donde se determinó la voluntad de pago de la comunidad por el recurso agua, posteriormente cada una de las variables recopiladas en la encuesta fueron agrupadas y analizadas mediante el software SAS (1995), utilizando el procedimiento de cluster, que agrupa a la población en estudio en estratos, de acuerdo a las características más homogéneas que comparten, esto nos permitió determinar el mejor precio que las comunidades pueden pagar por el servicio mensualmente.

3.3.1.11. Valor actual por servicio de agua

El servicio de Acueductos y Alcantarillados (AyA) de Costa Rica (1994) maneja tres tipos de tarifas para la facturación de los servicios:

- a. Tarifa metropolitana.
- b. Tarifa urbana : inferior en un 10% a la metropolitana.
- c. Tarifa rural : inferior en un 30% a la metropolitana.

Partiendo de lo anterior el servicio de Acueductos y Alcantarillados (A y A), cobra a las comunidades de Villa Mills, Casa Azul, aledañas al área de estudio, una tarifa única mensual de ₡ 300. Según Acueductos y Alcantarillados (A y A), el consumo domiciliario promedio mensual, en m^3 por familia para el área rural es de $24.87 m^3$ (anexo 5A.), cantidad que al ser dividida entre el valor que cancelan mensual por el servicio nos da el precio rural del m^3 de agua.

3.3.1.12. Convertir un m^3 de aguas negras a agua para uso industrial

Según datos de Acueductos y Alcantarillados (1994), el costo para transformar un m^3 de aguas negras, en agua libre de sólidos que puede ser utilizada solamente para uso industrial, tiene un costo para este año 1995 de ₡ 100.

3.3.1.13. Conversión de m^3 de agua a kilowatt

En el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) se determinó el costo de oportunidad de agua en términos de generación de energía eléctrica, lo que nos dio un panorama de cuanto se pierde por la no utilización del agua en la generación de energía eléctrica, asumiendo que toda el agua de los ríos con potencial hidroeléctrico fuera utilizada.

El agua que se origina en la cuenca, entra como afluente al río Cuericí y parte de esta agua es derivada al embalse El Llano, el que a su vez provee el agua que se genera en la estación Río Macho, perteneciente al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), el cual tiene un factor energético de $0.94 \text{ Kwh} / m^3$ generado. Con el factor energético podemos determinar el valor de los m^3 si el uso de estos fuera la producción de energía.

3.3.2. II Etapa : Análisis estadístico

Para aceptar o rechazar la segunda hipótesis se utilizó el diseño estadístico completamente al azar con parcelas divididas en el tiempo.

Los tratamientos para las variables escurrimiento por tallo, precipitación de agua que llega al suelo y el agua interceptada por la vegetación fueron tres : bosque primario con 0 % de extracción de área basal, bosque intervenido con un 20% de extracción de área basal y bosque intervenido con un 30% de extracción de área basal, con cuatro repeticiones y cuatro observaciones en cada observación. Paralelamente se realizaron pruebas de infiltración en cada parcela y se consideró como tratamientos potreros con diferente carga animal, la que al momento de analizar la variable capacidad de infiltración del suelo se incorporó a los análisis.

Una vez teniendo comprobado estadísticamente que se cumplía con los supuestos exigidos para aplicar un diseño completamente al azar con parcelas divididas en el tiempo, se comenzó el análisis con el ordenamiento de los datos de tal forma que pudieran ser leídos por el software SAS, para el análisis de varianza y prueba de Duncan para comparar tratamientos de las variables escurrimiento por el tallo, precipitación que llegó al suelo y la intercepción. El archivo ASCII se ordenó formando columnas de tratamientos, parcelas, número de observaciones y los eventos para cada fecha.

El archivo ASCII que corresponde a la variable capacidad de infiltración fue ordenado formando columnas de tratamientos, parcelas, datos de infiltración básica (mm / hr). Posteriormente fue analizado a través del software SAS, aplicándole los procedimientos análisis de varianza y prueba de Duncan.

También se realizaron modelos de regresión que determinaron el escurrimiento del tallo en función de diámetro del tallo y precipitación total, como la cantidad de agua que llega al suelo en función de precipitación total.

3.3.3. III Etapa : Cuantificación y valoración económica de los productos maderables.

Para cuantificar y valorar económicamente la producción forestal, se tomó como referencia el estudio "Factibilidad de una empresa forestal autosuficiente para el manejo sostenible de los robledales de altura de la cordillera de Talamanca, Costa Rica." elaborado por Hernández en 1992.

A este estudio se le realizaron una serie de ajustes a los costos y a los ingresos provenientes e incurridos en la explotación forestal, para estimar el valor actual neto (VAN) y la relación beneficio costo (B/C) incluyendo solo la relación de madera y productos derivados, con posterioridad a los flujos madereros se le añadieron la producción de agua estimada proveniente del bosque y valorada de acuerdo a las opciones mencionadas anteriormente. En este caso el agua, puede ser y de hecho así se considera un producto no maderable del bosque, el cual puede y debe ser añadido al flujo anterior del régimen maderero, cabe resaltar sin embargo, que la valoración resultante, es de hecho un flujo económico imputado y no recibido en efectivo por el productor como tal. En esta situación es importante hacer la salvedad de que este es un servicio social que la comunidad que se beneficia debería reconocer de alguna forma a los propietarios del bosque.

Resultados y Discusión

4.1. Distribución de la precipitación total

En el periodo de mayo a agosto del año 1995, se cuantificó la forma que la lluvia se disgrega en cada una de las parcelas experimentales del proyecto CATIE - COSUDE, en la zona de Villa Mills, donde se midió el agua que llega al suelo, escurrimiento por el tallo, agua interceptada y la precipitación total de eventos menores de 30 milímetros (capacidad máxima del equipo de medición utilizado). En los cuadros 1, 2, 3 se presenta el resumen de la lluvia en los diferentes eventos y tratamientos, promedio de cuatro repeticiones, expresado tanto en cantidad como en porcentaje.

En el bosque primario sin intervención, el porcentaje promedio de agua que llegó al suelo varió entre 26,9 y 100,5%; en el bosque primario con 20% de intervención osciló entre 36,1 y 98,3% y finalmente para el bosque primario con 30% de intervención este porcentaje varió entre 29,9 y 98,8%; todo lo anterior con respecto de la precipitación incidente.

La gran variabilidad de estos porcentajes se debe, no solo a las diferentes cantidades de lluvia ocurridas, sino principalmente a la distribución desuniforme del agua que atraviesa el dosel vegetal y llega finalmente al suelo. La estructura y distribución espacial de dosel aéreo del bosque son posiblemente los factores biológicos que más influyen en esta heterogeneidad.

Entre los factores físicos que pueden afectar esta variable están el viento y las características propias de la lluvia como intensidad, duración.

La interacción de estos factores físico - biológicos pueden ocasionar efectos como canalización de aguas (formación de chorros), salpique, etc y es más frecuente en lluvias grandes (que superan la capacidad de intercepción de la cobertura vegetal), lo que podría explicar porque se obtuvieron porcentajes de agua que llega al suelo superiores a la lluvia incidente.

Como consecuencia de este comportamiento, la intercepción resulta negativa, pues se obtiene por diferencia entre la precipitación incidente y la suma del agua que atraviesa el dosel y el escurrimiento por el tallo.

Si bien los valores de intercepción negativos o de precipitación que atraviesa el dosel mayores que la lluvia incidente no tienen sustento lógico, se consideraron y presentan en los resultados, puesto que ejemplifican bien la variabilidad de la distribución natural del agua de lluvia que alcanza el suelo bajo la cobertura vegetal aérea. Por otra parte, estos resultados indican la necesidad de contar con mucho más pluviómetros lineales para obtener resultados más exactos, aunque el costo de construcción y medición dificultan esa condición idónea.

La intercepción varió en los diferentes tratamientos: en el bosque primario sin intervención con 0% de extracción de área basal, el porcentaje de intercepción varió entre -0,6 y 73,0%; en el bosque primario con 20% de extracción de área basal este porcentaje varió entre 1,7 y 63,9% y para el bosque primario con 30% de extracción de área basal estuvo en el rango de 1,2 y 70,1%.

Las diferencias en intercepción se pueden deber a un mayor índice de área foliar en el bosque sin intervención, lo que aumenta la capacidad de almacenar agua. En los hábitat de 20 y 30% de extracción de área basal su similitud puede obedecer al índice foliar actual, pues si bien hubo 10% de diferencias en extracción, no se sabe si el índice foliar inicial era diferente o puede ser también posible que en los años siguientes los hábitat en cuanto a ramas vegetales áreas por unidad de superficie se hayan equilibrado bastante.

Los altos porcentajes de intercepción se deben en parte a que solo se consideran lluvias por debajo de 30 mm, así como la gran cantidad de helechos y musgos que hay en los árboles, los cuales aumentan la cantidad de agua retenida. Sin embargo, cuando se analizan los datos en términos de cantidad de agua interceptada, los valores están dentro de los límites reportados frecuentemente en coberturas forestales.

La intercepción es controlada por factores relacionados con las características de la vegetación y por las condiciones climáticas predominantes, siendo los más importantes las características de la precipitación como son

frecuencia, duración, intensidad y cantidad de lluvia (Branson *et al* 1981; Hewlett 1982, Molchanov, 1971); la intercepción está fuertemente relacionada con la cantidad de lluvia, la intercepción disminuye con el aumento de ésta. Así mismo, las prácticas silviculturales que reducen el número de árboles tienden a el favorecer el aumento de agua que llega al suelo; Molchanov (1971) hace referencia a este efecto, indicando que las cortas selectivas, que modifican la densidad de la cobertura vegetal aumentan la penetración de la lluvia, en especial en el caso de lluvias con intensidades altas. Una disminución de la densidad de árboles por hectárea de 0,9 para 0,7 condujo a un aumento de 4,0 a 8,0% de la cantidad de agua que llegó al suelo. La composición de las especies de la cobertura vegetal también tienen influencia en las pérdidas por intercepción, ya sea por el tipo de ramificación que presenta el árbol, rugosidad y disposición de las hojas, etc.

En cuanto al escurrimiento por el tallo, en los tres tipos de bosque primario (sin intervención, 20% de intervención, 30% de intervención) se considera despreciable. Esto puede deberse a que el bosque en estudio presenta un tipo de corteza muy rugosa, con alta porosidad, y con una tendencia a retener mayor cantidad de agua que otro tipo de cortezas. Molchanov (1971) menciona que el escurrimiento por el tallo esta influenciado por la rugosidad de la corteza del árbol; especies con corteza gruesa tienden a presentar menor escurrimiento por el tallo.

Cuadro 1. Distribución de la precipitación en el bosque primario con 0% de extracción de área basal, para el periodo mayo - agosto 1995, en Villa Mills, Costa Rica.

	Fecha	Precipitación incidente		Precipitación al suelo		Escurrimiento por el tallo		Intercepción por plantas	
		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Mayo	11	1.4	100	0.8	58.0	0.0004	0.0318	0.6	41.9
	12	10.8	100	7.1	65.4	0.0027	0.0253	3.7	34.6
	17	3.6	100	2.2	60.2	0.0009	0.0263	1.4	39.7
	18	4.3	100	1.7	40.2	0.0005	0.0114	2.6	59.8
	19	10.8	100	6.2	57.9	0.0021	0.0198	4.5	42.1
	24	3.2	100	1.8	57.6	0.0006	0.0196	1.4	42.4
	30	8.5	100	7.8	92.1	0.0061	0.0717	0.7	7.9
Junio	31	4.6	100	2.8	59.9	0.0024	0.0512	1.8	40.0
	1	14.1	100	8.5	60.4	0.0097	0.0686	5.6	39.5
	2	13.5	100	11.7	86.8	0.0102	0.0753	1.8	13.2
	3	11.5	100	9.1	79.3	0.0108	0.0939	2.4	20.6
	7	15.2	100	7.3	47.8	0.0139	0.0917	7.9	52.1
	8	0.2	100	0.2	84.4	0.0010	0.4854	0.0	15.1
	9	14.4	100	9.7	67.0	0.0043	0.0399	4.7	33.0
	10	4.0	100	2.0	50.7	0.0014	0.0340	2.0	49.2
	12	1.2	100	0.5	41.8	0.0003	0.0260	0.7	58.1
	16	23.0	100	20.1	87.3	0.0206	0.0894	2.9	12.6
	18	9.9	100	7.4	74.9	0.0088	0.0830	2.5	25.1
	21	14.9	100	9.6	64.1	0.0124	0.0834	5.3	35.8
	22	0.9	100	0.2	26.9	0.0012	0.1322	0.7	73.0
	23	3.2	100	1.2	36.7	0.0005	0.0162	2.0	63.3
26	17.1	100	11.4	66.5	0.0057	0.0336	5.7	33.5	
28	8.6	100	4.1	48.1	0.0017	0.0202	4.5	51.9	
Julio	2	18.5	100	14.9	80.6	0.0133	0.0720	3.6	19.3
	4	2.0	100	0.8	39.1	0.0010	0.0481	1.2	60.9
	6	16.5	100	10.8	65.3	0.0055	0.0335	5.7	34.7
	7	11.5	100	8.9	77.4	0.0076	0.0660	2.6	22.5
	10	2.3	100	0.9	40.3	0.0007	0.0293	1.4	59.7
Agosto	15	19.4	100	15.5	80.0	0.0073	0.0378	3.9	20.2
	11	22.9	100	16.2	70.8	0.0085	0.0373	6.7	29.2
	12	5.2	100	3.0	57.4	0.0012	0.0236	2.2	42.6
	13	5.9	100	2.5	41.9	0.0009	0.0155	3.4	58.1
	17	11.2	100	9.4	84.3	0.0171	0.1525	1.7	15.5
	18	15.0	100	15.1	100.5	0.0188	0.1256	-0.1	-0.6
	19	17.5	100	16.5	94.4	0.0294	0.1678	1.0	5.5
	21	7.6	100	6.3	82.4	0.0098	0.1291	1.3	17.5
	22	12.0	100	9.3	77.5	0.0075	0.0627	2.7	22.5
	23	3.0	100	1.7	57.8	0.0019	0.0626	1.3	42.1
24	15.6	100	10.7	68.5	0.0139	0.0894	4.9	31.4	
25	1.7	100	1.5	90.3	0.0017	0.0112	0.2	9.6	
Total (mm)		386.7		277.4		0.2646		109.0	
Promedio (mm)		9.7		6.9		0.0066		2.7	
Promedio (%)			100.0		65.6		0.0720		34.4
CV %		66.6		77.6		101.0		71.6	

Cuadro 2. Distribución de la precipitación en el bosque primario con 20% de extracción de área basal, para el periodo mayo - agosto 1995, en Villa Mills, Costa Rica.

Fecha	Precipitación incidente		Precipitación al suelo		Esguirmiento por el tallo		Intercepción por plantas		
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
Mayo	11	1.4	100	0.9	63.8	0.0000	0.0020	0.5	36.2
	12	10.8	100	9.3	86.1	0.0005	0.0050	1.5	13.9
	17	3.6	100	2.1	57.1	0.0001	0.0035	1.5	42.9
	18	4.3	100	2.4	54.8	0.0001	0.0027	1.9	45.2
	19	10.8	100	7.6	70.1	0.0005	0.0045	3.2	29.9
	24	3.2	100	2.3	71.1	0.0001	0.0022	0.9	28.9
	30	8.5	100	8.1	94.7	0.0011	0.0130	0.4	5.3
Junio	31	4.6	100	3.3	71.2	0.0003	0.0062	1.3	28.8
	1	14.1	100	11.9	84.6	0.0015	0.0105	2.2	15.4
	2	13.5	100	13.3	98.3	0.0018	0.0132	0.2	1.7
	3	11.5	100	10.0	87.3	0.0016	0.0140	1.5	12.7
	7	15.2	100	9.1	59.6	0.0012	0.0078	6.1	40.4
	8	0.2	100	0.2	81.3	0.0000	0.0159	0.0	18.8
	9	14.4	100	10.9	75.7	0.0007	0.0047	3.5	24.3
	10	4.0	100	2.3	58.1	0.0001	0.0036	1.7	41.9
	12	1.2	100	0.6	51.0	0.0000	0.0033	0.6	49.0
	16	23.0	100	22.2	96.4	0.0028	0.0123	0.8	3.6
	18	9.9	100	6.6	66.6	0.0007	0.0075	3.3	33.4
	21	14.9	100	12.4	83.0	0.0017	0.0114	2.5	17.8
	22	0.9	100	0.3	36.1	0.0000	0.0034	0.6	63.9
	23	3.2	100	2.6	79.9	0.0001	0.0026	0.6	20.1
26	17.1	100	13.1	76.6	0.0010	0.0056	4.0	23.4	
Julio	28	8.6	100	5.2	60.2	0.0003	0.0032	3.4	39.7
	2	18.5	100	17.8	96.0	0.0020	0.0109	0.7	4.0
	4	2.0	100	1.0	48.4	0.0001	0.0042	1.0	51.6
	6	16.5	100	14.7	89.2	0.0011	0.0069	1.8	10.8
	7	11.5	100	9.9	85.9	0.0009	0.0082	1.6	14.1
	10	2.3	100	1.3	58.2	0.0000	0.0013	1.0	41.8
Agosto	15	19.4	100	15.3	78.8	0.0010	0.0051	4.1	21.2
	11	22.9	100	22.1	96.5	0.0022	0.0094	0.8	3.5
	12	5.2	100	3.9	74.4	0.0002	0.0046	1.3	25.6
	13	5.9	100	3.8	65.0	0.0002	0.0030	2.1	35.0
	17	11.2	100	10.3	91.6	0.0020	0.0178	0.9	8.4
	18	15.0	100	13.1	87.4	0.0020	0.0131	1.9	12.6
	19	17.5	100	16.6	95.0	0.0038	0.0218	0.9	4.9
	21	7.6	100	6.9	90.4	0.0009	0.0124	0.7	9.6
	22	12.0	100	11.8	98.1	0.0012	0.0104	0.2	1.9
	23	3.0	100	1.8	60.4	0.0002	0.0053	1.2	39.6
24	15.6	100	11.8	75.9	0.0015	0.0093	3.8	24.1	
25	1.7	100	1.3	76.8	0.0002	0.0146	0.4	23.1	
Total (mm)	-----	386.7	-----	319.7	-----	0.0359	-----	67.0	-----
Promedio (mm)	-----	9.7	-----	8.0	-----	0.0009	-----	1.7	-----
Promedio (%)	-----	100.0	-----	75.8	-----	0.0079	-----	24.2	-----
C.V %	-----	66.6	-----	75.8	-----	97.8	-----	78.8	-----

Cuadro 3. Distribución de la precipitación en el bosque primario con 30% de extracción de área basal, para el periodo mayo - agosto 1995, en Villa Mills, Costa Rica.

Fecha		Precipitación incidente		Precipitación al suelo		Escorrentía por el tallo		Intercepción por plantas	
		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Mayo	11	1.4	100	0.6	45.5	0.0001	0.0063	0.8	54.5
	12	10.8	100	8.0	73.7	0.0021	0.0198	2.8	26.3
	17	3.6	100	2.0	55.6	0.0006	0.0172	1.6	44.4
	18	4.3	100	1.9	44.9	0.0004	0.0098	2.4	55.1
	19	10.8	100	6.9	64.1	0.0019	0.0181	3.9	35.9
	24	3.2	100	1.4	43.0	0.0002	0.0057	1.8	57.0
	30	8.5	100	7.6	89.9	0.0063	0.0741	0.9	10.1
Junio	31	4.6	100	2.6	57.1	0.0011	0.0247	2.0	42.9
	1	14.1	100	10.3	73.0	0.0085	0.0602	3.8	26.9
	2	13.5	100	12.9	95.8	0.0089	0.0661	0.6	4.1
	3	11.5	100	11.0	96.0	0.0083	0.0723	0.5	3.9
	7	15.2	100	9.0	59.4	0.0097	0.0635	6.2	40.6
	8	0.2	100	0.1	62.5	0.0002	0.0853	0.1	37.4
	9	14.4	100	11.2	78.1	0.0036	0.0248	3.2	21.9
	10	4.0	100	2.2	54.7	0.0006	0.0160	1.8	45.3
	12	1.2	100	0.7	58.3	0.0002	0.0197	0.5	41.6
	16	23.0	100	21.9	95.2	0.0151	0.0655	1.1	4.7
	18	9.9	100	6.1	62.0	0.0038	0.0382	3.8	38.0
	21	14.9	100	13.2	88.3	0.0108	0.0723	1.7	11.7
	22	0.9	100	0.3	29.9	0.0002	0.0193	0.6	70.1
	23	3.2	100	1.7	52.0	0.0003	0.078	1.5	48.0
26	17.1	100	14.4	84.0	0.0052	0.0307	2.7	15.9	
Julio	28	8.6	100	5.4	62.9	0.0014	0.0168	3.2	37.1
	2	18.5	100	18.0	97.3	0.0120	0.0649	0.5	2.6
	4	2.0	100	1.1	55.6	0.0005	0.0256	0.9	44.3
	6	16.5	100	16.3	98.7	0.0072	0.0438	0.2	1.3
	7	11.5	100	11.1	96.1	0.0080	0.0693	0.4	3.8
	10	2.3	100	1.1	48.4	0.0001	0.0043	1.2	51.6
Agosto	15	19.4	100	16.6	85.5	0.0050	0.0257	2.8	14.5
	11	22.9	100	22.1	96.3	0.0108	0.0470	0.8	3.7
	12	5.2	100	4.3	81.9	0.0009	0.0172	0.9	18.1
	13	5.9	100	5.3	89.0	0.0008	0.0131	0.6	11.0
	17	11.2	100	9.9	88.8	0.0142	0.1271	1.2	11.1
	18	15.0	100	14.4	96.0	0.0109	0.0728	0.6	4.0
	19	17.5	100	16.9	96.8	0.0237	0.1355	0.5	3.0
	21	7.6	100	7.5	98.8	0.0049	0.0651	0.1	1.2
	22	12.0	100	10.9	90.7	0.0041	0.0339	1.1	9.2
	23	3.0	100	2.7	91.5	0.0004	0.0140	0.3	8.5
24	15.6	100	10.7	68.3	0.0079	0.0508	4.9	31.7	
25	1.7	100	1.5	86.4	0.0013	0.0779	0.2	13.5	
Total (mm)		386.7		321.8		0.2023		64.7	
Promedio (mm)		9.7		8.0		0.0051		1.6	
Promedio (%)			100.0		74.8		0.0430		25.2
C.V %		66.6		77.3		105.2		87.8	

4.2. Agua que llegó al suelo

En el cuadro 4, se presenta la precipitación promedio (mm), que llegó al suelo en los diferentes tratamientos y repeticiones; como podemos observar el tratamiento bosque primario, es el que menor cantidad de agua le llegó al suelo (6,9 mm), lo que corresponde a un 65,6 % de la precipitación incidente. Los tratamientos 20% y 30% de extracción de área basal presentan en promedio igual cantidad de agua que llega al suelo (7,9 mm y 8,0 mm), lo que equivale a un 75,8% y 74,8% de la precipitación incidente, respectivamente.

El análisis de varianza, muestra la existencia de diferencias altamente significativas para el factor fecha y la interacción repetición por fecha. No se encontró diferencias estadísticas significativas para los tratamientos.

Cuadro 4. Precipitación promedio (mm), que llegó al suelo en tres tipos de tratamientos : bosque primario sin intervención, con 20% de intervención y con 30% de intervención, en Villa Mills, Costa Rica.

Tratamientos	Rep I		Rep II		Rep III		Rep IV		Promedio	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Sin intervención	6.0	57.4	7.7	70.6	8.9	87.4	5.1	46.8	6.9	65.6
Intervención 20 %	7.1	61.8	8.2	76.7	8.6	86.1	8.3	78.5	8.0	75.8
Intervención 30%	8.2	78.3	8.8	83.4	8.1	74.5	7.1	62.9	8.0	74.8

% : se refiere al porcentaje con relación a la precipitación incidente (386,6 mm)

Cuadro 5. Análisis de varianza del agua que llega al suelo : (A) en el bosque primario (sin intervención, con 20% de intervención y 30% de intervención) y (B) para el periodo mayo - agosto 1995, Villa Mills, Costa Rica.

Fuente	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	
Tratamientos(A)	2	125.20	62.60	1.21	0.3423	n.s
Rep(tratamiento)	9	465.49	51.72	14.36	0.0001	**
Fecha (B)	39	16 434.03	421.38	116.98	0.0001	**
Tratamiento * Fecha	78	254.31	3.26	0.91	0.6979	n.s
Error	351	1264.35	3.6			
Total	479	18 543.40				

n.s : diferencias no significativas

** : diferencias significativas al 99% de confianza

4.3. Intercepción de la lluvia

En el cuadro 6, se presenta la intercepción promedio (mm) que fue interceptada por las plantas en los diferentes tratamientos y repeticiones, determinando que el tratamiento bosque primario es el que más agua intercepta 2,7 mm, lo que corresponde a un 34,4% de la precipitación incidente. Los tratamientos 20% y 30% de extracción de área basal interceptaron cantidades muy similares 1,7 mm y 1,6 mm, lo que equivale a un 24,2% y 25,2% respectivamente, de la precipitación incidente.

El análisis de varianza, muestra la existencia de diferencias altamente significativas para la interacción repetición por tratamiento y el factor fecha. No se encontró diferencias significativas para los tratamientos.

Cuadro 6. Intercepción promedio de la precipitación en tres tipos de tratamientos : bosque primario (sin intervención, 20% de intervención, 30% de intervención), en Villa Mills, Costa Rica.

Tratamientos	Rep I		Rep II		Rep III		Rep IV		Promedio	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Sin intervención	3.6	42.5	2.0	29.3	0.7	12.5	4.5	53.1	2.7	34.4
Intervención 20 %	2.8	38.2	1.5	23.2	1.1	13.9	1.4	21.5	1.7	24.2
Intervención 30%	1.4	21.7	0.9	16.6	1.6	25.5	2.6	37.1	1.6	25.2

% : se refiere al porcentaje con relación a la precipitación incidente (386,7 mm).

Cuadro 7. Análisis de varianza del agua interceptada en : (A) bosque primario (sin intervención, con 20% de intervención y 30% de intervención) para (B) periodo mayo - agosto 1995, Villa Mills, Costa Rica.

Fuente	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	
Tratamiento(A)	2	124.85	62.42	1.21	0.3435	n.s
Rep(tratamiento)	9	465.80	51.75	14.36	0.0001	**
Fecha	39	1563.12	40.08	11.12	0.0001	**
Tratamiento * Fecha	78	254.20	3.25	0.90	0.7005	n.s
Error	351	1265.43	3.6			
Total	479	3673.42				

n.s : diferencias no significativas

** : diferencias significativas al 99% de confianza

4.4. Escurrimiento del agua por el tallo

El cuadro 8, se presenta el promedio de escurrimiento por el tallo en los diferentes tratamientos y repeticiones, donde observamos que los tratamientos bosque primario y hábitat 30% de extracción de área basal presentan una cantidad muy similar de escurrimiento por el tallo 0,0066 mm y 0,0051 mm lo que corresponde a 0,04% y 0,07% de la precipitación incidente. El tratamiento 20% de extracción de área basal es en el que menor cantidad de agua escurrió por los tallos 0,0009 mm, esto es 0,0079% de la precipitación incidente. El análisis de varianza presenta diferencias altamente significativas para los tratamientos, factor fecha y la interacción tratamiento por fecha. El análisis, mediante la prueba Duncan ($\alpha=0.05$), para escurrimiento por el tallo indica que en el tratamiento bosque primario 0%, escurre mayor cantidad que el hábitat 20% de extracción de área basal y el tratamiento 30% de extracción de área basal no difiere de los otros dos. A pesar de estas diferencias entre tratamientos, el escurrimiento por los tallos se puede considerar despreciable desde el punto de vista práctico.

Cuadro 8. Promedio de escurrimiento por el tallo en tres tipos de tratamiento : bosque primario (sin intervención, 20% y 30% de intervención), en Villa Mills, Costa Rica.

Tratamientos	Rep I		Rep II		Rep III		Rep IV		Promedio	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Sin intervención	0.0080	0.0759	0.0077	0.0878	0.0065	0.0615	0.0043	0.0628	0.0066	0.0720
Intervención 20 %	0.0006	0.0178	0.0018	0.0151	0.0008	0.0075	0.0004	0.0033	0.0009	0.0079
Intervención 30%	0.0006	0.0178	0.0018	0.0151	0.0008	0.0075	0.0004	0.0033	0.0051	0.0430

Cuadro 9. Análisis de varianza del escurrimiento por el tallo en : (A) bosque primario (sin intervención, con 20% de intervención y 30% de intervención) para (B) periodo mayo - agosto 1995, Villa Mills, Costa Rica.

Fuente	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	
Tratamiento (A)	2	0.0027	0.0013	11.02	0.0038	**
Rep (Tratamiento)	9	0.0011	0.0001	13.76	0.0001	**
Fecha (B)	39	0.0086	0.0002	24.13	0.0001	**
Tratamiento* Fecha	78	0.0031	0.00004	4.37	0.0001	**
Error	351	0.0032	0.000009			
Total	479	0.0189				

Cuadro 10. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para la comparación de escurrimiento por el tallo entre los tratamientos (sin intervención, 20% y 30% de intervención) Villa Mills, Costa Rica.

	Tratamiento		
	0%	30%	20%
Medias Duncan	0.0066	0.0051	0.0009
	a	a	b
		b	b

Los valores encontrados en el estudio, para las variables cantidad de agua que llega al suelo, y la cantidad de agua interceptada están entre los rangos reportados por la literatura y resumidos en el cuadro 62, excepto los valores de la variable escorrentía por el tallo que son bajos, y no se pueden clasificar en los rangos reportados por la literatura.

Cuadro 11. Datos de precipitación que llega al suelo, escurrimiento por el tallo, intercepción en porcentaje, en diferentes coberturas.

Autor	Lugar	Tipo de cobertura	P _{suelo} %	E _t %	I %
Rothacher, (1963)	Oregon, USA	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	86.3	0.3	13.0
Thorud, (1963)	Minnesota, USA	<i>Pinus resinosa</i>	81.3	1.4	17.5
Voigt, (1960)	Connecticut, USA	<i>Pinus resinosa</i>	80.1	1.2	18.7
Voigt, (1960)	Connecticut, USA	<i>Tsuga canadensis</i>	60.9	5.9	33.1
Santa Regina, (1989)	España	<i>Pinus sylvestris</i> L.	88.0	12.0	—
Lloyd, (1988)	Manaus, Brasil	bosque tropical	91.0	1.8	7.2
Zambrana, (1975)	Turrialba, Costa Rica	bosque tropical	84.0	—	16
Jordan, (1981)	Amazona, Venezuela	bosque tropical	87.0	8.0	5.0
Castro, (1983)	Vicosa, Brasil	bosque secundario	87.4	0.2	12.4
Cicco, (1985)	Cunha, Brasil	bosque secundario	80.7	1.1	18.2
Leopoldo, (1985)	Sao Manoel, Brasil	bosque nuboso	80.5	2.9	16.6
Lima, (1983)	Agudos, Brasil	bosque nuboso	72.7	-	27.3

* P_{suelo} : precipitación que llega al suelo

* E_t : escurrimiento por el tallo

* I : intercepcion

4.5. Tasa de infiltración básica

El cuadro 12, presenta la tasa de infiltración (mm/hr), promedio en los diferentes tratamientos y repeticiones, además se incluyen para efecto de comparación los tratamientos potrero #1 y potrero #2, que poseen diferente carga animal 0,53 y 0,63 u.a / ha respectivamente. Los tratamientos bosque primario sin

intervención y tratamientos 20% de extracción de área basal tienen una tasa de infiltración muy similar 116 mm/hr y 117 mm/hr, el tratamiento 30% de extracción de área basal es el que menos tasa de infiltración presenta de los tratamientos originales en estudio, lo que sugiere que a mayor apertura del dosel la tasa de infiltración se reduce esto puede deberse a varias razones, entre ellas una menor capa de mulch la que cumple funciones importantes como son: amortigua las gotas de lluvia antes que esta toque el suelo, mermando la energía cinética de la gota de lluvia, la que, de lo contrario, provocaría un movimiento de suelo mayor de no existir el mulch, que al final nos sellaría los poros del suelo reduciendo la infiltración, aumentando la compactación. Para los tratamientos potreros, el potrero #2 con mayor cantidad de carga animal (0,53 u.a/ha) tiene una menor tasa de infiltración (22 mm/hr), posiblemente debido a la mayor compactación del suelo ocasionado por el pisoteo, que aumenta el volumen de escurrimiento.

Los resultados muestran que la tasa de infiltración disminuye en forma lineal aproximadamente, con las diferentes intensidades del uso de la tierra, observando la más baja tasa de infiltración con la carga alta (0,63 u.a / ha) (Fig 5). A pesar que la tasa de infiltración fue menor bajo pastoreo, la capacidad de recarga del agua no fue diferente entre los diferentes tratamientos. Esto se puede correlacionar con la buena cobertura vegetal del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) lo cual reduce el grado de escorrentía del agua, permitiendo por lo tanto, mayor tiempo de infiltración. Esto es soportado con datos de Humphreys (1991) y Hong (1978) quienes notaron que la escorrentía de agua en una pastura es negativamente relacionado al porcentaje de cobertura vegetal del suelo.

También es importante destacar que la carga animal fue muy baja (0,53 u.a /ha) comparados con los valores normales en sistemas de producción de leche lo cual no tuvo mucho efecto en la compactación del suelo Walker (1980) y Ibrahim (1994) encontraron que la densidad aparente o grado de compactación aumentó en forma lineal cuando la carga animal se incrementa.

El análisis de varianza, muestra diferencias altamente significativas para hábitat y la prueba Duncan ($\alpha = 0.05$) para la tasa de infiltración indican que en los hábitat 20% de extracción de área basal y bosque primario sin intervención las tasas

de infiltración son superiores y estadísticamente diferentes al hábitat potrero #2, los hábitat 30% de extracción de área basal y potrero #1 no difieren significativamente del resto de los hábitat.

Cuadro 12. Tasa de infiltración básica (mm/hr) promedio en cinco tipos de tratamientos; tres condiciones de bosque primario (sin intervención, 20% intervenido, 30% intervenido), y dos condiciones de potrero, en un bosque húmedo montano tropical, Costa Rica.

Tratamientos	Repeticiones				Promedio mm / hr
	Rep I	Rep II	Rep III	Rep IV	
Sin intervención	93	144	72	157	116
Intervención 20 %	87	107	113	163	117
Intervención 30 %	169	51	49	67	84
Potrero # 1 *	88	60	4	27	45
Potrero # 2 **	18	26	7	37	22

* : potrero # 1 esta sometido a una carga animal de 0,53 u.a/ha.

** : potrero # 2 esta sometido a una carga animal de 0,63 u.a/ha.

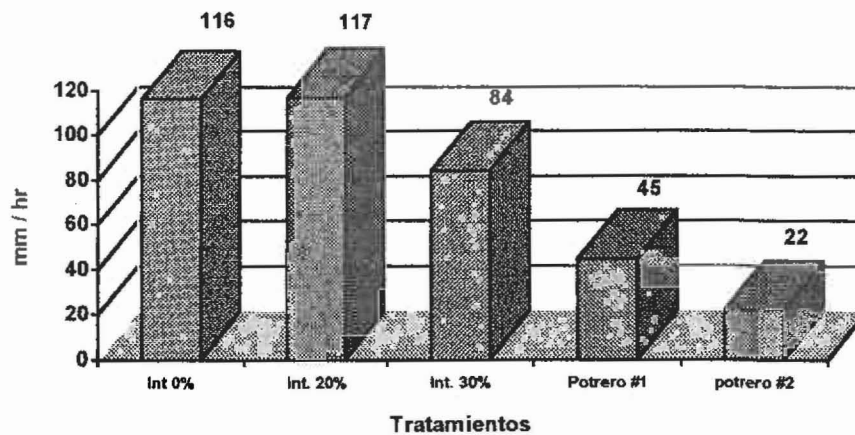


Fig 5. Tasa de infiltración básica en los diferentes tratamientos

Cuadro 13. Análisis de varianza de la tasa de infiltración básica (mm/hr), en cinco tipos de tratamientos; tres condiciones de bosque primario (sin intervención, 20% intervenido, 30% intervenido), y dos condiciones de potrero, en un bosque húmedo montano tropical, Villa Mills, Costa Rica.

Fuente	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Habitat	4	14737.38	3684.34	4.89	0.0426 *
Error	6	4521.25	753.54		
Total	10	19258.63			

* significativo

Cuadro 14. Prueba de comparación múltiple (Duncan $\alpha=0,05$), para la tasa de infiltración básica (mm/hr) en los cinco tratamientos evaluados en un bosque húmedo montano tropical, Villa Mills, Costa Rica.

Tratamientos	Promedio	Significancia
Bosque primario 20% intervención	117.5	a
Bosque primario sin intervención	116.5	a
Bosque primario 30% intervención	84.25	a b
Potrero #1	44.75	b
Potrero #2	21.75	b

* Letras iguales no difieren estadísticamente

4.6. Balance hídrico en los diferentes tratamientos

Una vez determinado el porcentaje de intercepción, para cada intervención silvicultural, y partiendo del análisis de las intensidades de las precipitaciones para el año típico (1991), se cuantificó la cantidad de agua que infiltra (p_i) y escurre (p_e).

Con la cantidades de agua que infiltran y escurren, la precipitación diaria, la evapotranspiración potencial, las características de los suelos sobre el cual están las parcelas como son textura, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, la profundidad de raíces para cada uso del suelo en estudio se determinaron los balances hídricos diarios, para cada tratamiento en estudio.

En los siguientes cuadros de balances hídricos la terminología usada es la se describe a continuación y las unidades de cada una de ellas son en milímetros (mm): pt (precipitación total); p_i (precipitación que infiltra); p_e (precipitación que escurre); etp (evapotranspiración); hsi (humedad de suelo inicial); agd (agua disponible); hsf (humedad de suelo final); chs (cambio de humedad en el suelo); dcc (déficit de capacidad de campo); rp (recarga potencial); etr (evapotranspiración real); nr (necesidad de riego).

En el cuadro 15, se presentan los resultados del balance hídrico para el tratamiento bosque primario con 0% de intervención; este tratamiento intercepta un 34,4% de la precipitación incidente, por lo que solamente un 65,6% (1316 mm) de la precipitación incidente se infiltra en el suelo. No hay escurrimiento superficial, la

evapotranspiración potencial fue de 763 mm y la evapotranspiración real es de 556 mm, un 42,3% de la precipitación que infiltra.

La recarga potencial del acuífero fue de 57,7% (758 mm) de la precipitación que infiltra, y ocurre entre los meses de mayo a noviembre.

Cuadro 15. Balance hídrico diario (mm) del tratamiento bosque primario sin intervención; con una intercepción de 34,4% de la precipitación incidente (186,7 mm) y una tasa de infiltración de 116,5 mm/hr, Villa Mills, Costa Rica.

mes	pt	pi	pe	etp	hsi	agd	hsf	chs	dcc	rp	etr	nr
marzo	8.8	5.7	0	116.7	0.0	-111.0	0.0	0.0	4340.0	0.0	5.7	4340.0
abril	54.6	35.8	0	89	46.5	-53.2	52.6	6.0	4147.4	0.0	29.8	4147.4
mayo	344.7	226.1	0	58.6	2586.4	167.5	2717.4	131.0	1622.6	36.5	58.6	1622.6
junio	358.7	235.3	0	50	4146.1	185.3	4149.1	3.0	50.9	182.3	50.0	50.9
julio	122.1	80.1	0	45.6	4263.1	34.5	4263.1	0.0	76.9	34.5	45.6	76.9
agosto	267.8	175.7	0	51.7	4243.4	124.0	4243.4	0.0	96.6	124.0	51.7	96.6
set	345.1	226.4	0	43.9	4169.3	182.5	4169.3	0.0	30.7	182.5	43.9	30.7
oct	342.4	224.6	0	44.2	4315.9	180.4	4314.3	-1.6	25.7	182.0	44.2	25.7
nov	99.8	65.5	0	48.9	3986.7	16.6	3985.3	-1.4	214.7	18.0	48.9	214.7
dic	15.8	10.3	0	62.4	3598.9	-52.1	3546.9	-52.1	793.1	0.0	62.4	793.1
enero	44.6	29.2	0	71.5	1925.1	-42.3	1882.8	-42.3	2457.2	0.0	71.5	2457.2
feb	2.2	1.5	0	80	342.5	-78.6	299.8	-42.7	3620.2	0.0	44.1	3620.2
total (mm)	2006	1316.1	0	763	—	—	—	—	—	759.7	556.5	—
%	100	65.6	—	—	—	—	—	—	—	57.7	42.3	—

En el cuadro 16, se presentan los resultados mensuales del balance hídrico diario (mm) para el tratamiento bosque con 20% de extracción de área basal, este tratamiento intercepta un 24,2% de la precipitación incidente, por lo que solamente un 75,8% (1521 mm) de la precipitación incidente se infiltra en el suelo, no hay escurrimiento superficial, la evapotranspiración potencial fue de 763 mm y la evapotranspiración real es de 474 mm, un 31,2% de la precipitación que infiltra.

La recarga potencial del acuífero fue de 68,8% (1047 mm) de la precipitación que infiltra, y ocurre entre los meses de mayo a noviembre.

Cuadro 16. Balance hídrico diario (mm) del tratamiento bosque primario 20% de intervención ; con una intercepción de 24,2% de la precipitación incidente (186,7 mm) y una tasa de infiltración de 117,5 mm/hr, Villa Mills, Costa Rica.

mes	pt	pi	pe	etp	hsi	agd	hsf	chs	dcc	rp	etr	nr
marzo	8.8	6.6	0	116.7	0.0	-110.1	0.0	0.0	4340.0	0.0	6.6	4340.0
abril	54.6	41.4	0	89	60.9	-47.6	68.4	7.5	4131.6	0.0	33.9	4131.6
mayo	344.7	261.3	0	58.6	2836.7	202.7	2966.3	129.6	1373.7	73.1	58.6	1373.7
junio	358.7	271.9	0	50	4147.7	221.9	4150.7	2.9	49.3	218.9	50.0	49.3
julio	122.1	92.5	0	45.6	4271.6	46.9	4271.6	0.0	68.4	46.9	45.8	68.4
agosto	267.8	203.0	0	51.7	4260.5	151.3	4260.5	0.0	79.5	151.3	51.7	79.5
set	345.1	261.6	0	43.9	4174.7	217.7	4174.7	0.0	25.3	217.7	43.9	25.3
oct	342.4	259.5	0	44.2	4318.3	215.3	4316.7	-1.5	23.3	216.6	44.2	23.3
nov	99.8	75.7	0	48.9	4011.5	26.8	4010.2	-1.3	189.8	28.1	48.9	189.8
dic	15.8	11.9	0	62.4	3278.2	-50.5	3141.0	-137.1	1199.0	94.0	55.1	1199.0
enero	44.6	33.8	0	71.5	123.4	-37.7	123.4	0.0	4216.6	0.0	33.8	4216.6
feb	2.2	1.7	0	80	0.0	-78.4	0.0	0.0	3920.0	0.0	1.7	3920.0
total (mm)	2006	1520.8	0	763	-----	-----	-----	-----	-----	1046.8	474.0	-----
%	100	75.8	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	68.8	31.2	-----

En el cuadro 17, se presentan los resultados del balance hídrico para el tratamiento bosque con 30% de extracción de área basal, este tratamiento intercepta un 25,2% de la precipitación incidente, por lo que solamente un 74,8% (1500 mm) de la precipitación incidente se infiltra en el suelo; no hay escurrimiento superficial, la evapotranspiración potencial fue de 763 mm y la evapotranspiración real es de 567 mm, un 37,8% de la precipitación que infiltra.

La recarga potencial del acuífero fue de 62,2% (934 mm) de la precipitación que infiltra, y ocurre entre los meses de mayo a noviembre.

Cuadro 17. Balance hídrico diario (mm) del tratamiento bosque primario, 30% de intervención ; con una intercepción de 25,2% de la precipitación incidente (186,7 mm) y una tasa de infiltración de 84,2 mm/hr, Villa Mills, Costa Rica.

mes	pt	pi	pe	etp	hsi	agd	hsf	chs	dcc	rp	etr	nr
marzo	8.8	6.5	0	116.7	0.0	-110.2	0.0	0.0	4340.0	0.0	6.5	4340.0
abril	54.6	40.8	0	89	59.5	-48.2	66.8	7.3	4133.2	0.0	33.5	4133.2
mayo	344.7	257.8	0	58.6	2813.4	199.2	2943.1	129.7	1396.9	69.5	58.6	1396.9
junio	358.7	268.3	0	50	4147.6	218.3	4150.5	2.9	49.5	215.3	50.0	49.5
julio	122.1	91.3	0	45.6	4271.0	45.7	4271.0	0.0	69.0	45.7	45.6	69.0
agosto	267.8	200.3	0	51.7	4259.7	148.6	4259.7	0.0	80.3	148.6	51.7	80.3
set	345.1	258.1	0	43.9	4174.5	214.2	4174.5	0.0	25.5	214.2	43.9	25.5
oct	342.4	256.1	0	44.2	4318.1	211.9	4316.5	-1.6	23.5	213.4	44.2	23.5
nov	99.8	74.7	0	48.9	4009.2	25.8	4007.9	-1.3	192.1	27.1	48.9	192.1
dic	15.8	11.8	0	62.4	3638.4	-50.6	3587.8	-50.6	752.2	0.0	62.4	752.2
enero	44.6	33.3	0	71.5	2031.8	-38.2	1993.8	-38.2	2346.4	0.0	71.5	2346.4
feb	2.2	1.7	0	80	436.5	-78.4	388.2	-48.3	3531.8	0.0	50.0	3531.8
total (mm)	2006	1500.7	0	763.0	-----	-----	-----	-----	-----	933.9	566.9	-----
%	100	74.8	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	62.2	37.8	-----

En el cuadro 18, se presentan los resultados del balance hídrico diario para el tratamiento potrero #1, con una carga animal de 8 unidades animales, la intercepción fue considerada despreciable, en donde un 94% (1878 mm) de la precipitación incidente se infiltra en el suelo, el 6% se escurre superficialmente (128 mm), la evapotranspiración potencial fue de 763 mm y la evapotranspiración real es de 485 mm, un 25% de la precipitación que infiltra.

La recarga potencial del acuífero fue de 75% (1393 mm) de la precipitación que infiltra, y ocurre entre los meses de mayo a noviembre.

Cuadro 18. Balance hídrico diario (mm) del tratamiento potrero #1; sin intercepción y una tasa de infiltración de 44,2 mm/hr, Villa Mills, Costa Rica.

mes	pt	pi	pe	etp	hsi	agd	hsf	chs	dcc	rp	etr	nr
marzo	8.8	8.75	0	116.7	0	-108	0	0	930	0	9	930
abril	54.6	54.5	0	89	100	-34	111	7	789	0	44	789
mayo	344.7	334.0	10.7	58.6	895	275	911	130	19	259	59	19
junio	358.7	330.4	28.3	50	852	280	854	3	46	278	50	46
julio	122.1	113.1	9	45.6	876	67	876	0	54	67	46	54
agosto	267.8	225.7	42.1	51.7	857	174	857	0	73	174	52	73
set	345.1	311.0	34.1	43.9	877	267	877	0	23	267	44	23
oct	342.4	338.4	4	44.2	913	294	912	-2	18	296	44	18
nov	99.8	99.8	0	48.9	758	51	757	-1	143	52	49	143
dic	15.8	15.7	0	62.4	432	-47	405	-50	525	0	43	525
enero	44.6	44.5	0	71.5	256	-27	261	-38	669	0	40	669
feb	2.2	2.2	0	80	10	-78	5	-49	835	0	7	835
total	2006	1878	128	763	-----	-----	-----	-----	-----	1393	485	-----
%	100	94	6	-----	-----	-----	-----	-----	-----	75	25	-----

En el cuadro 19, se presentan los resultados del balance hídrico para el tratamiento potrero #2, con una carga animal de 19 unidades animales, la intercepción fue considerada despreciable, en donde un 79% (1583 mm) de la precipitación incidente se infiltra en el suelo, el 21% (424 mm) se escurre superficialmente, la evapotranspiración potencial fue de 763 mm y la evapotranspiración real es de 595 mm un 38% de la precipitación que infiltra.

La recarga potencial del acuífero fue de 62% (987 mm) de la precipitación que infiltra, y ocurre entre los meses de mayo a noviembre.

Cuadro 19. Balance hídrico diario (mm) del tratamiento potrero #2 ; sin intercepción y una tasa de infiltración de 21,7 mm/hr, Villa Mills, Costa Rica.

mes	pt	pi	pe	etp	hsi	agd	hsf	chs	dcc	rp	etr	nr
marzo	8.8	8.7	0	116.7	0	-108	0	0	4340	0	9	4340
abril	54.6	54.5	0	89	100	-34	11	11	4089	0	44	4089
mayo	344.7	292.1	52.6	58.6	3054	234	3180	126	1160	107	59	1160
junio	358.7	264.2	94.5	50	4152	214	4154	3	46	211	50	46
julio	122.1	98.4	23.6	45.6	4286	53	4286	0	54	53	46	54
agosto	267.8	161.7	106.1	51.7	4267	110	4267	0	73	110	52	73
set	345.1	242.1	103.0	43.9	4177	198	4177	0	23	198	44	23
oct	342.4	300.5	41.9	44.2	4323	256	4322	-1	18	258	44	18
nov	99.8	97.8	2.0	48.9	4054	49	4053	-1	147	50	49	147
dic	15.8	15.7	0	62.4	3742	-47	3696	-47	644	0	62	644
enero	44.6	44.5	0	71.5	2320	-27	2293	-27	2047	0	71	2047
feb	2.2	2.2	0	80	751	-78	688	-64	3232	0	66	3232
total (mm)	2006	1583	424	763	-----	-----	-----	-----	-----	987	595	-----
%	100	79	79	-----	-----	-----	-----	-----	-----	62	38	-----

En el cuadro 20, se presentan un resumen de los balances hídricos diarios (mm) para cada tratamiento en estudio, el tratamiento potrero #1 es el que presenta mayor recarga potencial al acuífero y el hábitat bosque primario con 958 mm es el que menor recarga al acuífero.

Es importante mencionar que para los tratamientos potreros se consideró que no existe intercepción de agua, sin embargo, al aumentar la carga animal, se aumenta la compactación y se reduce la capacidad de infiltración del suelo.

Por lo anterior para el hábitat potrero #2, cuya carga animal aumentó en un 100% (0,63 u.a.), la recarga al acuífero es de 984 mm, por lo que fue superado por los hábitat 20% y 30% de extracción de área basal respectivamente.

Cuadro 20. Resumen del balance hídrico (mm) en los tres tipos de bosque primario (sin intervención, 20% intervención, 30% intervención) y dos tipos de potreros (0,53 u.a y 0,63 u.a) en Villa Mills, Costa Rica.

Hábitat	u.a	Pt	I	Pi	Esc	Etr	Rec	m ³ / ha
Potrero # 1	8	2006,0	0,0	1878,0	128,0	598,0	1 279,0	12 790,0
Potrero # 2	19	2006,0	0,0	1583,0	424,0	598,0	984,0	9 840,0
Sin intervención	0	2006,0	34.4	1316,1	0,0	556,5	759,7	7 597,0
20 % intervención	0	2006,0	24,2	1521,0	0,0	474,0	1 046,8	10 468,0
30 % intervención	0	2006,0	25.2	1500,7	0,0	566,9	933,9	9 339,0

u.a : unidades animales

Pt : precipitación total (mm)

I : intercepcion (%)

Pi : precipitación que infiltra (mm)

Esc : escurrimiento superficial (mm)

Etr : evapotranspiracion potencial (mm)

Rec : recarga del acuífero (mm)

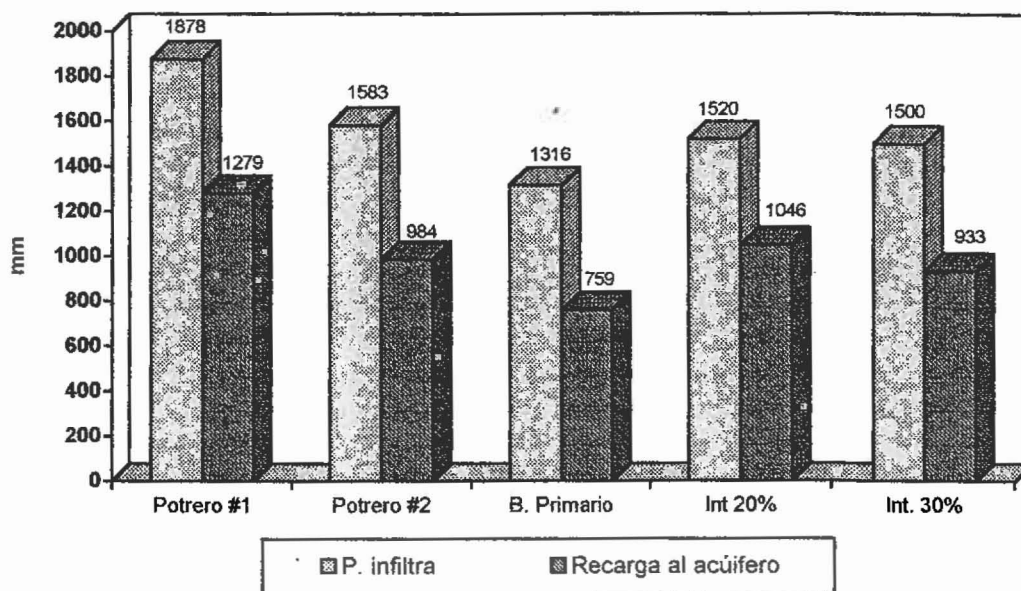


Figura 6. Precipitación que infiltra y recarga potencial del acuífero en el bosque (sin intervención, con 20% y con 30% de intervención) y en el potrero (0,53 u.a y 0,63 u.a) en Villa Mills, Costa Rica

4.7. Valoración del componente maderero del bosque

Para evaluar el componente hídrico y forestal se realizó un análisis financiero de una empresa forestal que tiene una superficie de 960 has a explotar, y a la cual se le aplicaron dos tratamientos silviculturales: 20% y 30% de extracción de área basal, lo anterior para determinar la rentabilidad por tratamiento, desde dos escenarios:

- a. Producción de madera
- b. Producción de madera más producción hídrica

La empresa forestal explotará la superficie total en cuatro etapas productivas, cada una de 240 has y en un periodo de 15 años, por lo que se realizaran explotaciones anuales de 68 has a partir del año 1. Cada cuatro años se elaborará el plan de manejo se construirán caminos forestales y pistas de arrastre.

Para el análisis financiero de los tratamientos 20% y 30%, se consideraron costos de inversión, costos de operación y los ingresos, en los ingresos se incluyó la

producción hídrica. El resumen de información necesaria para realizar el estudio financiero se presenta en los cuadros 21, 22, 23.

Cuadro 21. Resumen de ingresos (colones/ ha) de los productos forestales, de la empresa forestal, Villa Mills, Costa Rica.

Concepto	Tratamientos	
	20% de intervención	30% de intervención
Por tucas con DAP > 30 cm	398 945,45	485 544,00
Leña	55 302,00	52 523,00
Postes	37 070,00	37 070,00
Total Colones/ha	491 317,45	575 137,00

Fuente :Hernández (1992)

Cuadro 22. Resumen de costos de inversión y operación para la empresa forestal, Villa Mills, Costa Rica.

Concepto	Tratamientos	
	20% de intervención	30% de intervención
Costo de inversión		
Camino forestal	96 606,00	96 606,00
Pistas de arrastre	8 156,00	8 156,00
Plan de manejo	5 250,00	5 250,00
Costos de operación		
.Extracción de madera		
Tala		
Mano de obra	10 400,00	15 450,00
Equipo (motosierra)	4 571,00	6 548,00
Arrastre (alquiler)	27 000,00	31 500,00
Mano de obra técnico	4 310,00	5 290,00
Mano de obra obreros	11 815,00	14 500,00
Producción de leña		
Mano de obra	37 422,00	35 550,00
Motosierra (alquiler)	9 355,00	8 887,00
.Producción de Postes		
Costo de mano de obra	10 110,00	10 110,00
Total de costos α / ha	224 995,00	237 847,00

Fuente : Hernández (1992)

Cuadro 23. Resumen de los costos administrativos (colones costarricenses) para los 15 años de proyecto de la empresa forestal, Villa Mills, Costa Rica.

Concepto	Tratamientos	
	20% de intervención	30% de intervención
Personal administrativo	4 472 000,00	4 472 000,00
Impuestos sobre la madera	763 164,00	895 927,00
Papelería	25 000,00	25 000,00
Repuestos y suministros	450 000,00	450 000,00
Luz, agua y teléfono	200 000,00	200 000,00
Equipamiento y otros	8 750 000,00	8 750 000,00
Total Colones / ha	14 660 164,00	14 792 927,00

Fuente : Hernández (1992)

4.8. Valoración económica de la producción hídrica

4.8.1. Análisis de la encuesta, para determinar la voluntad de pago

Con los datos de la encuesta realizada para determinar la voluntad de pago por el recurso agua en las comunidades aledañas a la zona de estudio, se realizó un análisis de conglomerados. Para esto se consideraron siete variables, tres cuantitativas y cuatro cualitativas, que se midieron a las 32 personas entrevistadas.

Como medida de distancia entre los individuos se utilizó la distancia euclidiana al cuadrado de las variables estandarizadas. El método de clasificación utilizado fue el de Ward, realizado através del procedimiento de conglomerados del sistema estadístico SAS. De este análisis resultaron cinco grupos, que se describen a continuación :

Grupo No. 1

Todos los individuos entrevistados son mujeres, en general (con respecto al total) de ingresos bajos, con una voluntad de pago baja, de educación primaria, con una edad media promedia de 34 años, con un número de individuos por familia promedio de 5, y es el grupo con mayor número de habitaciones, 6 por vivienda.

Grupo No 2

Todos los entrevistados son hombres, de ingresos bajos, con diferentes clases de voluntad de pago (bien distribuida), de educación primaria, con una edad promedio de 43 años, con 7 individuos por familia en promedio, y 5 habitaciones promedio por vivienda.

Grupo No 3

En este grupo todos los entrevistados son hombres, de ingresos medios bajos, indefinidos en cuanto a su voluntad de pago, con una educación primaria, una edad en promedio de 26 años, con un número promedio de habitaciones mas bajos que todos los grupos, 3 habitaciones por vivienda.

Grupo No 4

Se agrupa por igual número de hombres y mujeres, todos sus ingresos bajos y voluntad de pago alta, de educación primaria, con la mayor edad promedio de todos los grupos, en promedio 3 individuos por familia y un promedio de 5 habitaciones por vivienda.

Grupo No 5

En cuanto al sexo de los entrevistados se reportan por igual en hombres y mujeres, de ingresos y voluntad de pago altos, con educación primaria de edad media de 56 años, con el mayor número medio de individuos por familia 7 individuos, y una media de cuatro habitaciones por vivienda.

Al comparar la voluntad de pago agrupada en 3 categorías (baja $< \text{€} 500$; media entre $\text{€} 500$ y $\text{€} 1000$; alta $> \text{€} 1000$), con los grupos formados por el análisis de conglomerado se observa que este es diferente o sea que existe una relación de dependencia entre la voluntad de pago y los grupos ($P > \lambda^2 = 0.027$).y según las

características de estos será mayor o menor. El cuadro 24 se muestra las diferentes tendencias de voluntad de todos los grupos, para el grupo 1 una tendencia baja; para el grupo 2 tiene una tendencia media y baja; el grupo 3 tiene una tendencia media alta; y los grupos 4 y 5 están claramente definidos por una voluntad de pago alta.

El análisis de este cuadro 24 muestra que la voluntad de pago depende de la edad de las personas y no de su ingreso económico, lo que se puede sustentar de la forma siguiente: El grupo 4 tiene el ingreso económico más bajo de todos los grupos mientras que el grupo 5 es el de ingreso más alto de todos los grupos, pero ambos tienen en común de ser los grupos con mayor edad, 65 y 56 años en promedio respectivamente, en tanto que los otros grupos tienen edades medias y bajas.

En conclusión podemos decir que de las personas entrevistadas, aquellas que tienen una mayor edad son las que tienen la mas alta voluntad de pago por el recurso agua sin importarles su nivel de ingreso económico.

De lo anterior se recurrió a obtener una media general del valor económico para el recurso agua, esta se obtuvo a través de un promedio ponderado de las diferentes clases de voluntad de pago (baja, media y alta), dando como resultado 731 colones.

Partiendo del cuadro 13, resumen de los balances hídricos por tratamientos donde se determinó que para las parcelas con 20% y 30% de intervención silvicultural, la recarga anual es de 10468 m³ y 9339 m³ de agua por hectárea respectivamente, pero para efecto de análisis económico se considera que de esta recarga anual solamente sale de la cuenca un 50% como flujo base del acuífero. Los metros cúbicos de recarga del acuífero, producidos en los tratamientos silviculturales se valoraron desde dos escenarios posibles:

4.8.2. Voluntad de pago

El resultado de la encuesta para determinar la voluntad de pago, dio que la comunidad está dispuesta a pagar por el servicio de agua 731 colones mensuales / familia, lo que da derecho a consumir 23.12 m³ de agua al mes (A y A, 1994). A este

precio el m³ de agua tendría un valor de ₡ 31,61. El número total de familias en la comunidad es de 40, lo que demanda una cantidad de 11098 m³ de agua anualmente.

El excedente de agua que resulta después de haber suplido la demanda de agua potable, se valoró con base en dos posibles mercados:

Cuadro 24. Resumen de la variable voluntad de pago por categorías, de la encuesta practicada a las comunidades aledañas a la estación experimental Villa Mills, Costa Rica.

Categorías		Grupos					Total
		1	2	3	4	5	
Baja	F	7	7	1	0	0	15
	P	21.8	21.8	3.1	0.0	0.0	46.8
	P.F	46.6	46.6	6.6	0.0	0.0	
	P.C	87.5	50.0	25.0	0.0	0.0	
Media	F	1	3	1	0	0	5
	P	3.1	9.3	3.1	0.0	0.0	15.6
	P.F	20.0	60.0	20.0	0.0	0.0	
	P.C	12.5	21.4	25.0	0.0	0.0	
Alta	F	0	4	2	4	2	12
	P	0.0	12.5	6.2	12.5	6.2	37.5
	P.F	0.0	33.3	16.6	33.3	16.6	
	P.C	0.0	28.5	50.0	100.0	100.0	
Total		8	14	4	4	2	32
Porcentaje		25.0	43.7	12.5	12.5	6.2	100.00

* F : frecuencia

* P.C : porcentaje respecto a la columna

* P : porcentaje respecto al grupo

* P.F : porcentaje respecto a la fila

a. Producción hidroenergética

A la que se le aplicaría un factor de conversión energético para determinar la conversión de m³ de agua a Kwh, para el estudio y siendo esta cuenca afluente del Río Cuericí, de donde el ICE deriva parte de estas aguas hacia el embalse de el Llano, estos m³ de agua se procesan en la estación Río Macho, que tiene un factor energético de 0.94 Kwh por m³ de agua generado. Los Kwh producidos por el excedente de agua se les aplica una tarifa marginal, que varía en su precio de acuerdo a la época del año en que son generados. De enero - agosto el Kwh vale ₡ 10,10 y de septiembre a diciembre el Kwh vale ₡ 7.72

b. Función ecológica

Según datos de A y A (1994), el costo de convertir aguas negras a aguas libre de sólidos en suspensión para uso agroindustrial se estima en ≈ 100 , por lo tanto, el beneficio ecológico que nos brinda el bosque respecto a calidad de agua nos permite valorar este servicio en base al costo anteriormente detallado.

4.8.3. Tarifa de pago actual

Actualmente la comunidad cancela al A y A ≈ 300 por el servicio mensual de $23,12 \text{ m}^3$, lo que nos da un precio de ≈ 12.98 por m^3 de agua, y conociendo la demanda anual por la comunidad y la valoración que se le da al excedente de agua utilizado en el escenario voluntad de pago, se valora económicamente la producción hídrica de acuerdo a la tarifa actual que cobra A y A.

En el análisis de costo beneficio tres indicadores pueden utilizarse : el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio costo (B/C) (Aguirre. 1985; Barkow, 1993; Davis, 1994).

Valor actual neto (VAN) : determina el valor actual del flujo de ingresos netos a través del procedimiento de descuento de los beneficios en tiempo t (Bt) y los costos en tiempo t (Ct) hasta el año de base ($t=0$).

Tasa interna de retorno (TIR) : es aquella tasa según la cual el valor actualizado de los beneficios es igual al valor actualizado de los costos; así mismo es el porcentaje de utilidad que se obtiene de la utilización del dinero en un proyecto después de haber cubierto todos los costos de capital y de explotación.

Relación beneficio costo (B/C) : la relación beneficio/costo es igual al valor actualizado de los beneficios entre el valor actualizado de los costos. Si la B/C es igual a 1 esta indica que los beneficios son iguales a los costos.

En el Cuadro 25, se presenta el resumen de los indicadores financieros (VAN y B/C) para los tratamientos silviculturales en función de producción de madera. Se observa que los tratamientos silviculturales de 20% y 30% de intervención resultan

con un VAN de ₡ 32108790 y ₡ 47250310, respectivamente, de la actividad forestal estimada para un período de 15 años.

Lo anterior demuestra la rentabilidad del manejo sostenido de un bosque, lo cual es también sustentado por Quirós y Reiche (1994), los que planificaron una explotación de bosque a 46 años, con aprovechamiento cada 20 años de $10 \text{ m}^3 / \text{ha}$, encontrando un valor actual neto (VAN) de \$ 337/ha, equivalente a \$ 74,25/ha/año durante 45 años y con una relación beneficio costo de 4,05.

El Cuadro 27, se presenta el resumen de los indicadores financieros (VAN y B/C) para los tratamientos silviculturales en función de producción de madera más producción hídrica. La producción hídrica se valora de acuerdo a dos tarifas por el servicio potable de agua mensual ₡ 731 (voluntad de pago) y ₡ 300 (AyA), y el uso del excedente de agua el cual es para producción hidroenergética y por el beneficio ecológico del bosque de producir agua de alta calidad. Se observa que el tratamiento silviculturales de 20% con una tarifa mensual de 731 colones resulta con un VAN de ₡ 37360321 y una relación B/C de 2.28, valorando el excedente de agua en función hidroenergético, pero cuando el excedente es valorado en función ecológica el VAN y la relación B/C es de ₡ 80327998 y 3.14 respectivamente; al valorar el mismo tratamiento con una la tarifa de 300 colones y el excedente de agua como función hidroenergética obtenemos un VAN y relación B/C de ₡ 36692750 y 2.26, respectivamente; pero cuando el excedente es valorado en función ecológica el VAN y la relación B/C es de ₡ 79660427 y 3.13 respectivamente.

Para el tratamiento silviculturales de 30% con una tarifa mensual de 731 colones resulta con un VAN de ₡ 55354615 y una relación B/C de 2.53, respectivamente, valorando el excedente de agua en función hidroenergético, pero cuando el excedente es valorado en función ecológica el VAN y la relación B/C es de ₡ 90004847 y 3.18, respectivamente; al valorar el mismo tratamiento con una tarifa de 300 colones obtenemos un VAN y relación B/C de ₡ 54687045 y 2.52, respectivamente valorando el excedente de agua en función hidroenergético, pero cuando el excedente es valorado en función ecológica, el VAN y la relación B/C es de ₡ 89337276 y 3.17, respectivamente.

Cuadro 25. Resumen de los indicadores financieros (VAN y B/C) para los tratamientos silviculturales (20% y 30% de extracción basal) valorando solo la producción de maderera, Villa Mills, Costa Rica.

Indice financiero	Tratamientos	
	20% de intervención	30% de intervención
VAN	32 108 790,00	47 250 802,00
B / C	2.17	2.38

* Tasa de cambio \approx 184,00 / \$ 1,00 USA, 1995

* Fuente anexos 9A,10A,11A,12A

El cuadro 26 presenta el resumen de los indicadores financieros (VAN y B/C) para los tratamientos silviculturales (20% y 30% de extracción de área basal) en donde se valoró la producción de madera incluyendo en el análisis el ingreso de la venta de agua, a dos tarifas 731 y 300 colones mensuales, al comparar los índices financieros de los cuadros 25 y 26 correspondiente a los tratamiento 20% y 30% de extracción de área basal, se observa una diferencia del VAN de 1 132237 y la relación B/C aumenta en 0,02 colones solo por la venta del componente hídrico, si la tarifa mensual es de 731; de ser la tarifa por el servicio de agua de 300,00 colones mensuales el VAN y la relación B/C presentan una diferencia de 464667 y de 0,01 colones en ambos tratamientos, lo que afirma que el bosque agregándole la producción hídrica tiene una buena rentabilidad.

Cuadro 26. Resumen de los indicadores financieros (VAN y B/C) para los tratamientos silviculturales (20% y 30% de extracción basal) valorando la producción de maderera y producción de agua (venta de agua potable), Villa Mills, Costa Rica.

Tarifa colones	Indice financiero	Tratamientos	
		20% de intervención	30% de intervención
731,00	VAN	33 241 027	48 382 547
	B / C	2.19	2.40
300,00	VAN	32 573 457	47 714 976
	B / C	2.18	2.38

* Tasa de cambio \approx 184,00 / \$ 1,00 USA, 1995

* Fuente anexos 9A,10A,11A,12A.....

Cuadro 27. Resumen de los indicadores financieros (VAN y B/C) para los tratamientos silviculturales (20% y 30% de extracción basal) valorando la producción de maderera más producción de agua, Villa Mills, Costa Rica.

Tarifa	Indice financiero	Tratamientos			
		20% de intervención		30% de intervención	
		Forestal + Agua		Forestal + Agua	
		Exedente valorado en funcion hidroenergético	Exedente valorado en funcion ecologica	Exedente valorado en funcion hidroenergético	Exedente valorado en funcion ecologica
731,00	VAN	37 360 321,00	80 327 998,00	55 354 615,00	90 004 847,00
	B / C	2.28	3.14	2.53	3.18
300,00	VAN	36 692 750,00	79 660 427,00	54 687 045,00	89 337 276,00
	B / C	2.26	3.13	2.52	3.17

* Tasa de cambio \approx 184,00 / \$ 1,00 USA, 1995

* Fuente : Anexos 9A,10A,11A,12A

CONCLUSIONES

- a. No hay diferencias significativas de las variables hídricas (agua que llega al suelo e intercepción) entre los tratamientos del bosque a excepción de la escorrentía por el tallo.
- b. El balance hídrico en los tratamientos en el bosque es afectado por la variable intercepción; por lo tanto la actividad silvicultural en el bosque afectó el régimen hídrico aumentando la recarga del acuífero.
- c. En el potrero el balance hídrico se ve afectado por la tasa de infiltración la cual disminuye a medida que la carga animal aumenta.
- d. El análisis desarrollado en el bosque para la producción de agua y productos maderables mostró ser una alternativa viable en la valoración ampliada de los servicios del bosque.
- e. La adición de los aportes del agua al componente de ingresos del flujo de caja simulado hizo aumentar sustantivamente los índices financieros (VAN, B/C).

BIBLIOGRAFIA

- AGUIRRE, J. A. 1995. Principios de economía ambiental. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 305 p.
- , J. A. 1985. Introducción a la evaluación económica y financiera de inversiones agropecuarias. Manual de instrucción programada. San José, Costa Rica. (Libros y Materiales Educativos No. 46) 191 p.
- ANDERSON, A. R.; PYATT, D.C. 1986. Interception of precipitation by pole stage Sitka spruce and lodgepole pine and mature Sitka spruce at Kielder forest. Northumberland. Forestry 59 (1) : 29 - 38.
- INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS, SAN JOSE, COSTA RICA. 1990. Reglamento para la prestación de servicios a los abonados. San José, Costa Rica. 32 p.
- , 1990. Sistema de información división comercial. Area Metropolitana. Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados. San José, Costa Rica. 102 p.
- , 1993. Sistema de información división comercial Area Metropolitana. Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados. San José, Costa Rica. 95 p.
- , 1994. Compendio de información servicio de acueductos y Alcantarillado Sanitario. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. División de Análisis Financiero Comercial. San José, Costa Rica. 45 p.
- , 1995. Tabla de tarifas del agua en el área metropolitana. Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados. San José, Costa Rica. 3 p.
- , 1995. Tablas de tarifas. División de Informática. Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados. San José, Costa Rica. s. p.
- AZQUETA, O. D. 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. Madrid, Mc Graw Hill. 299 p.
- BEEK, A. R. ; SAENZ, G. 1992. Manejo forestal basado en la regeneración natural del bosque. Estudio de caso en los robledales de altura de la Cordillera de Talamanca. CATIE. Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales. No. 6, Costa Rica. 48. p.

- GIACOMIN, A. ; TRUCCHI, P. 1992. Rainfall interception in a beech coppice (Acquerino, Italy). *Journal of Hydrology (Holanda)* 137 : 141 - 147.
- GIBBONS, D. C. 1987. The economic value of water resources for the future. Washington. 101 p.
- HAMILTON, L. S. 1985. Towards clarifying the appropriate mandate in forestry for watershed rehabilitation and management. Report on an expert meeting on strategies approaches and systems for integrated watershed management. forest and effects of conversion: a state of Kathmandu, Roma, FAO. East West 40 p.
- HERNANDEZ, A. R. 1992. Análisis y planificación de fincas en Baja Talamanca, Costa Rica, considerando sistemas agroforestales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 133 p.
- HERNANDEZ, U. S. 1992. Estudio de factibilidad de una empresa forestal autosuficiente para el manejo sostenible de los robledales de altura de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis Administración de Empresas. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 95 p.
- HERRERA, R. D. 1990. Evaluación financiera del manejo del bosque natural secundario en cinco sitios de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 109 p.
- HEWLETT, J. D. 1970. Review of the catchment experiment to determine water yield. In Joint FAO/USSR International Symposium on Forest Influences and Watershed Management (1970, Moscow, USSR). Proceedings. s.n.t. p. 145 - 155.
- HOLDRIDGE, L. R. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Trad. por Humberto Jiménez Saa. San José, C. R., IICA. 216 p.
- HONG, A. 1978. Evaluation on the use of vegetative covers for soil conservation in FELDA. *Agricultural Journal (Malaysia)* 51 ; 335 - 342.
- HUTCHINSON, I. D. 1975. Proposal for liberation thinning in experimental areas of Hill Dipterocarp Forest, Sarawak.
- IBRAHIM, M. A. 1994. Compatibility, persistence and productivity of grass-legume mixtures for sustainable animal production in the atlantic zone of Costa Rica. Doctoral Thesis. Wageningen, Netherlands, Wageningen Agricultural University. 129 p.
- INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD, SAN JOSE, COSTA RICA. 1969. Costos de los proyectos de Cachi y Río Macho. San José, Costa Rica. 120 p.

- JOHNSON, R. C. , 1990. The interception, throughfall and stemflow in a forest in Highland Scotland and the comparison with other upland forests in the UK . *Journal of Hydrology (Holanda)*. 118 : 281 - 287.
- JORDAN, J. D. ; HEUVELDOP, J. 1981. The water budget of an amazonian rain forest. *Acta Amazonica (Brasil)* 11 (1) : 87 - 92.
- LEOPOLDO, P. R. ; CONTE, M. L. 1985. Reparticao da agua de chuva en cobertura vegetal com características típicas de cerradao. In *Simposio Brasileiro de Hidrología e Recursos Hídricos, y Simposio Internacional de Recursos Hídricos em Regioes Metropolitanas (6, Sao Paulo, 1985) Anais Sao Paulo, Associacao Brasileira de Hidrología en Recursos Hídricos*. p. 212 - 220.
- LIEBSCHER, H. J. 1985. The hydrological cycle and the influence exerted upon it by man. *Applied Geography and Development (Alemania)* 26 : 32 - 45.
- LIMA, W. P. ; NICOLIENO, N. 1983. Precipitacao efectiva e interceptacao em floresta de pinheiros tropicais e em reserva de cerradao. *IPEF (Brasil)* No. 24 : 43-46.
- LLOYD, C. R. ; DE, O. ; MARQUES, F. A. 1988. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in amazonian rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology (Holanda)* 42 : 63 - 73.
- LONDOÑO, M. D. 1993. Manejo sostenible de bosques naturales en una finca ganadera : un estudio de caso en San Rafael de Bordón, Baja Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc Turrialba, Costa Rica, CATIE. 206 p.
- LULL, W. W. 1970. Management possibilities for water yield increases. In *Joint FAO/USSR International Symposium on Forest Influences and Watershed Management (1970, Moscow, USSR)*. Proceedings. s. n. t. p. 168 - 178.
- MOLCHANOV, I. H. 1971. Precipitation cycles in various natural zones and in individual forest types. In *Joint FAO/U.S.S.R. International Symposium on Forest Influences and Watershed Management (1970, Moscow)*. s. n. t. p. 28 - 40.
- NAVAR, J. ; BRYAN, R. 1990. Interception loss and rainfall redistribution by three semiarid growing shrubs in northeastern México. *Journal of Hydrology (Holanda)* 15 : 51 - 63.

- NEAL, C. ; ROBSON, A. J. ; BHARDWA C. L. ; CONWAY, T. ; JEFFERY, H. A. ; NEAL, M. ; RYLAND, G. P. ; SMITH, C. J. ; WALLS, J. ; 1993. Relationships between precipitation, stemflow and throughfall for a lowland beech plantation, Black Wood, Hampshire, southern England: findings on interception at a forest edge and the effects of storm damage. *Journal of Hydrology (Holanda)* 146 : 221 - 233.
- PEDRONI, L. 1991. Conservación y producción forestal: aspectos para su conciliación en el marco de un manejo sostenible. *El Chasqui (Costa Rica)* 27 : 7 - 22.
- QUIROS, D.; REICHE, C. 1994. Análisis financiero de un modelo de manejo sostenible para un bosque natural tropical en Costa Rica. CATIE - COSUDE. Turrialba, Costa Rica. Colección silvicultura y manejo de bosques naturales. Publicación No. (en preparación).
- REICHE, C. 1993. Aspectos económicos del manejo forestal. *In* Curso Intensivo Internacional de Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 22 p.
- ROTHACHER, J. 1963. Net precipitation a Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) Forest. *Forest Science (EE.UU.)* 9 (4) : 423 - 429.
- SAN JOSE, J. J. ; MONTES, R. 1992. Rainfall partitioning by a semideciduous forest grove in the savannas of the Orinoco Llanos, Venezuela. *Journal of Hydrology (Holanda)* 132 : 249 - 262.
- SANTA REGINA, I. 1987. Contribucion al suelo de la dinamica de materia organica y bioelementos en bosques de la Sierra de Bejar. Ph. D Tesis , España, Universidad de Salamanca. 464 p.
- SCATENA, F. N. 1990. Watershed scale rainfall interception on two forested watersheds in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Journal of Hidrology (Holanda)* 113 : 89 - 102.
- SHENG, F. 1995. Real value of nature. Gland, Suiza, W W F. 158 p.
- SOLORZANO, R. ; SEGURA, O. ; TOSSI, J. ; BURGOS, J. C. ; CASTRO, E. ; MAROZZI, M. 1995. Valoración económica del agua. San Jose, Costa Rica, Centro Cientifico Tropical. 20 p.
- SORIANO, F. C. ; SHIMOMICHI, P. Y. 1991. Proyecto manejo de bacías hidrológicas experimentales. Sao Paulo, Laboratorio de Hidrología Florestal Eng. Agr Water Emmerrh. 20 p.

- STADMULLER, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales : medidas para mitigarlo. CATIE. Colección Silvicultura de Manejo de Bosques Naturales. No. 10. 62 p.
- TEKLEHAIMANOT, Z. ; JARVIS, P. G. ; LEDGER, D. C. 1991. Rainfall interception and boundary layer conductance in relation to tree spacing. *Journal of Hydrology (Holanda)* 123 : 261 - 278.
- THORUD, D. 1963. Effects of pruning on rainfall interception in a Minnesota red pine stand. *Forest Science (EE. UU.)* 9 (4) : 452 - 455.
- US. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1995. Global review of resource and environmental policies : water resource development and management. Economic Research Service. Foreign Agriculture Economic Report No 251. 88 p.
- VAN DIEREN, W. 1995. Taking nature into account. A report to the club of Rome. Toward a sustainable national income. New York, Springer-Verlag. 332 p.
- VIVILLE, D. ; BIRON, P ; GRANIER, A. ; DAMBRINE, E. ; PROBST, A. 1993. Intercepcion in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Voges France) *Journal of Hydrology (Holanda)* 144 : 273 - 282.
- VOIGT, G. 1960. Distribution of rainfall under forest stands. *Forest Science (EE.UU)* 6 (1) : 2 - 9.
- WALKER, B. 1980. Effects of stocking rate on perennial tropical legume grass pasture. Ph. D. Thesis. Brisbane, Australia. University of Queensland,
- WALLING, E. E. 1980. Water in the catchment ecosystem in : Water quality in catchment ecosystem. New York, J. Wiley. p 1 - 47.
- ZAMBRANA, H. A. 1975. Comparación de la intercepción de la lluvia en dos tipos de bosques tropicales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R., Programa Universidad de Costa Rica / CATIE. 61 p.

ANEXOS

Cuadro 1A. Categorías de diámetro por parcela, inventario forestal, Villa Mills, Costa Rica.

Tratamiento	Diámetro en centímetros			total
	10 - 29	30 - 69	> 70	
intervención 20%				
Parcela 2	355	57	10	422
Parcela 4	221	76	23	320
Parcela 6	277	89	18	384
Parcela 9	184	56	25	265
promedio	259	70	19	348
intervención 30%				
Parcela 1	308	70	20	383
Parcela 3	188	55	18	256
Parcela 5	223	58	21	302
Parcela 8	176	61	26	263
promedio	224	56	21	301
bosque primario				
Parcela 7	271	82	39	392

Fuente Proyecto CATIE - COSUDE, inventario de parcelas 1994.

Cuadro 2A. Categoría de diámetro de los árboles en estudio, Villa Mills, Costa Rica, 1994.

árboles en estudio	Diámetro en centímetros			total
	10 - 29	30 - 69	> 70	
intervención 20%	7	7	2	16
intervención 30%	2	11	3	16
bosque primario	1	9	6	16

Cuadro 3A. Características físico - químicas de los perfiles de suelo / horizonte en el rodal en estudio, Villa Mills, Cartago, Costa Rica.

Placandept (llano ligeramente inclinado)

Perfil de suelo / horizonte y profundidad (cm).	Arena %	Limo %	Acilla %	PH	Densidad de vol. seco g / cm ³	Volumen de poros	Materia organica	C %	N %	C / N
A1 g 0 - 11	16.8	29.5	53.7	7.3	0.79	67	15.0	9.8	0.5	20
A2 h 11 - 31	76.8	5.2	18.0	10.5	0.71	71	18.3	7.6	0.4	18
B2 t 31 - >130	54.6	7.7	37.7	10.3	0.70	74	6.1	0.9	0.1	11

Fuente Blaser, 1991

PH : Naf 2 min

Estimación : materia orgánica dividida entre 1.64

Volumen de poros : $100 \times (\text{densidad de volumen seco} / \text{densidad de sustancia})$
 igual $2.0 - 27 \text{ g} / \text{m}^3$

Cuadro 4A. Textura y variación del contenido de humedad en los perfiles de suelo

Perfil de suelo / horizonte y profundidad (cm).	Textura	Densidad aparente g / cm ³	Capacidad de campo %	Punto de marchitez permanente %
A1 g 0 - 11	arcilla	0,79	35	17
A2 h 11 - 31	franco arenoso	0,71	14	6
B2 t 31 - >130	arcilla arenoso	0,70	31	15

Cuadro 5A. Conexiones, consumo y consumo promedio según área geográfica y categoría tarifaria, para el año 1995, Costa Rica.

Area geográfica	Distribución geográfica		
	Conexiones 1/	Consumo 2 /	Consumo promedio m ³
Metropolitana	221 056	5 919 014	26,78
Urbana	64 650	1 741 117	26,93
Rural	84 586	2 103 547	23,12

1/ Para el caso del área metropolitana las cifras corresponden a servicios

2/ Los datos de consumo incluyen la estimación de los m³ consumidos por los servicios fijos

Fuente : Acueductos y Alcantarillados (A y A), 1994.

Cuadro 6A. Boleta de registro de las pruebas de infiltración. :

Pruebas de infiltración

Metodo : Cilindros

Fecha : _____ Parcela : _____

Hora : _____

Tiempo min	Repetición								
	I			II			III		
	H	D	IA	H	D	IA	H	D	IA
0									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
15									
20									
25									
30									
35									
40									
50									
60									
70									
80									
90									
100									

Variable	Repetición				Promedio
	I	II	III	IV	
Infiltración basica mm / hr					

*H : Lamina infiltrada (mm)

*D : Diferencias entre laminas con tiempos diferentes (mm)

*IA : Infiltración acumulada (mm)

7A. Programa de SAS para separar el agua que infiltra y escurre.

```
data a;
infile 'a:\intensid\losilla.dat' missover;
input mes dia x1-x13;
array vuelta x1-x13;
med=0;
do over vuelta;
  int=vuelta;
  med=med+1;
  output;
end;
data a;set a;
int2=int-(int*0.2586);
if int2 <= 9.6 then agua='inf';
else agua='esc';
proc sort;by mes dia agua;
proc means sum noprint;by mes dia agua;var int2;
output out=s1 sum=sint2;
proc print;

data inf;set s1;
if agua='inf';
rename sint2=inf;

data esc;set s1;
if agua='esc';
rename sint2=esc;

data une;merge inf esc;by mes dia;
proc print; var mes dia inf esc;

run;
```

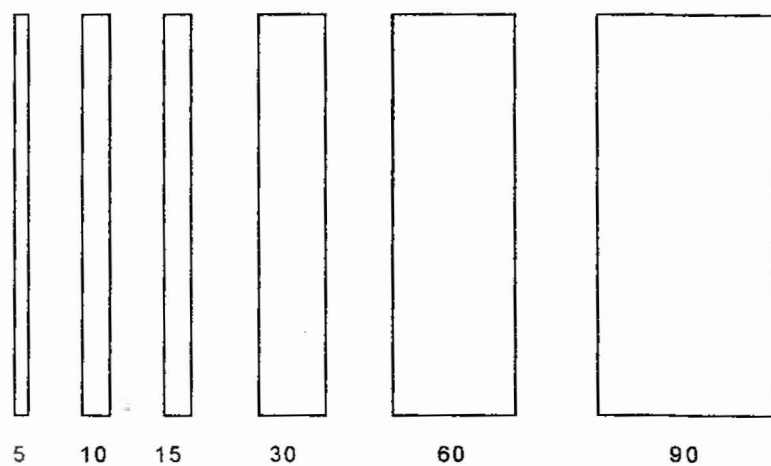


Figura 8A. Plantilla para determinar los tratamientos en diferentes intervalos de tiempo (no estan a escala real).

9A. Flujo de caja del tratamiento 20% de extracción de área basal

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos				
.venta de tucas > 30 cm		27,128,290	27,128,290	27,128,290
.leña		3,760,536	3,760,536	3,760,536
.postes		2,520,760	2,520,760	2,520,760
.venta de agua potable		144,000	144,000	144,000
.venta de energia electrica		1,276,568	1,276,568	1,276,568
.venta de calidad de agua		14,592,240	14,592,240	14,592,240
Total de ingreso		33,553,586	33,553,586	33,553,586
Ingreso actualizado		134,257,766	132,926,043	131,274,708
Costos				
costos de inversión				
..camino forestal	23,185,440			
..pistas de arrastre	1,957,440			
..plan de manejo	5,040,000			
..equipamiento y otros	8,750,000			
costos administrativos				
..personal		4,472,000	4,472,000	4,472,000
..impuestos sobre madera		763,164	763,164	763,164
..papeleria		25,000	25,000	25,000
..repuestos y suministros		450,000	450,000	450,000
..luz, agua y telefono		200,000	200,000	200,000
costo operación				
..extracción de madera				
..costo de tala		707,200	707,200	707,200
..equipo		310,828	310,828	310,828
..arrastre		1,836,000	1,836,000	1,836,000
..mano de obra tecnico		293,080	293,080	293,080
..mano de obra obreros		803,420	803,420	803,420
..producción de leña		2,544,696	2,544,696	2,544,696
..equipo		636,140	636,140	636,140
..producción de postes		687,480	687,480	687,480
Costos totales	38,932,880	13,729,008	13,729,008	13,729,008
Costos actualizados	75,698,934	54,933,799	54,388,902	53,713,231
Flujo neto	-38,932,880	19,824,578	19,824,578	19,824,578

Relación B /C 2.18
 Valor Actual Neto (VAN) 32,573,457.16

10A. Calculo de la venta de agua del tratamiento 20% de extracción de área basal

Tratamiento 20% de extracción de área basal

	Tarifas ¢	300.00	731.00
Costo de convertir aguas negras a aguas de uso agricola ¢		100.00	100.00
Ingreso por venta de agua			
.producción de agua (m ³ /ha)		10,468.00	10,468.00
.se considera que un 50% del agua (m ³ /ha) sale de la cuenca		5,234.00	5,234.00
.hectareas que producen agua		30.00	30.00
.producción de agua total de la cuenca		157,020.00	157,020.00
.consumo mensual por familia (m ³)		23.12	23.12
.consumo anual para 40 familias		11,097.60	11,097.60
.pago mensual en colones (\$1.00 = ¢ 195.00)		300.00	731.00
.valor de m ³ de agua		12.98	31.62
Ingreso por venta de agua (potable) en colones		144,000.00	350,880.00
.excedente de agua		145,922.40	145,922.40
.costo de convertir agua negras a uso agricola		100.00	100.00
.factor de conversión energético		0.94	0.94
.producción de Kwh		137,167.06	137,167.06
venta de energia			
.enero - agosto, valor de Kwh / ¢ 10.10		923,591.51	923,591.51
.setiembre - diciembre, valor de Kwh / ¢ 7.72		352,976.56	352,976.56
Ingreso por venta de energia		1,276,568.07	1,276,568.07
Ingreso por convertir aguas negras a aguas de uso agricola		14,592,240.00	14,592,240.00

Tarifa actual.

VP

x

↳ 145,022.40 x 100

Nota : Para calcular el flujo de caja del tratamiento 20% de extracción de área basal más el componente hidrico incluya el ingreso de venta de agua potable, el ingreso por venta de energia, y el ingreso por convertir aguas negras a uso agricola, como un ingreso más del bosque.

11A. Flujo de caja del tratamiento 30% de extracción de área basal

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos				
..venta de tucas > 30 cm		33017050	33017050	33017050
..leña		3571581	3571581	3571581
..postes		2520760	2520760	2520760
..venta de agua potable		144000.00	144000.00	144000.00
..venta de energia electrica		2160642.14	2160642.14	2160642.14
..venta de calidad de agua		12898740.00	12898740.00	12898740.00
Total de ingreso		52152131.00	52152131.00	52152131.00
Ingreso actualizado		208676014	206606126	204039465
Costos				
costos de inversión				
..camino forestal	23185440			
..pistas de arrastre	1957440			
..plan de manejo	5040000			
..equipamiento y otros	8750000			
costos administrativos				
..personal		4472000	4472000	4472000
..impuestos sobre madera		895927	895927	895927
..papeleria		25000	25000	25000
..repuestos y suministros		450000	450000	450000
..luz, agua y telefono		200000	200000	200000
costo operación				
..extracción de madera				
..costo de tala		1051280	1051280	1051280
..equipo		445298	445298	445298
..arrastre		2142000	2142000	2142000
..mano de obra tecnico		359725	359725	359725
..mano de obra obreros		986000	986000	986000
..producción de leña		2417400	2417400	2417400
..equipo		604350	604350	604350
..producción de postes		687480	687480	687480
Costos totales	38932880	14736460	14736460	14736460
Costos actualizados	78949831	58964910	58380029	57654776
Flujo neto	-38932880	37415671	37415671	37415671

Relación B /C 3.17
 Valor Actual Neto (VAN) 89,337,276.95

12A. Calculo de la venta de agua del tratamiento 30% de extracción de área basal

Tratamiento 30% de extracción de área basal

Tarifas ¢	300.00	731.00
Costo de convertir aguas negras a aguas de uso agricola ¢	100.00	100.00

Ingreso por venta de agua

.producción de agua (m ³ /ha)	9339.00	9339.00
.se considera que un 50% del agua (m ³ /ha) sale de la cuenca	4669.50	4669.50
.hectareas que producen agua	30.00	30.00
.producción de agua total de la cuenca	140085.00	140085.00
.consumo mensual por familia (m ³)	23.12	23.12
.consumo de 40 familias (m ³) / año	11097.60	11097.60
.pago mensual en colones (\$1.00 = ¢ 195.00)	300.00	731.00
.valor de m ³ de agua	12.98	31.62
Ingreso por venta de agua (potable) en colones	144000.00	350880.00
.excedente de agua	128987.40	128987.40
.costo de convertir agua negras a uso agricola	100.00	100.00
.factor de conversión energético	0.94	0.94
.producción de Kwh	121248.16	121248.16
.venta de energia		
.enero - agosto, valor de Kwh / ¢ 10.10	1224606.38	1224606.38
.setiembre - diciembre, valor de Kwh / ¢ 7.72	936035.76	936035.76
Ingreso por venta de energia	2160642.14	2160642.14
Ingreso por convertir aguas negras a aguas de uso agricola	12898740.00	12898740.00

Nota : Para calcular el flujo de caja del tratamiento 30% de extracción de área basal más el componente hidrico incluya el ingreso de venta de agua potable, el ingreso por venta de energia, y el ingreso por convertir aguas negras a uso agricola, como un ingreso más del bosque.