CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
AREA DE POSTGRADO

EVALUACION AUTOMATIZADA DE TIERRAS CON FINES DE PRODUCCION FORESTAL Y CONSERVACION HIDROLOGICA. ESTUDIO DE CASO MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, BAJA VERAPAZ, GUATEMALA.

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

Magister Scientiae

Por

Ogden Antonio Rodas Camas

CATIE
Turrialba, Costa Rica
1996

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

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:

Sergio Velasquez M., M.Sc.
Profesor Consejero

José Arze Borda., M.Sc.
Miembro Comité Asesor

Francisco Jiménez, Ph.D.
Miembro Comité Asesor

Jorge Faustino, Ph.D.
Miembro Comité Asesor

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

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

Ogden Antonio Rodas Camas
Candidato

AGRADECIMIENTOS

Sergio Velázquez, MSc., profesor consejero, su apoyo, orientación y conocimientos transmitidos y su amistad y estímulo brindado en todo momento.

José Arze Borda, Msc., miembro del comité, por su valiosa orientación, consejos y su invaluable calidad humana.

Francisco Jiménez, PhD., miembro del comité por el apoyo, conocimiento y amistada brindada.

Jorge Faustino, PhD., miembro del comité, por sus oportunos y valiosos consejos.

William Vázquez, Msc., por su valiosa y desinteresada orientación como experto forestal.

Juan Ernesto Celada, M.Sc., asesor local, por su apoyo y orientación en la etapa de campo.

A la Fundación Defensores de la Naturaleza y el Proyecto MICUENCA-CARE/DIGEBOS y Programa para Las Verapaces, PLV, por el apoyo logístico brindado durante la etapa de campo.

A todos los expertos que forma desinteresada proporcionaron sus conocimientos para la realización del presente trabajo.

Al programa de becas de Holanda por el financiamiento de la beca de postgrado.

A todo el personal de la Biblioteca Orton por su apoyo y asistencia en todo momento.

A Alexander Salas, técnico del Laboratorio de SIG de CATIE, por su colaboración en todo momento.

A todas aquellas personas que colaboraron con el autor del presente trabajo para llevarlo a feliz término.

DEDICATORIA

" Sabiduría tan admirable está fuera de mi alcance; ¡es tan alta que no alcanzo a comprenderla!"

Salmo 139:6

A DIOS, ser supremo que con su infinita gracia fortalece mi espíritu y alumbra mi entendimiento.

A Yoly, mi esposa que con amor alienta mi trabajo, y a nuestras hijas Alejandra Izabel Sarahí y Mónica del Carmen, que con su existencia y compañía dan sentido a mi trabajo, el logro de esta metas es para Ustedes.

A mi padre Miguel Angel por su aliento y a mi madre Rosita Isabel quien con todo amor ha sabido comprender y soportar nuestra separación temporal.

A mis hermanos, Victor, Alba, Esperanza y Pricila, sobrinos, y familiares en general, por su aliento en todo momento

A mis compañeros de promoción y familiares, por su invaluable amistad, especialmente a: Adelso Revolorio, Jorge Ramos, Arnulfo Díaz, Pedro Pineda, Carlos Villalta, Amael Jiménez, María Mendoza, Raúl Maas, Ricardo Morataya, Julio López, Jhonny Méndez Leslie Salgado y Lorena Tortós.

A las familias Velázquez Vázquez y Aguilar Brenes, por su amistad brindada.

BIOGRAFIA

El autor nació en La Reforma, San Marcos, Guatemala, en 1961.

Obtuvo el título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala en 1988.

En 1988 laboró como Asesor del Programa Agrícola y Forestal del Proyecto CACTUS 3066, Christian Children's Found Inc, en Jalapa, Guatemala.

Fue designado como Coordinador de la Sección de Parques Nacionales de la Dirección General de Bosques y Vida Silvestre, entre 1989 y 1992.

Ha laborado en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, como asistente de docencia e investigación y profesor horario en las sub-áreas de Ingeniería Agrícola y Manejo de Suelo y Agua.

De 1993 a 1994 tuvo el cargo de Coordinador Contraparte de la Dirección General de Bosques y Vida Silvestre para el Componente de Microcuencas del Proyecto de Desarrollo Agrícola, COMPDA y, el Proyecto de Manejo Integrado de Cuencas, MICUENCA-DIGEBOS/DIGESA/CARE/CUERPO DE PAZ.

Se ha desempeñado como consultor individual y asociado en disciplinas asociadas a ciencias de la tierra y en la formulación de documentos de proyecto de conservación de recursos naturales renovables.

En 1995, con apoyo becario de Holanda, ingresó al Programa de Manejo Integrado de Recursos Naturales, con énfasis en Manejo de Cuencas Hidrográficas, donde obtuvo el grado de Magister Scientiae en diciembre de 1996.

RODAS CAMAS, O.A. 1996. Evaluación automatizada de tierras con fines de producción forestal y conservación hidrológica. Estudio de caso microcuenca del Río Chilascó, Baja Verapaz, Guatemala.

Palabras claves: evaluación de tierras, aptitud física, aptitud económica, sistemas expertos, modelos de evaluación, *Pinus maximinoi*, *Cupressus lusitanica*, bosque de coníferas, bosque nuboso, microcuenca, Río Chilascó, ALES, SIG.

RESUMEN

El presente trabajo de evaluación de tierras se realizó en la microcuenca del Río Chilascó, Baja Verapaz, Guatemala, hacia el oeste de la reserva de biosfera Sierra de Las Minas, con el propósito de orientar acciones de restauración hidrológico-forestal. Se desarrollaron modelos de evaluación de la aptitud física y económica de las tierras de la microcuenca para tres usos forestales productivos y un uso de conservación: a) plantaciones de *P. maximinoi* con incentivos fiscales; b) plantaciones comunitarias de *C. lusitanica*; c) bosques comunitarios de coníferas y; d) bosque nuboso productor de agua. Se utilizó el esquema de evaluación de tierras de la FAO (FAO 1976, 1985, 1994), asistido con el sistema automatizado de evaluación de tierras, ALES (Rossiter *et al.* 1993), el cual permitió construir un sistema experto con cuatro modelos de evaluación, uno para cada tipo de uso seleccionado.

Se confrontaron áreas de tierra, denominadas *unidades de tierra, (UT),* con los usos de la tierra, denominados *tipos de uso de la tierra (TUT),* para así determinar la aptitud relativa de cada área para cada uso específico. Con criterios fisiográfico-edafológicos y de cobertura vegetal, se identificaron 17 unidades de mapeo (UT). Con los requisitos de uso de la tierra de cada tipo de uso, y las características de las unidades de tierra diferenciadas, se realizó un proceso de armonización a través del cual, el sistema experto permitió determinar la aptitud física y económica de estas últimas.

La evaluación fue asistida con procesos de sistemas de información geográfica, SIG, lo cual permitió, entre otras cosas, determinar algunas características de las unidades de tierra, georeferenciar los resultados y generar mapas temáticos como los rendimientos proporcionales de los productos en cada TUT. La aptitud física fue definida en cuatro clases, sumamente apta,

moderadamente apta, marginalmente apta y no apta. Para la evaluación económica, se utilizaron los indicadores valor presente neto, VPN, relación beneficio costo, B/C y margen bruto.

Los resultados de la evaluación indican que la microcuenca presenta en un 99% de sus tierras, aptitud física para el bosque nuboso productor de agua, 51% de las cuales son sumamente aptas y se ubican en la zona de recarga. La aptitud económica bajo este uso resultó ser, aunque inferior a la mejor, estable en todas las unidades de tierra, con alrededor de Q 600.0/ha-año[1]. Para los usos forestales productivos, las tierras presentan una mayor aptitud hacia plantaciones comunitarias de *C. lusitanica*, siendo un 42% de las mismas moderada a marginalmente aptas. Por aptitud económica, bajo este uso se presenta el mayor margen bruto, en alrededor de Q900.0/ha-año. Para plantaciones con *P. maximinoi*, bajo incentivos fiscales, un 29% de las tierras tienen aptitud moderada a marginal y, para bosques comunitarios, la aptitud física es insignificante en términos de la superficie existente con este uso dentro de la microcuenca.

No siempre existió correspondencia entre aptitud física y económica, excepto en el TUT, bosque nuboso. Las características con mayor peso en la calificación de aptitud física son aquellas relacionadas a requisitos de manejo y conservación de los tipos de uso, sobresaliendo la disponibilidad de tierra, accesibilidad y pendiente promedio. En términos de condición hidrológica, la mayoría de tierras califican como clase óptima', solamente un 6% presentan una condición hidrológica 'moderada' a 'mala', calificándose como las de mayor urgencia relativa de acciones de restauración hidrológico-forestal.

[1] 1US$ equivalente a Q6,0 (seis quetzales)

RODAS CAMAS, O.A. 1996. Automated land evaluation with forest production and hydrologic conservation purposes. Chilasco's River Watershed, Baja Verapaz Guatemala Case Study.

Key Words: land evaluation, biophysical aptitude, economic aptitude, expert systems, evaluation models, *Pinus maximinoi, Cupressus lusitanica,* coniferous forest, cloudy forest, Rio Chilascó Watershed, Guatemala, Automated Land Evaluation System (ALES), Geographical Information Systems (SIG).

SUMMARY

A land evaluation was performed in the Chilascó River Watershed in Baja Verapaz, Guatemala, located to the west of the Sierra de Las Minas Biosphere Reserve with the objective to delineate actions aimed to forest-hydrologic restoration. Biophysical and economic aptitudes of the watershed lands were developed for three forest and one conservation productive uses: a) *P. maximinoi* plantation with revenue incentives; b) *C. lusitanica* under community administration; c) coniferous forests under community administration and; d) cloud forest as water producer. The FAO's (FAO 1976, 1985, 1994) land evaluation scheme besides an Automated Land Evaluation System, ALES (Rossiter et al. 1993) was used to build an expert system with four models, one for each selected use.

Seventeen Land Units were confronted against the Land Use Types to determine the relative aptitude of each area under an specific land use. The Land Units were identified through soils and physiographical criteria as well as vegetation cover. A process of harmonization was performed using the land use requirements for each Land Use Type, in which, the expert system allowed to determine the biophysical and economic aptitude for each Land Unit.

A Geographical Information System was used as a tool to determine some of the land units characteristics, which allowed to make spatial analysis and display the results through thematic maps of the proportional yields for each Land Use Type. The biophysical aptitude was defined by four classes: extremely suitable, moderately suitable, marginally suitable and unsuitable. The Net Present Value, Benefit-Cost Ratio and Gross Margin were used for the

economic evaluation.

The results showed that 99% of the lands are suitable for cloud forest as a water producer, 51% of them are extremely suitable and are located in the aquifers recharge zone. The economic aptitude under this use was stable in all the land units, although a little inferior to the best one, with an income of Q 600.0/hectare/year[2]. For the forest production uses, the land is more suitable for *C. lusitanica* under community administration, with 42% of the land ranging from moderately suitable to marginally suitable. This use showed the higher gross margin with Q900/hectare/year. For *P. maximinoi* under revenue incentives, the results showed that 29% of the lands have aptitudes ranging from moderate suitability to marginal suitability. Finally, there is an insignificant land area suitable for coniferous community forests, mainly because of the land tenure requirement for such use.

The more significant land characteristics for the qualification of physical aptitude were the land availability, accesibility and slope. In terms of hydrologic condition, most of the lands were extremely suitable and just 6% of the land has a range of moderate to bad hydrologic condition. Those areas were identified as the ones with more relative urgency for restoration actions.

[2] 1 US$ = Q 6 (Quetzales)

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCION **1**

II. OBJETIVOS **4**

2.1 GENERAL 4
2.2 ESPECÍFICOS 4

III. HIPOTESIS **5**

IV. REVISION DE LITERATURA **6**

4.1 QUÉ SE ENTIENDE POR EVALUACIÓN DE TIERRAS? 6
4.2 UTILIDAD DE LA EVALUACIÓN DE TIERRAS 7
4.3 CLASIFICACIÓN DE LA APTITUD DE LA TIERRA 8
4.4 PROCESO DE EVALUACIÓN DE TIERRAS 9
4.5 EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE TIERRAS CON FINES FORESTALES 9
4.6 EL RECURSO SUELO Y SU PARTICIPACIÓN EN EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE TIERRAS 13
4.6.1 Complejo hidrológico suelo-cobertura *14*
4.7 SISTEMAS EXPERTOS Y SU UTILIZACIÓN EN EVALUACIÓN DE TIERRAS 15
4.8 EL SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EVALUACIÓN DE TIERRAS (ALES) Y ANTECEDENTES DE SU APLICACIÓN EN LATINOAMÉRICA 17
4.9 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y SU APLICACIÓN A LA EVALUACIÓN DE TIERRAS 18
4.10 ANTECEDENTES DE LAS ACCIONES DE PROTECCIÓN Y RESTAURACIÓN HIDROLÓGICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CHILASCÓ 19
4.11 TIPOS DE USO DE LA TIERRA Y SUS REQUERIMIENTOS 21
4.11.1 Distribución y requerimientos de Pinus maximinoi H.E. *21*
4.11.2 Distribución y requerimientos de Cupressus lusitanica Mill. *23*
4.11.3 Bosque Nuboso *25*

V. MATERIALES Y METODOS **29**

5.1 LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO 29
5.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 31
5.3 MATERIALES 31
5.4 PROCEDIMIENTO GENERAL 33
5.5 PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO DE LA EVALUACIÓN 34
5.5.1 Etapa preliminar *34*
5.5.2 Identificación y selección de Tipos de Usos de la Tierra *35*
5.5.2.1 Plantaciones de *Pinus maximinoi* H.E. Moore; con fines de aserrío, bajo incentivos fiscales 37
5.5.2.2 Plantaciones de *Cupressus lusitanica;* con fines de aserrío, bajo administración comunitaria 39
5.5.2.3 Manejo de bosques naturales comunitarios de *P. maximinoi,* bajo el modelo PROCAFOR 42
5.5.2.4 Conservación del bosque nuboso como productor de agua 47

5.5.3 Identificación y Consulta a Expertos *50*
5.5.4 Identificación y selección de requisitos de uso de la Tierra (RUT) *50*
5.5.4.1 Requisitos de crecimiento 52
5.5.4.2 Requisitos de manejo 57
5.5.4.3 Requisitos de conservación 58

5.5.5 Definición de Unidades de mapeo e inventario de características de la Tierra *59*
5.5.5.1 Criterios para la homogenización de las unidades de mapeo 59
5.5.5.2 Levantamiento de características y cualidades de la tierra 62
5.5.5.2.1 Determinación de características con información limitada 68

5.5.6 Evaluación de la aptitud de la tierra *92*
5.5.6.1 Construcción de los modelos de evaluación 92
5.5.6.2 Procedimientos de decisión en ALES 93
5.5.6.2.1 Evaluación física 93
5.5.6.2.2 Evaluación económica 95

5.5.7 Espacialización de los resultados de la evaluación *97*
5.5.7.1 Georeferenciación de las características de la tierra y de los resultados de la evaluación 97
5.5.7.2 Zonificación de las necesidades de conservación de la condición hidrológica 98

VI. RESULTADOS Y DISCUSION 100

6.1 UNIDADES DE MAPEO 100
6.1.1 Mapa de suelos *100*
6.1.2 Mapa de uso de la tierra *102*
6.1.3 Modelo de elevación digital y mapa de pendientes *103*
6.1.4 Mapa base de la evaluación *104*
6.1.5 Características de las uidades de tierra *106*
6.2 EL SISTEMA EXPERTO 110
6.3 RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES 113
6.3.1 Plantaciones forestales de Pinus maximinoi H.E. Moore; con fines de aserrío bajo incentivos fiscales *115*
6.3.2 Plantaciones forestales de Cupressus lusitanica; con fines de aserrío, bajo administración comunitaria *120*
6.3.3 Manejo de bosques naturales comunitarios de P. maximinoi; bajo el modelo centroamericano propuesto por PROCAFOR *124*
6.3.4 Conservación del Bosque nuboso como productor de agua *129*
6.3.5 Resultados de evaluación física y económica entre todos los TUTs y Unidades de Tierra *134*
6.4 VALIDEZ DE LOS RESULTAODS DE LAS EVALUACIONES 140
6.5 ESPACIALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN 142
6.5.1 Generación de Mapas de Aptitud y de Características de la Tierra *142*
6.5.2 Generación de Mapas de Necesidades de Restauración Hidrológico-Forestal *142*

VII. CONCLUSIONES 144

VIII. RECOMENDACIONES 147

IX. BIBLIOGRAFIA 149

X. EXPERTOSCONSULTADOS 162

ANEXOS

1. Conceptos básicos de evaluación de tierras 164
2. Clasificación hidrológica de los suelos 165
3. Procedimiento general de evaluación de tierras (FAO 1976, 1985) 166
4. Formato para especificación de los usos de la tierra 167
5. Guía para orientar la calificación de requisitos de uso de la tierra (Consulta a expertos) 171
6. Resultados de laboratorio de análisis a muestras de suelos 176
7. Esquema para elaborar el mapa base con procedimientos de SIG y conexión con ALES 179
8. Referencias de estudios de precipitación horizontal 180
9. Balance hídrico para tres unidades de tierra 181
10. Tablas de rendimiento para pino, ciprés, observaciones de referencia y gráfico edad-hmed modelo Hughell y Chávez (1990) 183
11. Mapa de Suelos (Taxonomía de Suelos) 193
12. Mapa de uso de la tierra (fotografía de 1995 con chequeo de campo en 1996) 194
13. Características de las unidades de tierra 195
14. Mapas de aptitud física, rendimiento de agua en m3/ha y necesidades de restauración hidrológico-forestal 199

ILUSTRACIONES

1. Evaluación de tierras según FAO, 1976 6

2. Reclasificaciones de los mapas de uso, pendientes y caminos, para estimar una superficie de fricción, evaluación de tierras, Mic. Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996 73

TABLAS

1. Rendimientos estimados, turno de corta e incrementos para *P. maximinoi* en la región de Las Verapaces, Guatemala (consulta a expertos, 1996) 87

LISTA DE CUADROS

No.		No. de Pag.
1.	Estructura de la clasificación de la FA0 sobre aptitud de la tierra (1976,1985,1994)	10
2.	Requisitos de uso de la tierra para *Pinus maximinoi* H.E. Moore en plantaciones con fines de aserrío, bajo incentivos fiscales. Evaluación de tierras, microcuenca del Río Chilascó, Guatemala, 1996	53
3.	Requisitos de uso de la tierra para *Cupressus lusitanica* Mill. en plantaciones con fines de aserrío, bajo administración comunitaria. Evaluación de tierras, microcuenca del Río Chilascó, Guatemala, 1996	54
4.	Requisitos de uso de la tierra para Manejo de bosques naturales de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, con fines de aserrío y bajo administración comunitaria. Modelo PROCAFOR-DIGEBOS. Evaluación de tierras, microcuenca del Río Chilascó, Guatemala, 1996	55
5.	Requisitos de uso de la tierra para Conservación del Bosque Nuboso como Productor de Agua. Evaluación de tierras, microcuenca del Río Chilascó, Guatemala, 1996	56
6.	Listado de requisitos de uso de la tierra, características que los definen y fuente de determinación. Evaluación de tierras microcuenca del Río Chilascó, Guatemala, 1996	69
7.	Leyenda fisiográfica-edafológica de la microcuenca del Río Chilascó, Baja Verapaz, Guatemala.1996. (Evaluación de tierras)	101
8.	Unidades de Tierra, nombre, área y códigos en ALES e IDRISI. microcuenca del Río Chilascó, Guatemala, 1996	106
9.	Resultado de la evaluación del TUT *P. maximinoi*, plantaciones bajo incentivos fiscales, microcuenca Río Chilascó, Guatemala, 1996	116

10. Resumen de Subclases de aptitud física y rendimiento proporcional para *P. maximinoi*. Microcuenca Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996..... 117

11. Resultado de la evaluación del TUT *Cupressus lusitanica*, en plantaciones comunitarias, microcuenca R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996..... 121

12. Resumen de Subclases de aptitud física para *C. lusitanica* y rendimientos proporcionales..... 122

13. Resultado de la evaluación de aptitud física para bosques comunitarios de coníferas, microcuenca R. Chilascó, Guatemala, B.V., 1996..... 125

14. Importancia relativa de las subclases de aptitud física para bosques comunitarios de coníferas, microcuenca R. Chilasco, B.V., Guatemala, 1996..... 126

15. Resultados de aptitud física del TUT bosque nuboso productor de agua, microcuenca R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996..... 130

16. Resumen de subclase de aptitud física TUT bosque nuboso y rendimiento proporcional de agua. Mic. R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996..... 131

17. Usos del agua y valoración con base en precios de mercado disponibles. Microcuenca Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996..... 133

18. Clases de aptitud física y económica en todas la UT y TUTs considerados, microcuenca R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996..... 135

19. Aptitud física absoluta de las UT a usos forestales productivos y de conservación. Mic. R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996..... 139

20. Necesidades de restauración hidrológico-forestal en función de la condición hidrológica de las tierras de la microcuenca R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996..... 143

21. Listado de expertos consultados en los diferentes usos de la tierra. Evaluación de tierras, Mic. R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996..... 162

LISTA DE FIGURAS

No.	Descripción	Pag.
1.	Localización del área de estudio	30
2.	Uso de la tierra, microcuenca del Río Chilascó, Guatemala, 1996	102
3.	Distribución de pendientes, microcuenca del Río Chilascó	104
4.	Rendimiento proporcional en *P. maximinoi*/clase de sitio	119
5.	Subclases de aptitud para *C. lusitanica*, Mic. Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996	122
6.	Rendimiento en *C. lusitanica*, potencial de sitio 'medio'	123
7.	Distribución del rendimiento en bosque natural de *Pinus*	128
8.	Distribución del ingreso en bosque natural de coníferas, durante el horizonte de planificación	128
9.	Rendimiento de agua (m^3/ha), en el bosque nuboso	131
10.	Distribución (%) de usos del agua e ingresos generados en cada uso	134
11.	Margen bruto en todas las unidades de tierra y todos los usos de la tierra	138
12.	Aptitud relativa de las tierras de la microcuenca para todos los tipos de uso	140

I. INTRODUCCION

La tierra es un recurso limitado y no renovable y el crecimiento de la población humana determina la existencia de conflictos en torno a su aprovechamiento. La demanda de terrenos para cultivo, pastos, silvicultura, fauna y flora silvestres, turismo y desarrollo urbano es superior a los recursos disponibles. Esta demanda se hace más apremiante cada año en los países en desarrollo (FAO 1994).

Es cada vez más urgente armonizar los diversos tipos de tierras con el aprovechamiento más racional posible, a fin de optimizar la producción sostenible y satisfacer las diversas necesidades de la sociedad, conservando, al mismo tiempo, los ecosistemas frágiles y la herencia genética.

Esta armonización de tipos de tierras con tipos de usos es posible con la planificación del uso, partiendo de la evaluación sistemática del potencial de la tierra y del agua, de las alternativas de su aprovechamiento, y de las condiciones económicas y sociales que orientan la selección y adopción de las mejores opciones (FAO 1985, 1994).

La evaluación de la aptitud de la tierra, normalmente proporciona información sobre las formas potenciales de uso para zonas de tierra, incluidas las consecuencias beneficiosas o adversas de cada una, constituyendo así un proceso esencial en la planificación del uso, ya sea a nivel regional o a nivel de finca (Ritchers 1995).

En Guatemala, territorio de 108,889 km^2, la Reserva de Biosfera Sierra de Las Minas, RBSM, constituye una región relevante en términos biofísicos y socioeconómicos al albergar con su influencia ambiental a un complejo sistema demográfico de 200 pueblos y caseríos, 90 fincas, 24 cooperativas en cinco departamentos del norte y oriente de la república. Adicionalmente origina un sistema hidrológico que sustenta un sinnúmero de actividades socioproductivas que dependen del recurso hídrico (Quezada 1994).

En la actualidad, la serie de interrelaciones biofísicas y socioeconómicas presentadas en la RBSM, producto del aprovechamiento de la tierra, determinan una serie de problemas tales como: pérdida de biodiversidad, deterioro de condiciones hidrológicas, avance de frontera agrícola, inexistencia de alternativas de producción, problemas energéticos, deterioro de suelos, deterioro de recursos forestales y otros (Nuñez 1993; Quezada 1994).

En diferentes zonas de la RBSM se promueve la restauración y protección hidrológica, a través de acciones de mejoramiento en los sistemas tradicionales de uso de la tierra, promoción de la forestería comunitaria y del manejo de bosques naturales, desarrollo y recuperación forestal vía plantaciones y protección de fuentes de agua. Por otro lado también se realizan acciones de tipo legal-restrictivo y de carácter educativo.

Las mayoría de acciones de restauración y protección hidrológica en la RBSM, dirigidas al mejoramiento de los sistemas de uso de la tierra, carecen de un procedimiento lógico y ordenado que fundamente la difusión de usos forestales ó agroforestales que no solo satisfagan necesidades alimentarias y energéticas, sino que sean económicamente rentables y conserven el ambiente. Adicionalmente, se carece de instrumentos que permitan evaluar bajo que condiciones ambientales los usos alternativos propuestos tienen una mejor respuesta en términos biofísicos y económicos.

La presente tesis plantea la conveniencia de un proceso de evaluación de tierras como estrategia para contribuir al mejoramiento de la producción forestal y/o agroforestal sostenible en la RBSM y con ello contribuir al desarrollo de los pobladores dependientes de éste complejo biofísico. La unidad de análisis es la cuenca hidrográfica, para lo cual se seleccionó como área de estudio la microcuenca del Río Chilascó en el departamento de Baja Verapaz.

El proceso de evaluación se basa en el esquema propuesto por la FAO (FAO, 1976, 1985, 1994) y contempla el desarrollo de modelos de evaluación asistido por computador, para lo cual se utilizó el Sistema Automatizado de Evaluación de Tierras, ALES, asistido con procedimientos de Sistemas de Información Geográfica, SIG.

La presente investigación es de utilidad práctica al utilizar un marco lógico que permite el desarrollo de modelos de evaluación de la aptitud de la tierra, la automatización del proceso, la posibilidad de monitorear cambios de aptitud de la tierra, la posibilidad de evaluar las tierras frente a otros usos (actuales o futuros), posibilidad de mejorar los modelos, y la versatilidad para espacializar en una base cartográfica los resultados del proceso.

Este proceso contribuirá a orientar la planificación del uso de la tierra en la cuenca y en otras dentro del complejo hidrológico de la Reserva de Biosfera Sierra de Las Minas y, posiblemente en otras regiones del país.

II. OBJETIVOS

2.1 General

Desarrollar modelos de evaluación de tierras a nivel de cuenca, con fines productivos y de protección hidrológica, tomando la microcuenca del Río Chilascó en la Reserva de Biosfera Sierra de Las Minas, Guatemala, como estudio de caso.

2.2 Específicos

Identificar tipos de uso de la tierra forestales, actuales o alternativos, e identificar sus requerimientos, insumos y productos.

Identificar unidades de tierra homogéneas e inventariar sus características.

Construir y comparar modelos de evaluación de tierras para tipos de uso forestal, actuales o alternativos, para la microcuenca Chilascó.

Identificar espacialmente la aptitud de las tierras de la microcuenca Chilascó para usos forestales, enfatizando en necesidades de conservación de la condición hidrológica.

III. HIPOTESIS

Los conocimientos actuales sobre usos forestales y su distribución espacial en la microcuenca Chilascó, permiten identificar sus requerimientos e insumos.

Las características de la tierra permiten separar y homogenizar unidades de mapeo con fines de evaluación de tierras.

El esquema de evaluación de tierras de FAO y el ALES, permiten construir modelos para determinar la aptitud de tierras con fines forestales.

Es factible espacializar la aptitud de las tierras de la microcuenca Chilascó hacia usos forestales productivos y definir necesidades relativas de restauración hidrológico-forestal.

IV. REVISION DE LITERATURA.

La planificación del uso de la tierra consiste en la evaluación sistemática del potencial de la tierra y del agua, de las alternativas de su aprovechamiento, y de las conditions económicas y sociales que orientan la selección y adopción de las mejores opciones. Este proceso de planificación involucra varias etapas, una de ellas, quizá la más importante, lo constituye la evaluación de la aptitud de las tierras (FAO 1994).

4.1 Qué se entiende por evaluación de tierras?.

La evaluación de tierras es la actividad que describe e interpreta aspectos del clima, vegetación, suelos y otros aspectos biofísicos y socioeconómicos con el objeto de identificar usos de la tierra y compararlos en cuanto al rendimiento estimado de su aplicación sostenida

Ilustración 1. Evaluación de tierras según FAO, 1976

El resultado de una evaluación normalmente proporciona información sobre dos o más formas potenciales de uso para zonas de tierra, incluidas las consecuencias beneficiosas o adversas de cada una (Ritchers 1989, 1995).

Un principio fundamental considerado por éste esquema es que, ***la aptitud de la tierra se define con respecto a tipos de uso específico***. Se hace una comparación entre la oferta de recursos biofísico y socioeconómicos de la tierra con la demanda de los mismos por diferentes usos alternativos (Bennema *et al* 1981).

En un estudio de evaluación se confrontan áreas de tierra, denominadas *unidades cartográficas*, con usos de la tierra, denominados *tipos de utilización de la tierra*, determinando así

la aptitud relativa de cada área para cada uso específico (FAO 1976, 1985, 1994; Rossiter *et al.* 1993; Young 1993).

La evaluación de tierras tiene su origen en las ciencias del suelo; sin embargo, ha evolucionado a un enfoque holístico, es decir, considerando todos los factores del ambiente, en especial al hombre como parte del mismo. Es conveniente distinguir entre evaluación y clasificación de tierras; las clasificaciones tienen vigencia temporal limitada, son relativamente estáticas y su propósito es, ordenar por clases o categorías. La evaluación de tierras por el contrario asigna y calcula valores a la tierra dentro de una connotación de aptitud física y económica (Celada 1993; Ritchers 1995). El anexo 1 presenta algunos conceptos básicos del esquema de evaluación de tierras según FAO (1976; 1985).

4.2 Utilidad de la evaluación de tierras

En términos prácticos, la utilidad de éste esquema puede determinarse en función de los resultados que brinda.

Dos preguntas generales son resueltas: 1) cuál es el mejor uso para una unidad de tierra? y 2) dónde se encuentra la mejor área para un determinado tipo de uso, ya sea forestal para aserrío, forestal para leña, forestal para producción de agua, forestal para protección de biodiversidad, agroforestal o agrícola (FAO 1976).

Este sistema permite la evaluación de tierras de uso forestal, tierras para conservación, tierras para fines ecoturísticos, tierras para agricultura y otros sistemas de producción, sobre la cual se hacen algunas consideraciones relevantes:

- Puede estar referida al rendimiento actual de las mismas; supone cambios, efectos del cambio; considera la economía de las empresas propuestas, consecuencias sociales y ambientales.

- Debe responder a las interrogantes:

  ¿ Cómo se manejan actualmente las tierras ?
  ¿ Cuáles mejoras podrían introducirse ?
  ¿ Qué otros usos son físicamente, económica y socialmente posibles ?
  ¿ Qué factores negativos están asociados a cada uso ?
  ¿ Qué insumos recurrentes son necesarios para alcanzar la producción deseada y reducir los efectos adversos ?
  ¿ Cuáles son los beneficios de cada forma de uso ?

- El proceso de la evaluación facilita datos para tomar decisiones y, como resultado, da información necesaria sobre dos o más formas de uso para cada zona de tierra.

- La evaluación es parte de la planificación del uso de la tierra.

4.3 Clasificación de la aptitud de la tierra.

El proceso de clasificación de la aptitud de la tierra es la evaluación y agrupación de áreas de tierra en términos de su aptitud para usos definidos. El cuadro 1, muestra la clasificación de la aptitud de la tierra de acuerdo a la normalización realizada por la FAO (FAO 1976).

4.4 Proceso de evaluación de tierras.

En forma simplificada, FA0 (1994), señala que el proceso de evaluación de tierras, consiste en una comparación entre los requerimientos de determinado tipo de uso y las cualidades ofrecidas por la tierra . En estudios extensos o complejos, que abarcan muchas unidades de tierra, la evaluación de la tierra puede verse asistida por la utilización de sistemas computarizados, tal el caso del Automated Land Evaluation System, ALES (Rossiter, D.; Van Wambeke, 1989; 1993), y, por *sistemas de información geográfica*, con la finalidad de georeferenciar los resultados.

En el contexto de la evaluación de las tierras es necesario contar con información mínima necesaria, la cual puede ser obtenida de oficinas de desarrollo, agencias, centros de investigación; de manera que sea factible planear o recomendar la vía racional y equitativa del uso de la tierra mediante técnicas de planeamiento, primeramente para desarrollo agrícola o forestal (Rossiter, 1989).

4.5 Evaluación y clasificación de tierras con fines forestales

La evaluación de aptitud de tierras con fines forestales considera inicialmente las siguientes características que poseen los usos forestales: a) largo plazo, entre la plantación y la cosecha; b) funciones múltiples, las tierras forestales usualmente tienen muchos usos y valores aún y cuando se identifiquen un reducido número de productos (maderables, no maderables, servicios); c) niveles diferentes de intensidades de manejo, desde áreas silvestres no manejadas, con vegetación más o menos natural, hasta plantaciones intensamente manejadas; d) el papel de la conservación, función casi siempre presente en el manejo forestal aún y cuando el objetivo primario sea la producción de madera; y e) la necesidad de planificar en el tiempo y el espacio, de tal forma que permita mantener un flujo más o menos sostenible de producción (FAO 1985).

Cuadro 1. Estructura de la clasificación de la FA0 sobre aptitud de la tierra (1976, 1985, 1994).

No.	CLASE	DESCRIPCION
1	**A1** Sumamente apta	Tierras que no tienen limitaciones de importancia para una aplicación sostenida de un uso determinado, o que sólo tienen limitaciones de menor grado que no reducirán significativamente la productividad o los beneficios ni harán elevar los insumos por encima del nivel aceptable.
2	**A2** Moderadamente apta	Tierras con limitaciones que en conjunto son moderadamente graves para la aplicación sostenida de un uso determinado; las limitaciones pueden reducir la productividad o los beneficios y aumentar los insumos necesarios hasta un grado en que las ventajas globales obtenidas de dicho uso, si bien todavía atractivas, serán bastante inferiores a las esperadas de las tierras de la clase A1.
3	**A3** Marginalmente apta	Tierras con limitaciones que en conjunto son graves para la aplicación sostenida de un uso determinado y reducirán la productividad o los beneficios, o incrementarán los insumos necesarios en tal medida que estos desembolsos quedarán solo marginalmente justificados.
4	**N1** No apta actualmente	Tierras con limitaciones que pueden ser superadas en el tiempo, pero que no pueden corregirse con los conocimientos existentes a un costo actualmente aceptable; las limitaciones son tan graves que impiden un uso sostenido y satisfactorio de la tierra del modo que se ha determinado.
5	**N2** No apta permanentemente	Tierras con limitaciones que parecen ser tan graves que impiden toda posibilidad de un uso sostenido y satisfactorio de las tierras en el modo que se ha determinado.

Dentro de una evaluación de tierras con fines forestales muchas técnicas de manejo forestal contribuyen con este proceso, tales como:

- Inventario forestal
- Estimación del volumen forestal

- Predicción del rendimiento forestal, incluyendo los métodos de índice de sitio.
- Evaluación de costos de producción y de extracción.
- Clasificación para uso forestal basada en las relaciones tierra/suelo/sitio. La diferencia entre clasificación y evaluación de tierras es que la clasificación consiste en la descripción y mapificación de las características físicas de la tierra, sin la interpretación para usos específicos. Las clasificaciones pueden formar parte de los estudios básicos en una evaluación.
- Impacto ambiental de la actividad forestal
- Análisis económico de proyectos forestales.

Hay tres términos de la práctica forestal muy ligados al concepto de aptitud de la tierra, en lo que concierne a la capacidad productiva de un sitio para una especie dada. *Clase de sitio* (o clase de calidad de sitio), es un medio de clasificación de la relativa capacidad productiva de un sitio (unidad de tierra) para una determinada especie forestal o de un rodal en particular (FAO 1985; Salas De Las 1987; Tschinkel 1972; Pritchet 1986; Daniel *et al* 1979).

La clasificación se basa sobre mediciones del crecimiento del árbol, y no sobre predicciones de factores climáticos y edáficos. La tasa de crecimiento del árbol integra evidentemente las características relevantes de clima, suelo, etc. Se ha encontrado que usualmente las propiedades del suelo más íntimamente relacionados con factores causales del crecimiento, por ej. humedad, aireación y disponibilidad de nutrientes, tienen mucha importancia en estudios de suelo-sitio (Coile 1952; Salas De Las 1987; Carmean 1975; Alfaro 1983; Daniel *et al* 1979; Pritchett 1986).

Indice de sitio, es una medida particular de la clase de sitio, basado en la altura de los árboles dominantes a una edad escogida (FAO 1985). Este se expresa normalmente en forma de curvas y su empleo sirve para mostrar el desarrollo de la altura a una edad determinada (Tschinkel

1972). También puede emplearse con fines de clasificación (Salas De Las 1987). Tschinkel (1972) señala que en la práctica, el valor principal del método no está en decir que un área tiene un índice de sitio 14 m y otra 17 m., sino en mostrar tendencias, es decir, cuáles suelen ser los terreno mejores y peores, en su caso para *Cupressus lusitanica.*

La *calidad de sitio o clase de sito* no es lo mismo que la aptitud de la tierra, por cuanto aquel cubre solamente condiciones que afectan el crecimiento del árbol, y no aquellas que afectan el manejo y la conservación. El equivalente más cercano de calidad de sitio en la terminología de evaluación de tierras podría ser "aptitud de tierras para crecimiento" de especies forestales específicas (FAO 1985).

La clase de sitio es de esta manera un medio poderoso para medir la aptitud de la tierra para árboles y como tal, se incorpora a los procedimientos de evaluación de tierras.

El método de calidades potenciales de suelo -desarrollado en Estados Unidos- es un sistema para el análisis de la calidad relativa de los suelos para usos particulares. Este método incluye mediciones de la productividad forestal, propiedades limitativas del suelo, los efectos de estas limitaciones sobre el uso y las posibles medidas correctivas. Este método conduce a la determinación de índice potencial del suelo.

Los métodos *suelo-sitio* tienen utilidad para extrapolar la predicción del rendimiento de áreas con árboles a otras áreas sin tales datos. Los factores de sitio que se encuentran significativamente correlacionados con el crecimiento en áreas con árboles se levantan entonces para otras partes del área de estudio, para la cual no existen disponibles datos de crecimiento directos; de esta manera es posible realizar predicciones de crecimiento para toda el área de estudio. Esto es de particular importancia para la repoblación forestal en áreas desprovistas de bosque (FAO 1985; Barros 1985).

Cuando no se cuenta con éste tipo de estudios a nivel de la región donde se desea plantar una determinada especie, se puede trabajar con base en las características limitantes para el desarrollo de ésta que reportan diferentes autores en otros sitios y con ello predecir, en forma aproximada si el crecimiento de la especie se verá limitado o no. En el caso de coníferas se puede mencionar los trabajos de Storie y Wieslander (1948), Tarrant (1950), Gaddas (1976), Cooling (1977) y Barrera (1971), cit. por Botero (1981) Turvey y Smathurst (1994). En el caso del método de Storie o índice de Storie, ha sido utilizado en Costa Rica (Goitia 1954) y en Guatemala (Escobar 1987) en clasificación de sitios forestales para coníferas, con resultados satisfactorios.

Procedimientos similares a la utilización de índices edáficos lo constituyen los trabajos de Alfaro (1990), Zech (1994), Vásquez (1995) y Vásquez y Ugalde (1995), todos ellos con especies de latifoliadas en diferentes zonas de Costa Rica.

4.6 El recurso suelo y su participación en el proceso de evaluación de tierras.

Con anterioridad mencionamos que el esquema de evaluación de tierras toma muy en cuenta al recurso suelo, básicamente a través de las características y cualidades que aporta, las cuales constituyen la base para definir la aptitud de la tierra. La variación, superficial o interna, del suelo, con frecuencia constituye la causa principal de diferencia entre unidades de tierra, de allí la importancia de los estudios de suelos.

Las características y cualidades de tierra, definidas por el recurso suelo, varían en función del tipo de uso mayor alternativo, ante el cual se evalúa la aptitud de la tierra (FAO 1985; FAO 1994).

La identificación de la "calidad" de las tierras tiene que comparar alternativas de evaluación que relacionen cualidades del suelo y los requerimientos ecológicos para un uso específico, sea

bosques, cultivos o animales. Cada cualidad edáfica y/o climática debe tener su propia relación funcional directa con un uso específico, y ejercer una influencia específica sobre un requerimiento fundamental del uso asignado (Salas De Las Salas 1987).

4.6.1 Complejo hidrológico suelo-cobertura.

Los bosques con vegetación de sotobosque y gruesas capas de hojarasca y humus, son muy diferentes hidrológicamente de los que carecen de ellos. También los distintos tipos de suelos y las diferentes estaciones tienen tasas distintas de infiltración y por lo tanto, de escurrimiento. En muchos casos se necesita un estudio especial de las condiciones hidrológicas de los suelos forestales para fines de ordenación de cuencas, especialmente cuando el principal objetivo es el control de inundaciones o el abastecimiento de agua (Sheng 1992).

Los suelos y la cobertura vegetal de una cuenca son generalmente clasificados por separado. Una combinación de un suelo específico y una cobertura vegetal específica es denominada como un *complejo suelo-cobertura* (Chow 1964), y la medición de éste complejo puede ser usada como un parámetro de la cuenca para estimar el escurrimiento[1].

Las características hidrológicas de un suelo, o grupo de suelos, constituyen un factor esencial en el análisis de datos hidrológicos de una cuenca hidrográfica. Los suelos pueden ser clasificados de acuerdo a sus características hidrológicas independientemente de la pendiente de la cuenca y la cobertura vegetal. Son reconocidos cuatro grupos mayores para la clasificación primaria de suelos de una cuenca. En el anexo 2 se presenta la clasificación hidrológica de los suelos.

---

[1] Agua superficial que llega al sistema de canales de una cuenca hidrográfica después de que parte del agua de lluvia se ha infiltrado y llenado las depresiones naturales (Solís 1995).

La condición hidrológica, dentro del enfoque de evaluación de tierras de la FAO, puede ser considerada como una cualidad de una unidad de tierra (conformada por un complejo suelo-cobertura). Esta cualidad se clasifica dentro de un rango cualitativo de buena a pobre en función de la densidad del cultivo, e independientemente de la productividad del mismo. Rastrojos o cultivos en eras (surcos) con poca densidad (ej. hortalizas) se clasifican como *pobres*, y pastos o cultivos densos (cereales) se clasifican como *buenos*, en lo que respecta a la condición hidrológica (Solís 1995). Según Sheng (1992), las características que generalmente definen una condición hidrológica, en tierras forestales, son las siguientes:

- densidad del bosque y del sotobosque;
- tipo, densidad y espesor de la cubierta del suelo;
- textura del suelo y tasas de infiltración;
- condiciones del lugar, incluyendo pendiente, elevación, erosión, etc.

El Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU., califica las condiciones hidrológicas de bosques y terrenos arbolados en cinco clases: Optimo, Bueno, Medio, Malo y Muy Malo; esta clasificación la realiza con base en las características: *profundidad de la hojarasca, profundidad del humus, compacidad y helada* (SCSEUA 1983).

4.7 Sistemas expertos y su utilización en evaluación de tierras.

El área de la inteligencia artificial[2] ha tenido impacto en el "mundo real" para fines de toma de decisiones sobre agrotecnología que permita mejorar la producción agrícola (Arze 1993). En gran medida el responsable de este cambio de actitud son los *sistemas expertos*, considerados programas de ordenador donde se incorporan las experiencias humanas. Por ser una de las primeras

---

2 Inteligencia artificial es un tipo de agente muy concreto. Es aquel sistema que incorpora, en forma manipulable por ordenador, el conocimiento sobre un tema y los procedimientos generales para encontrar respuestas a problemas sobre algún aspectos específico del tema referido (Cuena 1986, cit. por Arze 1993). Un caso especial son los sistemas expertos (Saarenmaa 1989).

tecnologías de la inteligencia artificial para ayudar a resolver problemas importantes, aparecen rodeados de una aureola de alta tecnología, si bien los pone de actualidad, los hace aparecer como inaccesibles para la mayoría de personas.

Los sistemas expertos son programas de bases de conocimientos que solucionan problemas dentro del campo del expertise, y típicamente actúan como un medio de comunicación entre el experto y un usuario -no experto- (Jackson 1987, cit. por Wright *et al* 1993; Waterman 1986; Saarenmma 1989). Poseen un módulo de ayuda para la adquisición de los conocimientos; el usuario interroga al Sistema Experto, para resolver sus propios problemas como lo haría un experto (Arze 1993). Estos sistemas encuentran su aplicación donde hay conocimientos especializados y experiencias valiosas, y no resulta posible una solución convencional de procesamiento de datos. Es decir, son problemas que implican un procedimiento de solución basado en el conocimiento (Nebendahl 1988, cit. por Arze 1993).

Según Arze (1993), un sistema de expertos tiene los siguientes componentes básicos: a) *la base de conocimientos*, que contienen conocimientos declarativos (hechos sobre objetos, sucesos y situaciones) como conocimiento procedimental (información sobre los procedimientos de acción); b) *el motor de inferencia*, que decide las técnicas de búsqueda y aplicación de un conjunto de reglas sobre una base de conocimientos, con el propósito de encontrar una solución al problema presentado; y; c) la *interfase con el usuario*, que permite al usuario del sistema experto una comunicación simple, oportuna y accesible.

A pesar de la similitud que guardan los sistemas expertos para manejo o fisiología de cultivos y los modelos de evaluación, es importante distinguir la diferencia entre ellos. El primero utiliza mecanismos o prototipos de decisión siguiendo un diagrama causal, es decir las relaciones lógicas de efecto y respuesta en el manejo o comportamiento de una especie. Los modelos de evaluación se dirigen a la definición de árboles de decisión para determinar las características que inciden sobre una cualidad de la tierra, y posteriormente establecer árboles de decisión para la aptitud física y económica de la misma.

4.8 El Sistema Automatizado para Evaluación de Tierras, ALES y antecedentes de su aplicación en Latinoamérica.

El sistema automatizado de evaluación de tierras (ALES), es un programa para ordenador (computadora) desarrollado en la Universidad de Cornell, USA, con la finalidad de asistir el proceso de evaluación de tierras, basado en el esquema de la FAO (Rossiter 1989, 1991; Rossiter *et al.* 1993). Permite al evaluador de tierras construir su propio sistema experto con el cual puede establecer la aptitud física y económica de unidades de tierra respecto a tipos de utilización seleccionados.

Cada modelo es desarrollado por el investigador para satisfacer necesidades locales bajo sus propios objetivos. ALES no es en sí mismo un sistema experto, ni tampoco posee conocimiento alguno acerca de las tierras y sus usos. Es un esquema dentro del cual los evaluadores pueden expresar sus propios conocimientos locales.

Las entidades evaluadas por el ALES son las unidades cartográficas o unidades de mapeo, las cuales pueden definirse a escalas de reconocimiento o a escala de detalle, por ejemplo a nivel de finca. El modelo es construido de acuerdo a los objetivos y condiciones locales del área de estudio.

El modelo desarrollado puede ser clasificado como un modelo empírico de la realidad, ya que su procedimiento describe la relación de los atributos de la tierra a su aptitud para usos específicos. Sin embargo, se puede considerar como un modelo de conocimientos (Rossiter, 1990).

En la construcción del modelo se utilizan árboles de decisión, éstos son considerados llaves multivías en orden jerárquico. Se toman las características de la tierra como base de la evaluación y con criterios lógicos se establecen las cualidades de la tierra para confrontarlas con los requisitos de uso de la tierra, cuyos resultados se expresan en términos de aptitud (física y económica) de la tierra y en rendimiento e ingresos brutos o valor presente neto (Arze 1993; Rossiter *et al.* 1993).

4.9 Sistemas de información geográfica y su aplicación a la evaluación de tierras.

La función de un Sistema de Información Geográfica es la de mejorar la capacidad para tomar decisiones. Un sistema de información es la cadena de operaciones que conduce desde la planificación de la observación y recolección de los datos hasta su almacenamiento y análisis, y luego a la utilización de la información obtenida en algún proceso de toma de decisiones. Un mapa es una colección de datos almacenados y analizados y la información derivada de este proceso se utiliza en la toma de decisiones (Griggs *et al* 1994).

El SIG es un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados con coordenadas espaciales o geográficas. En otros términos, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos espacialmente referidos, como una serie de operaciones para trabajar con los datos. En general, el SIG puede ser definido como una herramienta para recolectar, exhibir, manejar, analizar y producir datos espacialmente referenciados. Una capa de un mapa es un mapa geográfico en el cual cada ubicación está caracterizada por un solo tipo de dato (ej. suelos, elevación, o vegetación). Los estratos de datos SIG pueden considerarse como una pila de "mapas flotantes" con referencias espaciales comunes, lo que permite al usuario "mirar" hacia abajo y a través de los datos utilizando las capacidades de despliegue y análisis del SIG (Berry 1987 cit por Griggs *et al* (1994).

Los SIG se utilizan en una amplia variedad de situaciones. Griggs *et al* (1994) citando a varios autores señalan los siguientes ejemplos de utilización de los SIG: en la realización de estudios de los habitats de la vida silvestre, contaminación de fuentes no puntuales, el cambio de uso de la tierra, manejo de las plagas forestales, la erosión del suelo, análisis de aptitud de uso del suelo, y en modelación hidrológica.

Hay cinco elementos esenciales que debe contener un SIG (Knapp 1978, cit por Griggs *et al* 1994): adquisición de datos, preprocesamiento, manejo, manipulación y análisis, y generación de productos. Una ventaja importante de la utilización de una herramienta SIG, sería el ahorro

considerable de tiempo, costo y mano de obra para realizar un estudio.

En relación al proceso automatizado de evaluación de tierras, el SIG posee dos unidades fundamentales: *a) El componente operativo o funcional*, y *b) la base de datos espacial y de atributos*. El componente operativo permite actuar sobre la información contenida en la base de datos. La parte central del sistema es la base de datos (una colección de mapas e información asociada en forma digital). A la base de datos le concierne las características de superficies de la tierra y puede ser vista en dos elementos, una base de datos espacial que describe la geografía (forma y posición) de una determinada superficie, y una base de datos de atributos que describe las características o cualidades de las mismas (Eastman 1992).

La posibilidad de intercambiar información con otros sistemas computarizados brinda posibilidades adicionales de modelación o análisis. Mediante archivos ASCII o con interfases automáticas es posible exportar o intercambiar resultados o información a otros SIGs o sistemas de evaluación de tierras como el ALES (Rossiter *et al.* 1993; León, 1994).

4.10 Antecedentes de las acciones de protección y restauración hidrológica en la microcuenca del Río Chilascó.

Las iniciativas más recientes para la protección y restauración de la base de recursos naturales en la microcuenca del Río Chilascó y en general en la Sierra de Las Minas, se remontan al año 1989, año en que por decreto-ley se declaró a esta zona como de "protección especial". Un año más tarde el decreto-ley 49-90, declara a esta región como área protegida bajo la categoría de Reserva de Biosfera.

Con la declaratoria de la RBSM, diferentes áreas de la cuenca se diferencian en cuanto a políticas y normas de manejo, especialmente en lo relacionado al tipo de uso y aprovechamiento de la tierra. Estas normas y políticas al tener que ver con la ocupación de la tierra, generan conflictos entre administradores de la Reserva, planificadores y propietarios o posesionarios de las tierras

(Nuñez 1993; Quezada 1994).

La RBSM, tiene como uno de sus objetivos principales la protección de fuentes de agua y cuencas hidrográficas por su importancia ecológica y socioeconómica para las áreas circundantes de la Reserva. Algunas de sus actividades se orientan a la ejecución de investigaciones que permitan encontrar opciones alternativas de uso de la tierra productivas y no degradantes y el conocimiento del funcionamiento hidrológico de la Reserva y de su protección (Defensores de la Naturaleza 1992).

En materia de gestión ambiental a nivel de cuenca hidrográfica como unidad de planificación, en el año 1994 el proyecto Manejo Integrado Manejo de Cuencas, MICUENCA, conducido por las instituciones DIGEBOS, DIGESA, CARE y CUERPO DE PAZ, seleccionó la microcuenca Chilascó como parte de su área de acción. Este Proyecto desea contribuir a reducir la problemática del uso de la tierra a través de una serie de acciones -directas e indirectas- orientadoras del uso, manejo y conservación de los recursos naturales y a través de motivaciones para cambios de actitud en los usuarios de los recursos (Proyecto MICUENCA, s.n.t).

Uno de los componentes de este proyecto se denomina Ordenación de Cuencas y Monitoreo Ambiental cuyo propósito general es diseñar y ejecutar planes de acción para rehabilitación y protección de la cuenca. Este propósito se pretende lograr mediante el conocimiento de:

- la capacidad productiva (aptitud) de la tierra y planificación conservacionista del uso de la tierra.
- áreas críticas y conflictos de uso de los recursos naturales.
- la producción hidrológica.
- formas de apropiación de los recursos naturales.
- la variación temporal y espacial de algunas variables biofísicas como cantidad y calidad del agua, formas y tipos de erosión, escurrimiento superficial, impacto de prácticas de conservación, dinámica del uso de la tierra, otras.

4.11 Tipos de uso de la tierra y sus requerimientos

De acuerdo con FAO (1976, 1985, 1994), la mayoría, sino todas, las evaluaciones para uso forestal deberán basarse sobre el tipo de utilización de la tierra, una serie de especificaciones técnicas en un complejo de condiciones físicas, económicas y sociales. Las especificaciones cubren las especies forestales o el tipo de bosque, los métodos de manejo (silvicultura y aprovechamiento) y las medidas de conservación.

Dentro de la microcuenca del Río Chilascó se dan varios tipos de uso de la tierra de naturaleza agrícola, forestal y pecuaria. Dada la naturaleza de la presente evaluación, presentamos aspectos relacionados con los requerimientos de las especies forestales y tipos de uso forestal considerados.

4.11.1 Distribución y requerimientos de *Pinus maximinoi* H.E. Moore

Esta especie, anteriormente clasificada como *Pinus tenuifolia* Benth y comúnmente conocida en Guatemala como "pino candelillo", es un árbol de hasta 35 m de alto, ocasionalmente 60 m. El tronco es derecho, raras veces algo encorvado. La corteza joven es delgada y lisa, cuando vieja se quiebra en plaquetas elongadas con fisuras color café rojizas. Follaje denso, verde azulado mate o verde grisáceo, notoriamente colgante. acídulas generalmente 5 por fascículo, delgadas, 20-28 cm. de largo. Cono ovoide, angular, algunas veces tempranamente caedizo (Nuñez 1986;).

El *P. maximinoi*, se distribuye desde el sudeste mexicano hasta el noroeste de Nicaragua (Styles y Hughes s.f.), particularmente en los suelos más ricos de las áreas montañosas más húmedas o con alta lluvia. Típicamente ocurre en rodales puros. La vegetación asociada es siempre muy densa. No se le conoce en Belice, presumiblemente debido a la baja altitud (Stead y Styles, 1984).

La mayoría de colectas de esta especie han sido hechas entre 1000 y 1700 m, pero unos pocos especímenes han sido encontrados a menos de 850 m en Guerrero, México. En Guatemala, ha sido encontrado creciendo con *P. pseudostrobus* a una altitud de 2000 m (Stead y Styles 1984; Mittak y Perry 1979)

Nuñez (1986), menciona que en Guatemala este especie vegeta en altitudes relativamente bajas (1100 a 2400 msnm). Aparentemente exige temperaturas calientes y humedad. En ocasiones se halla mezclado con latifoliadas como *Liquidambar styraciflua, Quercus sp.* En sitios bastante secos se encuentra con *P. oocarpa* y *P. montezumae.* Las regeneraciones naturales se presentan al parecer con facilidad en lugares donde la sombra de los pinares no es muy densa. Se le reporta fundamentalmente en la zona de vida bosque muy húmedo subtropical (frío).

En Guatemala, su principal distribución natural es en los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz, Quiché y en sitios con buen suelo y precipitación abundante y clima subtropical. Se estima que requiere precipitaciones mayores a 900 mm por año (Nuñez 1986).

Expertos forestales en Guatemala, asocian esta especie con suelos profundos, bien drenados, aparentemente fértiles, texturas livianas, bien drenados y zonas de precipitación por encima de los 1000 mm, altitudes por encima de 1200 m y temperaturas medias a frías. Mencionan que la especie no soporta sitios con alto riesgo a heladas[3].

El uso de la especie es múltiple, tanto en la construcción como en la carpintería y aún como leña. La madera es liviana, blanda, de color blanco amarillento (Nuñez Saravia 1986).

---

3 (Consulta a expertos, comunic. personal, 1996.)

4.11.2 Distribución y requerimientos de *Cupressus lusitanica* Mill.

Esta especie es conocida con los nombres comunes de ciprés común, ciprés, ciprés lusitánico. En algunas regiones de Guatemala tiene nombres en idiomas mayas tales como, tzicap en Jacaltenango, tzis en Huehuetenango, quisis en Quiché y chinchac, paxaque y ksis en Quetzaltenango. Alcanza alturas superiores a los 30 m y diámetros superiores a 100 cm. Es una especie monoica, el fuste tiende a ser recto, ligeramente acanalado en la base (Lamprecht 1986; Chávez y Fonseca 1991; Ugalde 1995).

Es originaria de las montañas del sur de México, Honduras y El Salvador entre altitudes de 2200 a 3300 msnm. Es una de las especies más cultivadas en las zonas altas de Centroamérica, principalmente para la producción de madera. En Guatemala se encuentran plantaciones en la Sierra de Las Minas, en Jalapa, Chimaltenango, Quiché, Totonicapán, Quetzaltenango y San Marcos.

Suele conformar rodales puros o mixtos asociados con *Abies guatemalensis* Rehder, *Pinus ayacahuite* var. veitichi, *P. montezumae* var. rudis, *Quercus spp.*, y *Alnus sp.* en las zonas de vida bosque muy húmedo montano bajo subtropical y bosque muy húmedo montano bajo subtropical (González 1979; Standley y Steyemark 1958).

La especie normalmente requiere sitios templados o fríos, de preferencia abrigados y algo húmedos. En las condiciones naturales se encuentra entre 2200 y 3300 msnm, con precipitaciones de 1500 a 2500 mm anuales (González 1979; Standley y Steyemark 1958).

Puede adaptarse a un amplio rango de condiciones ambientales, desde regiones de baja altitud, menores de 1000 msnm, hasta 3800 msnm y de zonas relativamente secas, con menos de 1000 mm anuales de precipitación, hasta húmedas con 4000 mm anuales, temperaturas superiores a 12°C y a suelos franco arenosos, franco arcillosos, bien drenados, neutros o ácidos, con buen

contenido de materia orgánica; profundos y húmedos (Alfaro 1983; Chinchilla 1989).

González (1990) citando a varios autores señala que la especie se adapta apropiadamente a lugares entre los 1500 y 2500 msnm, con precipitaciones anuales comprendidas entre los 1000 y 3000 mm, temperaturas medias anuales arriba de los 12°C y suelos franco-arenosos, bien drenados, neutros o ácidos, profundos y húmedos, así mismo es conveniente indicar que esta especie crece en condiciones de sombra ligera.

Lamprecht (1986) señala que el mejor crecimiento se produce en suelos bien drenados y ricos en bases. Esta especie crece bien en suelos profundos, franco-limosos y citando a Webb *et al* (1980), indica que es apropiada para plantaciones en regiones ubicadas sobre los 1500 msnm, con precipitación y temperaturas media anual entre 1000 y 1600 mm y aproximadamente 17 hasta máximas de 19.5°C, respectivamente.

En cuanto zonas de vida apropiadas para el crecimiento de la especie, varios autores reconocen las siguientes: bosque húmedo subtropical, bosque húmedo montano bajo, bosque muy húmedo montano bajo, bosque húmedo y muy húmedo premontano (Montenegro 1957; Falla 1967 y Holdridge 1953).

Las áreas con suelos poco profundos y susceptibles a vientos fuertes se consideran como las limitantes más importantes para el cultivo del ciprés (Falla 1967; Alfaro 1989; Little Jr. y Skolmen 1989). Los lugares con escasa precipitación y áreas sujetas a heladas también son zonas marginales. No soporta sitios con mal drenaje, ni lugares con nubosidad excesiva (Chinchilla 1989; González 1981, cit. por Chávez y Fonseca 1991).

Chávez y Fonseca (1991), señalan que en el bosque muy húmedo premontano de Turrialba, Costa Rica, las combinaciones de alta capacidad de intercepción de agua de lluvia de la copa, con escasa profundidad del suelo y problemas de drenaje, han sido la causa de eliminación paulatina del ciprés plantado; usualmente los árboles se caen después de una fuerte precipitación.

Alfaro (1983) en su trabajo encontró que los factores más altamente correlacionados con el índice de sitio fueron de orden edáfico y topográfico, no así los climáticos. Con base en sus resultados, señala que la especie prefiere suelos de textura arcillosa y que en ellos, su crecimiento es notablemente mejor en comparación con suelos con bajos contenidos de arcilla, al rededor del 5-15% según su estudio. Por otro lado citando a Hosegood y Howland (1966) señala que para esta especie la distribución de raíces se concentra en los primeros 30 cm de profundidad.

Tschinkel (1972) encontró un alto grado de correlación entre factores topográficos y fisiográficos (pendiente en grados y forma del terreno) con el índice de sitio, señalando que este efecto es indirecto sobre el crecimiento, a través de la influencia de los mismos sobre procesos fisiológicos del árbol como desplazamiento del agua sobre y dentro del suelo, la disponibilidad de nutrientes.

La madera de esta especie posee un veteado hermoso y una albura parda, anaranjada fuerte y el duramen anaranjado amarillento claro. Recién talada posee un olor parecido al del cedro, es dura, fácil de trabajar, permite muy bien su impregnación y es resistente a la intemperie. Es apropiada para construcción y se utiliza tanto en interiores como exteriores (Lamprecht 1986; Chávez y Fonseca 1991; Ugalde 1995).

4.11.3 Bosque Nuboso.

El término "bosque nuboso" es usado frecuentemente en la literatura científica y Stadmüller (1987) lo define como: 'todos los bosques del trópico húmedo frecuentemente cubiertos por nubes o neblina, recibiendo así adicionalmente a la lluvia, una cantidad de humedad por medio de captación y/o condensación de `pequeñas gotitas de agua (precipitación horizontal), influyendo en el régimen hídrico y en el balance de radiación y así en los demás parámetros climáticos, edáficos y ecológicos".

La cantidad, distribución y calidad de la precipitación horizontal en relación a la lluvia puede variar fuertemente. Un rasgo característico de este tipo de bosque en el trópico húmedo es su riqueza de epífitas, especialmente musgos e himenofiláceas (Walter 1979, cit. por Stadmüller 1987) y en la mayoría de los casos la presencia de las ciatáceas[4] (Christ 1910; Troll 1970; Lamprecht 1986; cits. por Stadmüller 1987).

La distribución y extensión de los bosques nublados en el trópico húmedo está influenciada por aspectos climáticos y orográficos. Según Troll (1956), cit. por Stadmüller (1987), los límites del piso altitudinal de ocurrencia de este tipo de bosques varía con la latitud geográfica. Así el límite inferior entre 1500 y 2500 msnm, y el superior entre 2400 y 3300 msnm; es decir se da un rango de 800 a 1000 m que casi no varía con la latitud.

Lauer (1968) al describir diferentes pisos altitudinales de vegetación entre México y Colombia, determinó que para el caso de Guatemala, la franja de principal ocurrencia de bosque nuboso está entre 2100 y 2600 msnm. Aplicando el esquema de Troll (1956), cit. por Stadmüller 1987, el bosque nuboso en este país estaría entre 2200 y 3000 msnm.

Como ya ha sido mencionado, un aspecto importante de este tipo de bosque es la presencia de *precipitación horizontal*[5], la cual es mencionada por varios autores como una entrada adicional de agua en el cálculo de balances hídricos a nivel de cuencas (Stadmüller 1987; Hamilton 1988; Zadroga 1981; Bruijnzeel 1990). Este insumo adicional en combinación con las temperaturas más bajas en las zonas montañosas es factor ecológico importante que actúa cobre las diferentes formaciones de bosques nublados.

Stadmüller (1987) haciendo una revisión de diferentes trabajos sobre medición o estimación del aporte de lluvia horizontal, menciona que los valores absolutos de la misma oscilan entre 325 mm/a y 941 mm/a; los valores relativos entre 7,2 % y 158 %. Diferentes autores han encontrado

---

4 Helechos arborescentes.

5 Este término tiene varios sinónimos: intercepción horizontal, intercepción negativa, lluvia del bosque, precipitación oculta, precipitación de la neblina, goteo de condensación, intercepción de

que los aportes relativos de lluvia horizontal son mayores en épocas secas en las que incluso superan los aportes de lluvia convencional o incidente (Vogelmann 1973; Bruijnzeel 1990).

Un componente del ciclo hidrológico en bosques húmedos, al igual que bajo diferentes coberturas arbóreas, es la *interceptación*, la cual es definida como la cantidad de agua proveniente de la precipitación detenida por la vegetación y luego evaporada. Bruijnzeel (1990) estima el promedio de la interceptación en bosques nublados tropicales abajo de 18% y pueden ser superadas por la precipitación horizontal (Stadtmüller 1987; Stadtmüller y Agudelo 1990; Bruijnzeel 1990).

En relación a la evapotranspiración, Bruijnzeel (1990) concluye que el monto evapotranspirado por bosques de montaña es de 1155 a 1295 mm/año, excepto en bosques nublados que tienen valores más bajos (308-392 mm/año).

Zadroga (1981) resume tres componentes de mayor importancia para evaluar el efecto de bosques nublados sobre la hidrología de una cuenca:

- incremento de la precipitación neta
- disminución de la tasa de evapotranspiración
- regulación del régimen hídrico, especialmente durante períodos "secos" (en términos de lluvia)

En relación a la estructura de los bosques nublados, según Beard (1955), tiene dos estratos de árboles, que alcanzan 10 y 20 m respectivamente. El estrato superior puede ser más favorable en condiciones favorables. En cuanto a composición florística, la misma no puede generalizarse, los distintos trabajos realizados a la fecha presentan muchas variaciones. Algunos trabajos realizados en estimación de biomasa sobre el suelo en éstos bosques reportan entre 148 y 420 toneladas/ha (Brun 1976 cit. por Stadmüller (1987); Grubb 1977; Tanner 1977, 1980). Los valores más altos de biomasa han motivado estudios silviculturales (Lamprecht 1954 1958; Bockor1979, cits. por Stadmüller 1987).

---

humedad de nubes, otros (Stadmüller 1987)

Stadmüller (1987) con base en los estudios silviculturales de Lamprecht (1954, 1958) y Bockor (1979), mencionan que cualquier intento de manejo forestal de bosques nublados debe considerar los siguientes aspectos inherentes a la mayoría de bosques nublados del trópico húmedo:

- condiciones climáticas desfavorables (especialmente alta precipitación);
- condiciones topográficas desfavorables;
- condiciones edáficas desfavorables;
- alto riesgo de erosión (combinación de anteriores aspectos);
- función hidrológica;
- protección de comunidades con flora y fauna endémica, y conservación de recursos genéticos; y;
- protección de elementos paisajistas únicos.

Solamente aquellos bosques nublados que no presenten una o varias de las características anteriormente mencionadas pueden considerarse para un apropiado manejo y aprovechamiento forestal sostenido, con la condición de que haya una cierta cantidad y uniformidad de especies valiosas. Stadmüller (1987) menciona como ejemplo los bosques nublados de altura en Costa Rica, en los cuales Blaser (1990) encontró una abundancia relativa de *Quercus sp.* del 76 por ciento dentro de los individuos con dap > de 25 cm y del 93 por ciento de los individuos con dap > 45 cm.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Localización del área de estudio

La presente investigación se realizó en la microcuenca del Río Chilascó de la subcuenca del Río Matanzas en la cuenca del Río Polochic, vertiente Atlántica de Guatemala. El área se localiza entre las coordenadas geográficas siguientes:

15°00'25", latitud norte 90°06'57", longitud oeste,
15°06'42", latitud norte 90°07'47", longitud oeste,
15°07'04", latitud norte 90°03'37", longitud oeste,
15°02'21", latitud norte 90°04'23", longitud oeste, y;
15°04'33", latitud norte 90°00'40", longitud oeste.

Para los efectos de la investigación se considera como punto de drenaje de la microcuenca el primero de los puntos indicados con anterioridad, el cual corresponde con el mapa base definido por el Proyecto MICUENCA-DIGEBOS/CARE (Proyecto MICUENCA s.f.). Este punto está localizado a una altitud de 1800 msnm. Lo anterior determina que la extensión del área de estudio sea de 66,7 km^2. La figura 1 muestra la localización geográfica del área de estudio.

Políticamente, las tierras de la microcuenca, pertenecen a los municipios de San Jerónimo y Salamá, Departamento de Baja Verapaz en la república de Guatemala.

Fisiográficamente la microcuenca pertenece a la provincia de Tierras Altas Cristalinas Orientales (Sierra de Las Minas). Sus altitudes van de 1800 a 2600 msnm.

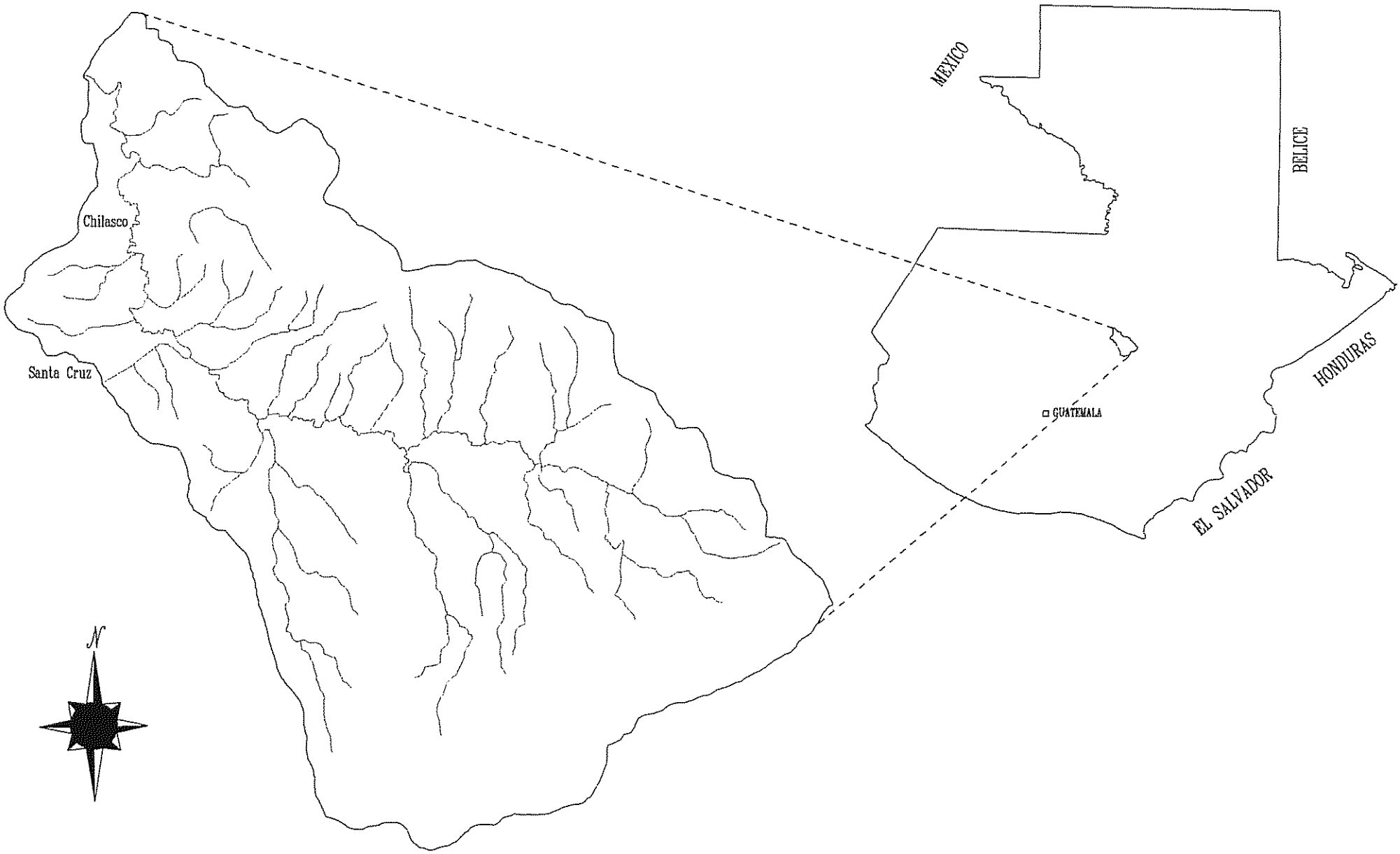


Figura 1. Microcuenca del Rio Chilasco, B. V., Guatemala, 1996

5.2 Criterios de selección del área de estudio.

Las razones por las cuales se seleccionó la microcuenca del Río Chilascó, dentro del complejo montañoso-hidrológico de la reserva de biosfera Sierra de Las Minas, RBSM, como el área para desarrollar el presente estudio fueron las siguientes:

- Una parte de la producción de agua de la microcuenca es trasvasada a una cuenca adyacente y utilizada para fines de riego (en época seca) y consumo humano.

- La totalidad de la microcuenca forma parte de la RBSM, coincidiendo dentro de sus tierras las siguientes zonas de la Reserva: núcleo (14%), uso sostenido (62,9%) y amortiguamiento (22,4%). Cada una de estas zonas de manejo poseen normas directrices para el uso de tecnología sostenible (productivo y protectivo).

- La existencia de una tendencia de ocupación de las tierras de la cuenca con sistemas no forestales, situación que se traduce en una causa técnica y social de conflictos entre usuarios (pobladores) de la cuenca con iniciativas de protección o restauración de la cuenca.

- La existencia de planes, programas y proyectos dentro de la microcuenca, con propósitos de conservación y restauración de su capacidad productiva e hidrológica.

5.3 Materiales.

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron los siguientes medios, materiales y programas de computo:

- **Materiales:**

Hojas cartográfica 2161 I, San Jerónimo, escala 1:50,000

Mapas temáticos sobre hoja 2161 I, San Jerónimo: Unidades Básicas Potencial, Estratificación forestal, uso de la tierra (APESA-GEOINFORMATICA 1992)

Fotografías aéreas (12-4 a 12 6; 134-13-12; 14-7 a 14-13), infrarrojo color, escala 1:24:000, año 1995 (Defensores de la Naturaleza 1995).

Materiales de fotointerpretación y dibujo

Materiales de campo para levantamiento de suelos y forestal.

Formularios para consulta de expertos

- **Fuentes de consulta:**

  - Expertos en los usos de la tierra considerados en la evaluación (forestales productivo e hidrológico-forestal).
  - Información secundaria sobre los usos considerados (especificaciones de manejo y requisitos de uso), tanto dentro del área como en la región (cuenca).
  - Información secundaria sobre características y cualidades de la tierra en función de los requisitos de uso.
  - Datos actualizados de costos, precios de productos y subproductos, intereses, mano de obra.
  - Levantamiento de campo realizados con la evaluación.
  - Funcionarios de diferentes organizaciones que realizan acciones de conservación dentro de la microcuenca o cercana a ella.

- **Programas y equipo de cómputo:**

ALES, versión 4.1
ARCINFO, versión
IDRISI, versión 4.1
SEP versión 1 (planificación forestal, modelo PROCAFOR)
PC 486 DX y accesorios
Mesa de digitalización

- **Equipo de gabinete y campo:**

Equipo de fotointerpretación y de dibujo.
Equipo de posicionamiento geográfico y altitudinal (brújula, altímetro).
Equipo de medición forestal (relascopio, clinómetro, cinta diamétrica).
Equipo para levantamiento de suelos (barreno, cinta métrica, herramientas para diferenciación de horizontes y toma de muestras).

5.4 Procedimiento general.

La evaluación de la aptitud forestal productiva e hidrológica de las tierras de la microcuenca del Río Chilascó se realizó siguiendo el esquema metodológico de evaluación de tierras de FAO (1976, 1985, 1994; Young 1993). Se utilizó un procedimiento de evaluación lógico para determinar la aptitud física y económica de la zona estudiada frente a (cuatro) usos de tierra identificados y seleccionados. El procedimiento general consistió en una comparación de la oferta de recursos con una demanda de los mismos por los diferentes usos. Para facilitar este proceso determinaron unidades de tierra de referencia bajo diferentes criterios.

La automatización del proceso de evaluación mediante el uso del ALES se hizo por la existencia de diferentes usos alternativos y diferentes unidades de tierra. Primeramente se evaluó por aptitud física; si un uso particular calificó como permisible, desde apto hasta marginalmente apto, entonces procedió la evaluación económica. Por el contrario, si el resultado de la evaluación física fue de no apto, automáticamente se consideró no apto económicamente. Es necesario verificar estos resultados con la realidad agrogeográfica (León 1994).

En el anexo 3 se muestra el esquema general de evaluación de tierras, según el enfoque de la FAO (FAO 1976, 1985, 1994).

5.5 Procedimiento específico de la evaluación.

5.5.1 Etapa preliminar

5.5.1.1 Identificación de usuarios de la evaluación.

Esta etapa consistió en identificar a los potenciales usuarios de la evaluación, entre funcionarios de las diferentes instituciones que realizan acciones de protección y restauración hidrológica en la cuenca. Se hizo además:

- Revisión rápida del contexto físico, social y económico del área, y del tipo de datos e información disponibles.
- Definición de las especificaciones de los resultados, información necesaria, levantamiento y estudios requeridos, personal de apoyo, tiempo requerido y determinación del apoyo institucional para la etapa de campo.

5.5.1.2 Definición del mapa base del área de estudio.

Fue definido con base en la información cartográfica que posee el Proyecto MICUENCA y la Fundación Defensores de La Naturaleza, a efecto de uniformizar los límites hidrográficos, la extensión del área y la ubicación del punto de drenaje. Esta delimitación fue elaborada tanto en hoja cartográfica (Hoja 2161 I, San Jerónimo) como sobre fotografías aéreas con trabajo de rectificación fotogramétrica. El punto de drenaje, como ya fue indicado, corresponde con la delimitación del Proyecto MICUENCA, el mismo no es el punto de drenaje hidrográfico, por lo que, abajo del mismo aún existe una porción de tierras cuyo drenaje aún pertenecen a las aguas de esta microcuenca.

Este mapa fue elaborado a escala 1:50,000. Se trasladó a formato digital para poder utilizarlo en la automatización del proceso de evaluación. La digitalización se realizó con el módulo ADS de ARC INFO y convertido a formato raster de IDRISI. Más adelante en el acápite de definición del mapa base de la evaluación se menciona el procedimiento para digitalización, rasterización y utilización por ALES.

5.5.2 Identificación y selección de tipos de usos de la tierra, TUTs.

Los TUTs considerados en la presente evaluación fueron seleccionados con base en los siguientes criterios:

- Presencia en la cuenca o en zonas aledañas
- Superficie ocupada por el uso
- Tipo de manejo
- Conocimientos y preferencia de especies forestales.
- Investigación desarrollada sobre el tipo de uso, ya sea con fines productivos o de restauración de la condición hidrológica.

- Susceptibilidad del uso de la tierra hacia la producción de agua (comportamiento hidrológico) a través de un mejoramiento o protección de la condición hidrológica
- Compatibilidad del uso con normas de uso y manejo para las distintas zonas de la Reserva de Biosfera
- Posibilidades de al menos verificar algunos de los modelos de evaluación.

Algunos de estos criterios han sido utilizados en anteriores evaluaciones de tierras (Celada 1993; León 1994).

Los usos fueron preliminarmente identificados sobre el mapa temático de uso de la tierra, cuya elaboración se describe más adelante. Posteriormente se hizo una consulta a los usuarios de la evaluación, principalmente técnicos de instituciones que realizan acciones de manejo de cuencas dentro de la zona de estudio, a efecto de definir las especificaciones y requerimientos de cada uno.

Se enfatizó en usos que a juicio de expertos son los más promisorios para la región, tanto por su adaptabilidad a las condiciones ambientales de la región como por su capacidad de proteger o restaurar la condición hidrológica de los suelos de la cuenca. De esa cuenta se seleccionaron plantaciones de pino y ciprés en dos modalidades, un bosque natural de pino y el bosque nuboso como protector de la condición hidrológica y productor de agua.

En un inicio, fueron seleccionados otros dos usos, uno agrícola intensivo (brócoli con fines de exportación) y un sistema agroforestal (*Zea mays-Alnus sp.*) en arreglo de árboles dispersos con fines alimenticios y energéticos; sin embargo, por razones de tiempo, no pudieron finalmente ser considerados en la presente evaluación.

Una vez seleccionados los TUTs-, fueron precisados en cuanto a sus atributos principales y especificaciones relevantes para la presente evaluación. Para el efecto se diseño un instrumento (véase anexo 4), el cual fue utilizado en forma iterativa en la fase de consulta a expertos. Una

descripción general de los usos considerados en la presente evaluación, es la siguiente:

5.5.2.1 Plantaciones forestales de *Pinus maximinoi* H.E. Moore; con fines de aserrío bajo incentivos fiscales.

Este tipo de plantación, según registros de la empresa FORESA (Vaidez 1996, consulta a expertos) ocupa 502 has, aproximadamente 8,0 % de la superficie cultivable de la microcuenca, en rodales puros o mezclados con *Cupressus lusitanica*. El mismo es una respuesta al programa de incentivos fiscales establecido para apoyar la reforestación de tierras en Guatemala. Las plantaciones con esta especie tienen 12 años de edad.

Los proyectos de reforestación o forestación pueden ser ejecutados en fincas privadas o tierras comunales, además se admite asociación de dos o más contribuyentes para reforestar una sola área. Este beneficio es otorgado por un máximo de 10 años, de allí en adelante el mantenimiento es responsabilidad de la empresa inversionista (Mérida, 1996).

Este tipo de uso es de naturaleza productiva, siendo su objetivo la producción de madera para aserrío y productos derivados: trocilla y leña, los cuales son susceptibles de valorar en función de su rendimiento en m^3/ha. Adicionalmente se le identifica como un uso de protección y recuperación de suelos degradados.

Las plantaciones se realizan en rodales puros o bien, como sucede en tierras del área de estudio, en rodales mezclados. El mercado o destino de la producción es a nivel local, regional y nacional, según el tipo de producto obtenido en cada cosecha.

A éste uso se le califica como de media intensidad de trabajo dado su horizonte de planificación, naturaleza de su producto y, fundamentalmente, por la demanda de insumos, lo cual es respuesta a los montos máximos deducibles por trabajos en el establecimiento y mantenimiento del uso.

El horizonte de planificación del uso varía entre 24 a 35 años, en el caso específico de esta especie en la zona es de 24 años.

El capital requerido tal y como fue previamente mencionado, durante los primeros 10 años es producto del incentivo fiscal y a partir del onceavo año es aportado por el inversionista. El capital invertido a partir de este año se infiere que es reducido principalmente por los insumos demandados y la finalización del incentivo que es considerado como ingreso dentro del flujo de capital del uso (Aguirre 1996)[1].

En relación a las especificaciones tecnológicas del uso, se resumen las siguientes:

Tecnología silvicultural: a) Producción de plantulas en viveros; b) Preparación de sitio y plantación en campo definitivo (2000 árboles/ha); c) Labores de mantenimiento; d) Manejo silvicultural: podas y entresaques (raleos) a los seis, doce y diecisiete años y corta final a los veinticuatro.

Tecnología de aprovechamiento: el apeo de árboles es con motosierra. El arrastre de trozas y trocillas hacia las bacadillas[2] es con bueyes; para ésta actividad es limitante, tanto la pendiente como la textura superficial del terreno (consulta a expertos, 1996).

Tecnología de conservación: a) Brechas corta-fuego; b) Cercado de la plantación; c) Terrazas individuales en pendientes mayores a 40%; d) Mantenimiento de caminos anualmente.

Todas las tareas silviculturales de aprovechamiento y conservación son manuales y la mano de obra la proporcionan pobladores de las comunidades de la microcuenca o en algunos casos es llevada de fuera de ella. [3]

---

1 Aguirre J. A. (1996), (comunicación personal)

2 Término empleado para el sitio donde se carga el producto a los camiones de transporte

Los expertos consultados refieren que el sistema de comercialización comúnmente utilizado es el de venta del producto (en pie o en bacadilla) a intermediarios de la madera o a empresas de aserrío de la región.

En cuanto a la infraestructura, el uso requiere caminos externos e internos. Se prevé que en proyectos mayores de 45 hectáreas puede establecerse un aserradero (Vaidez O. 1996)[4]

En cuanto al área de manejo recomendable para éste uso no hay uniformidad entre los expertos consultados; sin embargo la mayoría identifica 45 hectáreas como un área mínima manejable silviculturalmente. En función de la administración de los insumos (durante la etapa de incentivos fiscales) se identifica un área entre 135 a 225 ha como apropiada para el uso (Del Valle y Rosales 1996)[5].

La tenencia apropiada para el uso es la de propiedad individual y el sistema organizacional recomendable es el empresarial o sociedad anónima

5.5.2.2 Plantaciones forestales de *Cupressus lusitanica*; con fines de aserrío, bajo administración comunitaria.

Este uso en la microcuenca esta representado por dos plantaciones, las cuales ocupan aproximadamente 80 has (Martínez 1996)[6], equivalente al 1,2% de la superficie de la microcuenca y aproximadamente 4,0% de las tierras comunales dentro de la misma. Tal y como se le identifica, la administración de los insumos y productos es responsabilidad comunitaria, lo cual determina una enorme diferencia en cuanto a actividades e intensidad de las mismas comparativamente con el uso descrito anteriormente (aún y cuando se trabaje con la misma especie).

---

4 Vaidez O (1996) Técnico de FORESA (Consulta a expertos)
5 Del Valle M. y Rosales C. (1996), (consulta a expertos, comunic. personal).
6 Martínez C (1996) Promotor forestal DIGEBOS (comunic. personal).

El objetivo de este uso es la producción de madera, ya sea troza, trocilla, postes o leña. Implícitamente brinda otros beneficios: conservación o restauración de la condición hidrológica -en terrenos de alta pendiente y desprovistos de cobertura, con alto riesgo de erosión-, aunque de acuerdo a estudios realizados, esta especie no es la adecuada con fines de producción hídrica (Price, 1982).

El destino de la producción es la utilización en las comunidades de la localidad para construcciones de vivienda, reparaciones de cercos, bodegas, etc.; consumo como leña -aún cuando no es totalmente aceptable como tal-; o bien para el mercado regional a través de su comercialización a intermediarios de la madera.

Este tipo de uso, comparándolo con el de plantaciones bajo incentivos fiscales o bien con alguna modalidad empresarial privada, se cualifica como de baja intensidad de trabajo en función de las actividades que conlleva y el nivel de insumos requerido. Lo anterior determina que en términos de capital requerido, cualifica de manera similar, más aún si se toma en cuenta que la mano de obra comunitaria no es remunerada con dinero en efectivo; de tal forma que éste aporte para efectos de un análisis financiero y económico del sistema de producción, se contabiliza en función del costo de oportunidad (dinero que el dueño de la mano de obra ganaría en otra actividad agropecuaria en la localidad).

Las especificaciones tecnológicas relevantes del uso, se resumen así:

Tecnología silvicultural: a) Producción de plantula en viveros; b) Preparación del sitio; c) Distribución y siembra (para el caso de la presente evaluación se supone una densidad de 1111 plantulas/ha con una sobrevivencia de 90%; d) Mantenimiento; e) Entresaques: el primero no comercial a los ocho años, los siguientes a los dieciséis y veinticuatro años de edad (variable según clase de sitio y la presencia de la etapa denominada 'recesión de copas', la cual es producto de una elevada densidad y competencia por espacio y luz (Galloway, 1995). Vale mencionar que en un mercado diferencial es apropiado realizar podas, puesto que en ésta especie las ramas son

persistentes lo cual se evita con podas tempranas. Con esta actividad se favorece el acceso a la plantación y se mejora la calidad de la madera. Dado que a la fecha el mercado de la madera de ciprés no hace mayor diferencia entre madera con y sin nudo, la actividad de poda no tiene una justificación económica más que silvicultural. En todo caso, existen recomendaciones sobre época y forma de realizar la poda en ésta especie, que según Groenendijk (1983), tiene mala autopoda. La corta final a los 30-38 años, según la clase de sitio.

Tecnología de aprovechamiento: el apeo de árboles es con motosierra y el arrastre se prevé que sea con bueyes. En función de la pendiente de los terrenos, así será la demanda de trochas de arrastre. Al igual que para el uso anterior, las pendientes y la textura superficial son a cierto nivel de severidad, limitantes para el desplazamiento de los bueyes.

Tecnología de conservación: a) Fajas y rondas para la prevención de incendios, los cuales son un riesgo en la zona, no por las condiciones climáticas sino por la actividad de rozas en sistemas de producción agrícola tradicional (siembras de maíz); b) Terrazas individuales, en pendientes superiores a los 40-50%. Terrenos superiores a 50% son dejados como tierras para protección.

En relación a la infraestructura, únicamente se requiere caminos internos (trochas) para el paso de bueyes y, obviamente, caminos de acceso para la labor de transporte del producto a mercados fuera de la microcuenca. Adicionalmente, veredas internas (caminos de 'a pie'), bacadillas para la carga del producto, agua para la ubicación de viveros, cercas y brechas de protección contra incendios.

El sistema organizacional requerido es el de tipo comité para coordinar el trabajo comunitario de establecimiento, mantenimiento, vigilancia, aprovechamiento y comercialización del producto. Requiere de intermediarios (contratistas, dueños de aserradero) para la comercialización de productos.

En relación al tamaño mínimo de área de manejo existen divergencias de criterio para

definirlo. Un criterio es el de identificar un área como apropiada si tiene al menos veinte a treinta hectáreas, este criterio es producto de experiencias tenidas con el manejo de plantaciones comunitarias con coníferas. Otro criterio igualmente válido es el de definir el tamaño adecuado de un rodal en función de las necesidades de productos forestales de la comunidad dueña de la plantación, de ésa manera, un área que pueda llegar a satisfacer la mayoría de la demanda, es una extensión más apta que otra que por su superficie no permite la satisfacción de ésa demanda (Morales 1996; Zannotti 1996)[7]. Para el presente caso se decidió tomar como punto de referencia el de 20-30 has. como área mínima apropiada.

En relación a la tenencia de la tierra, para éste tipo de uso es más apropiado el sistema de tierra de propiedad comunitaria, en comparación a los tipos privado y municipal o estatal. Un rasgo importante para el área es que debe cuidarse que la unidad de tierra a donde se desea implantar el uso no esté dentro de zona protegida o bien en zona de recarga hídrica por la ya mencionada alta capacidad de intercepción de lluvia que posee ésta especie, lo cual se traduce en una pérdida dentro de un balance hídrico (Price 1982).

5.5.2.3 Manejo de bosques naturales comunitarios de *P. maximinoi*; bajo el modelo centroamericano propuesto por PROCAFOR.

La superficie ocupada con bosque natural de coníferas en la microcuenca es de 641,6 has (9,6% de las tierras cultivables), de las cuales aproximadamente 110 son comunitarias (17% de tierras con bosque de coníferas). La especie predominante en estos bosques es *Pinus maximinoi* H.E. Moore, algunas veces mezclado con *Pinus tecunumanii*. Los rodales tienen entre una a dos hectáreas hasta quince o veinte has., localizadas en diferentes puntos en forma de 'parches' o islas.

Los bosques comunitarios, tradicionalmente han sido aprovechados para satisfacer demandas familiares de madera, para construcción de casas o bien para construcciones de

---

7 Morales J ; Zannotti R. (1996) (Consulta a expertos, comunic. personal)

edificaciones de servicio comunal. Ocasionalmente, han sido 'vendidos' a contratistas de la madera para agenciarse de fondos destinados a la introducción de algunos servicios básicos (energía eléctrica, agua, etc.).

Estos bosques, tal y como lo mencionan Elías (1993) y Quezada (1994), son de uso colectivo y administrados bajo formas de gobierno local. La principal responsabilidad de estas formas de gobierno -Comité de Tierras en el caso de la comunidad de Chilascó- es la de conceder los permisos de corta y el control es en función de número de árboles de tamaño aserrable. Ningún otro criterio silvicultural es aplicado, tanto para el aprovechamiento como para la protección y regeneración del bosque.

Dado la existencia del modelo centroamericano de manejo de bosques naturales de coníferas, impulsado por el Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria Forestal, CEMAPIF, con apoyo técnico del Proyecto de Capacitación Forestal -PROCAFOR- y la iniciativa de la Dirección General de Bosques y Vida Silvestre, DIGEBOS, en promoverlo y, de ser posible, institucionalizarlo, se plantea como un uso alternativo en la presente evaluación. El propósito es presentar una opción a la comunidad de Chilascó para el manejo de sus recursos forestales comunitarios sin por ello interferir en su forma de gobierno local.

Este modelo de manejo, sirve para definir uno de los tipos de uso a ser considerados en la presente evaluación y, sus atributos principales son los siguientes:

Los fines del uso son la obtención de productos maderables (troza, trocilla, leña) de bosque natural de coníferas, primordialmente de *P. maximinoi*, que es la especie predominante en este tipo de bosque dentro de la microcuenca. El destino de la producción es para consumo en la comunidad o bien para la venta, a través de intermediarios de la madera. Los beneficios adicionales de éste tipo de bosque están asociados con la protección de suelos (conservación de la condición hidrológica), regulación de flujos superficiales, resguardo de fauna silvestre y otros.

En términos de la intensidad de trabajo asociada al tipo de uso, puede cualificarse de media intensidad, principalmente por el requerimiento de mano de obra en labores de aclareos, cortas finales y preparación de sitios para regeneración; sin embargo, éstas actividades se concentran en períodos cortos de tiempo. Por el lado del capital necesario, el uso puede cualificarse como de media a alta intensidad, según la composición estructural de los rodales (madurez, volumen, diámetros medios, etc.). La ventaja de este tipo de uso, con respecto a las plantaciones, es que 'el capital' está presente en la masa arbórea, y es mucho más fácil de convertirlo a dinero que en el caso de aquellas.

Bajo éste modelo se aplican una serie de principios silviculturales que bien seguidos, garantizan la producción sostenible del bosque (Pereira 1996)[8]. Sobresalen los siguientes atributos:

Planificación silvicultural: el horizonte de planificación es en períodos de cinco años, identificando para cada año actividades específicas según algunos criterios silviculturales y económicos. Las acciones silvícolas están basadas en una identificación y marcación -en campo- de 'rodales', los cuales constituyen la unidad mínima de bosque geográficamente continua, cubierta con árboles de características casi homogéneas y que puede ser sujeta al mismo tratamiento silvicultural (Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria Forestal, CEMAPIF 1995).

Las guías del modelo definen los pasos para conducir la rodalización y levantamiento de la información dasométrica durante la etapa de inventario. Este último, tal y como lo describe FAO (1985) constituye un aspecto de particular importancia al trabajar con bosques naturales, puesto que el requisito 'volumen de madera presente' es evaluado con base en el inventario. Cabe mencionar que éste requisito sustituye a las técnicas de predicción de crecimiento y rendimiento utilizadas en el caso de plantaciones puesto que, al menos en bosques maduros, la capacidad productiva del bosque ya está expresada (en términos de volumen de madera presente).

Los aspectos dasométricos a determinar con el inventario incluyen, la pendiente, el tipo de

---

[8] Pereira L. (1996) (Consulta a expertos, comunic. personal)

suelo, el índice o clase de sitio, la clase de desarrollo (C0-C6)[9], especies, pisos (niveles estructurales), edad total promedio, altura total promedio, densidad, volumen, incrementos, diámetro (esencial en la definición del tipo de producto en cada aprovechamiento), resinación.

La planificación de las actividades incluye la determinación de la actividad a realizar en el rodal y el tipo de producto a extraer, los cuales constituyen la base económica para definir la estrategia para el propietario. Parte de la planificación es la etapa de cálculo y análisis de datos a efecto de llegar a elaborar un 'plan de manejo para el propietario' con información técnica y económica.

La duración del plan es de cinco años y el análisis económico se hace sobre éste horizonte; sin embargo, el horizonte biológico del tipo de uso es indefinido, puesto que se quiere propiciar el ordenamiento del bosque de tal forma que a cada año se tenga producción. La duración biológica de los turnos están definidos por la clase de sitio que para esta especie en la región se estima entre 24 y 32 años.

Tecnología silvicultural: las actividades silviculturales son propias de cada rodal y así de cada bosque, por lo tanto no es posible señalar que las actividades son las mismas y aún cuando entre dos tipos de bosques (de dos sitios o unidades de tierra diferentes) sean las mismas, con seguridad el nivel de cada una de ellas va a ser diferente. Esta situación determina que para efectos de evaluación de aptitud de tierras, principalmente económica, cada unidad de tierra/sitio necesita un modelo particular. Aún así, las actividades silviculturales que se pueden resumir bajo éste modelo son las siguientes: a) Plantación: en sitos de regeneración natural y/o repoblación artificial; b) Completación: para ayudar a la regeneración natural y reposición de planta; c) Labores de mantenimiento; d) Podas y raleos, las podas en función de necesidades silvícolas y existencia de mercados diferenciados por calidad de madera y los raleos generalmnte dos durante el turno.

Tecnología de aprovechamiento: el apeo de árboles es con motosierra y las podas y desrrames en forma manual (con machete). El arrastre de productos (trozas) es con bueyes, siendo

---

9 Son los diferentes estados de madurez del bosque y permite tener una base para definir el tratamiento que necesita el rodal y, facilita el cálculo de la Corta Anual Permisible.

considerados como limitantes para el desplazamiento de los productos, el grado de pendiente y textura superficial de los terrenos. La actividad de 'labrado'[10], facilita el arrastre y la carga a los camiones.

Tecnología de conservación: Este uso es por naturaleza asociado a una gestión de conservación, principalmente cuando se asocia a los recursos suelo y agua. Las 'talas rasa' prescritas no se consideran impactantes negativamente en la respuesta de los caudales de los ríos o que provoque elevadas pérdidas de suelo, siempre y cuando se garantice la regeneración natural o repoblación artificial. Pendientes mayor de 50%, se consideran inapropiadas para el uso, tanto por riesgos de erosión como por la Trabajabilidad silvicola, ambos requisitos importantes del uso (consulta expertos, 1996). Se recomiendan quemas controladas en los límites de rodales para la prevención de incendios.

En relación a infraestructura, se requieren caminos de acceso a los rodales y caminos internos para las labores de extracción. Aragón (1996)[11], señala que 200 metros lineales/ha constituyen una densidad adecuada de caminos internos y en terrenos de fuerte pendiente la densidad se incrementa hasta 700 m lineales/ha. Rodales cercanos a áreas agrícolas deben tener fajas de prevención contra incendios.

El tipo de tenencia de la tierra más apropiado es el de propiedad comunal (con título de propiedad o posesión).

En cuanto al área mínima de manejo, la consulta a expertos dio varias extensiones, en promedio se considera un área mínima manejable de bosques de 45 has en adelante (para fines comunitarios).

Finalmente, el sistema organizacional que se supone para conducir este tipo de uso es una forma de gobierno local, por ejemplo el Comité de Tierras o un Comité Forestal cuyas funciones generales serían coordinar las actividades silviculturales, comercializar los productos y administrar

---

10 Acción de descortezar la troza.

11 Aragón M. (1996) Georecursos. (Consulta a expertos).

los ingresos. Junto a un Comité comunal, es imprescindible una entidad, gubernamental o no, que proporcione asistencia técnica durante la ejecución del plan de manejo, principalmente en sus primeros cinco años.

5.5.2.4 Conservación del bosque nuboso como productor de agua.

En la actualidad, la cobertura vegetal típica de un bosque nuboso, ocupa una superficie de 2119.4 has (32 % de tierras de la microcuenca). La mayoría se encuentra en propiedad privada o bien formando parte de la zona núcleo de la Reserva de Biosfera Sierra de Las Minas.

Este tipo de uso, al igual que como lo consideró León (1994) puede calificarse como real o hipotético, según como se le quiera analizar. Es real en aquellas áreas donde en la actualidad existe una cobertura cuya composición florística y arquitectura corresponden con las de un 'bosque nuboso'. Sería hipotético en aquellas áreas donde a la fecha, por causas antropogénicas, no existe este tipo de cobertura.

Dada la importancia estratégica de esta microcuenca (Celada 1995) como productora de agua para fines de consumo humano, riego, hidroelectricidad y servicios turísticos, se seleccionó éste tipo de uso a efecto de compararlo con los otros usos forestales convencionales y valorarlo en términos de uno de sus productos principales, el agua.

Una razón más para la selección de éste uso es compararlo frente a otras alternativas productivas dentro de la microcuenca y de alguna manera identificar sus ventajas comparativas bajo un modelo de conservación y prestación de servicios como el de protección de suelos y de la condición hidrológica en beneficio de las poblaciones que aguas abajo dependen del vital líquido. Adicionalmente, tal y como menciona Budowski (1994), ecosistemas de bosque tropical húmedo donde la lluvia imprime condiciones diferentes con ecosistemas de zonas más secas, tales como una mayor acidez por lo que deben considerarse como zonas marginales para usos agropecuarios intensivos. El mismo autor considera que este tipo de bosques posiblemente valdrán más en su

estado natural que su conversión a otros usos no solo por su potencial ecoturístico y protección de la biodiversidad, sino por su valor en protección de aguas y suelos.

Siendo el objetivo central de la presente evaluación determinar la aptitud física y económica de las tierras de la microcuenca con fines forestales productivos y de conservación hidrológica, éste uso que ya está presente, fue seleccionado en virtud de que, por definición y por resultados experimentales, este tipo de uso (cobertura) provee la mejor condición hidrológica dentro de una cuenca (Chang 1982; Gutiérrez 1988; Bruijnzeel 1990; Chow *et al* 1996) -en comparación a otro tipo de coberturas- garantizando una mayor infiltración y menor escurrimiento superficial -asociado a procesos erosivos-, nivela el efecto de las lluvias y reducción de la depresión de caudales (Rosen 1984; Meunier 1996), y, principalmente, garantiza la calidad de las aguas (Rothacher, 1967; Faustino 1992; Stadmüller 1994). Con éstas funciones, contribuye a la satisfacción de diferentes demandas, dentro y fuera de la zona de captación. Sopper y Lull (1967) y Lull 1970, cit. por Stadmüller (1987), señalan que en teoría, el método más eficiente para aumentar la producción de agua es eliminar la cobertura forestal manteniendo una cobertura que garantice la protección del suelo. Sin embargo, en la práctica, es el bosque el que garantiza mejor y a más bajo costo una adecuada protección del suelo.

La base fundamental para la evaluación de la aptitud de las tierras de la microcuenca frente a éste uso lo constituyó el balance hídrico, a efecto de poder estimar el rendimiento de agua por cada unidad de tierra en términos de escurrimiento (agua excedente del balance hídrico). Para la realización de estos balances hídricos por unidad, se consideraron los diferentes elementos del ciclo hidrológico bajo este tipo de bosque, es decir, la precipitación incidente, la precipitación horizontal, la intercepción, la evapotranspiración y la capacidad de almacenamiento del suelo a una profundidad dada. El producto del balance, agua de escorrentía se estimó como un potencial bruto y no se hizo diferenciación entre escurrimiento superficial y subsuperficial. En el acápite de descripción de las características de las unidades de tierra, se detalla el procedimiento utilizado.

Para los fines del presente trabajo, este uso no presenta actividades específicas o insumos, dado que su existencia depende mas que nada de una voluntad local y política, de allí en adelante, se

supone que la naturaleza es capaz de expresarlo a través de procesos de regeneración y sucesión ecológica, siempre y cuando existan las condiciones biofísicas que el mismo requiere. De esa cuenta no se definen especificaciones de intensidad de trabajo, capital, tecnología, escala de operaciones e infraestructura.

Probablemente el único rubro que habría que considerar es el relacionado con la 'administración' del uso, identificándose al estado -directamente o por delegación' como el más apropiado, dado la naturaleza de bien común que tiene el producto a obtener, en éste caso el agua. En el presente caso, se supone a la Fundación Defensores de La Naturaleza como la organización administradora de éste tipo de uso.

Para asignar un valor al producto de este tipo de uso, el agua, existen varios métodos, los más sencillos y directos son los establecidos en función de precios administrados, con base en el mercado (consumo humano y riego) y en términos de costo energético (Turcios 1995). Conociendo los distintos usos que tiene el agua, los volúmenes utilizados para cada uso y los valores tarifarios de cada uno, puede establecerse un precio para una unidad de agua, en éste caso el m^3. En el presente caso, el agua de la microcuenca es utilizada para consumo humano (población de Chilascó) y, durante cuatro meses del año, a través de un canal derivador, es hecha llegar a las aguas del Río San Jerónimo donde se utiliza para riego en el Valle del mismo nombre. Otro uso a un futuro inmediato es un proyecto hidroeléctrico (Alcalde Municipal de San Jerónimo, B.V., 1996; Jordán M. 1996)[12] que utilizará las aguas de la unidad de riego a donde se realiza el trasvase mencionado, lo que significa que durante una época del año el agua proveniente de la microcuenca Chilascó tendrá un doble propósito, el riego y la generación de energía eléctrica. Para efectos del presente trabajo, en la definición y cálculo de una tarifa ponderada se supone en funcionamiento el proyecto hidroeléctrico.

---

12 Alcalde Municipal de San Jerónimo (1996); Jordán M. (1996) (Oficina Proyectos Hidroeléctricos Provinciales) (Consulta a expertos)

5.5.3 Identificación y consulta a expertos.

El esquema metodológico exige una identificación y consulta a expertos en los usos de la tierra seleccionados en la etapa anterior. Los pasos seguidos fueron:

- Identificación y selección de los expertos en los usos de la tierra seleccionados. Esto se hizo a nivel local, regional, nacional e internacional.

- Contacto con los expertos y determinación de su anuencia a participar. Incluyó una exposición de los propósitos de su participación dentro de la presente investigación.

- Diseño preliminar de instrumentos de consulta relacionados con la experiencia y ubicación de los expertos, las especificaciones de cada tipo de uso y sus posibles requerimientos y cualidades y características de la tierra.

- Entrevista con los expertos para determinar sus juicios, opiniones y conocimientos sobre los usos de la tierra considerados, especialmente en cuanto a sus exigencias fisiológicas, de manejo y conservación, rendimiento óptimo teórico y/o bajo las condiciones del área, productos, insumos, precios, etc.

El cuadro 21 presenta el listado de los expertos consultados en los diferentes tipos de uso.

5.5.4 Identificación y selección de requisitos de uso de la tierra (RUT).

Una vez definidos los tipos de uso se procedió a determinar los requisitos o requerimientos de cada uno de ellos, tomando en cuenta la importancia para el TUT, la disponibilidad de información, las recomendaciones de las directivas de FAO (1976, 1985) y las experiencias de otros autores que han trabajado en evaluación de tierras y especialmente con usos de naturaleza forestal o

con fines de conservación en cuencas hidrográficas (Hawes y Hamilton 1980; Celada 1993; León 1994) y el juicio de expertos en cada tipo de uso.

De acuerdo al esquema de FAO, los RUT fueron divididos en los siguientes grupos:

- **Requerimientos para el crecimiento:** condiciones de la tierra necesarias para la supervivencia exitosa y el crecimiento de las especies representadas en el uso (forestal y de conservación). Basadas principalmente en clima y suelos. En el caso de evaluaciones de tierra con fines forestales algunos requerimientos de crecimiento se reemplazan por estimaciones de condiciones forestales presentes tales como, requerimientos basados sobre estimaciones de volumen, crecimiento y rendimiento del bosque (FAO 1976, 1985; Young 1993). Para el caso de un uso forestal productor de agua, un requerimiento sería una susceptibilidad para la producción de agua, la cual es relevante para estimar la aptitud hidrológica de una cuenca hidrográfica.

- **Requerimientos de manejo:** asociados a las características estables de la tierra y factores socioeconómicos externos de la producción, necesarios o deseables para un manejo exitoso del uso a ser considerado.

- **Requerimientos de conservación:** son las condiciones que con probabilidad afectan la respuesta de los suelos, los caudales y la vegetación a los cambios propuestos en el uso y manejo de la tierra. Dentro de éstos se ubicaron los requerimientos de "condición hidrológica" y riesgo de erosión, ambos de particular relevancia para efectos de rehabilitación o protección de cuencas hidrográficas (Hawes y Hamilton, 1980; FAO 1985; YOUNG 1993).

De cada requisito de uso se definieron las cualidades de la tierra correspondientes y las características de las misma que las definen. Cada cualidad fue ubicada en niveles de severidad, una forma de categorizar en clases según la combinación de las características. Esta jerarquización es producto de la consulta a expertos y algunos juicios dados por información generada en la presente

evaluación. Los cuadros 2, 3, 4 y 5, presentan los requisitos de cada tipo de uso. Esto orientó la construcción de los modelos de evaluación con ALES.

En la selección de requisitos se incluyeron únicamente los relevantes al uso y en la definición de cada uno de ellos, se consideran el menor número posible, más aún como en el presente caso, la experiencia y documentación sobre los efectos de las características sobre las cualidades de la tierra y de éstas sobre los usos, es reducida o sencillamente no existe. Además, en la construcción del modelo de evaluación asistida con ALES, es recomendable incluir el menor número posible de características por dos razones: 1) los árboles de decisión son más fáciles de construirlos y modificarlos, y 2) es más fácil de entender por el evaluador y el usuario (Rossiter *et al* 1993).

Arze (1996) (comunic. personal)[13] y León (1994) recomiendan no incluir una misma característica más de tres veces para diferentes requisitos dado el peso que la característica puede tener sobre la decisión final de aptitud física o económica.

Para los usos considerados fueron definidos diecisiete. A continuación se da una breve descripción de cada uno de ellos y se mencionan las características que los integran. Estos requisitos-cualidades son agrupados de acuerdo a la clasificación anteriormente mencionada: de crecimiento, de manejo y de conservación.

5.5.4.1 Requisitos de crecimiento

- **Condición de enraizamiento y absorcion nutrientes, (CEAB)**: Esta referido a los aspectos físico-químicos del suelo que definen la zona de desarrollo del sistema radicular y el grado de absorción de nutrientes, determinado por el grupo de suelo (FAO 1985, AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)/MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACION, GUATEMALA 1995).

---

13 Arze J. (1996) CATIE (Fase de entrenamiento en ALES).

Cuadro 3. Requisitos de uso de la tierra para *Cupressus lusitanica* Mill. en plantaciones con fines de aserrío, bajo administración comunitaria. Evaluación de tierras, microcuenca del Río Chilascó, Guatemala, 1996.

Cualidad de la tierra	Característica de la tierra	Unidad	Clasificación de Aptitud Física				
			Apta			No Apta	
			1	2	3	4	5
A. QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO							
Disponibilidad de humedad	Precipitación pluvial	mm	1500-2000	1000-1500	500-1000	< 500	
	Textura interna del suelo	clase	Franco Arcilloso	Franco, Franco-Arc-Arenoso	Arcilla	Arena	
	Drenaje interno	clase	Bien drenado	Mod. Bien Drenado	Imperfecto	Escaso/Excesivo	
	Profundidad efectiva del suelo	cm	> 80	50-80	20-50	< 20	
Regimen de temperatura	Altitud	msnm	1500-2500	2500-3000 1000-1500	600-1000	< 600 >300	
Condiciones de enraizamiento/absorc. de nutrientes	Tipo de Suelo	Grupo Taxonómico	Tropudalfs, Melanudands Humitropepts, Hapludolls		UstifluventsUstorthents	TropaqueptsTropaquents	Subgrupos Lithic
Riesgo Heladas	Posición Fisiográfica	Paisaje	Ladera Uniforme	Ladera Ondulada Pie de Monte	Valle Intercolinar Depresión		
B. VOLUMEN FORESTAL							
Rendimiento Estimado de madera	Potencial Productivo del Sitio	Clase	Productivo	Medio	Pobre	Improductivo	
C. QUE AFECTAN EL MANEJO							
Trabajabilidad Silvicola	Pendiente	%	< 20	20-30	30-40	40-50	> 50
Facilidad a la Comercialización	Accesibilidad	Clase	Muy Accesible	Accesible	Poco Accesible	Accesible Temporal	No Accesible
Disponilidad de tierra	Area Comunal Disponible	has.	20-30 > 30	15-20	10-15	5-10	< 5
	Zona de Reserva	Zona	Fuera de Area Prot.	Amortiguamiento.	Uso Sostenido	Zona Recarga	Zona Núcleo
D. QUE AFECTAN LA CONSERVACION							
Riesgo de erosión	Erosión observada	Clase	Leve	Moderada	Fuerte	Severa	Muy Severa
	Pendiente promedio	%	< 20	20-30	30-40	40-50	> 50

Cuadro 4. Requisitos de uso de la tierra para manejo de bosques naturales de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, con fines de aserrío y bajo administración comunitaria. Modelo PROCAFOR-DIGEBOS. Evaluación de tierras, microcuenca del Río Chilascó, Guatemala, 1996.

Cualidad de la tierra	Característica de la tierra	Unidad	Clasificación de Aptitud Física				
			Apta			No Apta	
			1	2	3	4	5
A. VOLUMEN FORESTAL							
Volumen de Madera Presente	Clase de Sitio[1]	Clase	I	II	II	IV	V
	Volumen por Especie	m^3/ha	> 250	200-250	150-200	100-150	< 50
	Incremento de volumen por Especie[1]	m^3/ha	> 10	7-10	4-7	2-4	< 2
	Area Basal/ha[1]	m^2/ha	24-30	20-24	18-20	15-18	<15
	Dap½ rodales	cm	> 40	30-40	20-30	< 20	
B. QUE AFECTAN EL MANEJO							
Trabajabilidad Silvicola	Pendiente	%	< 20	20-30	30-40	40-50	> 50
	Textura superficial	clase	Franco Arenoso	Franco Arcilloso	Arena	Arcilla	
Facilidad a la Comercialización	Accesibilidad	Clase	Muy Accesible	Accesible	Poco Accesible	Accesible Temporal	No Accesibl
Disponilidad de tierra	Bosque Comunal Disponible	has	> 45	35-45	25-35	10-25	< 10
	Zona de Reserva	Zona	Fuera de Area Prot.	Amortigua miento.	Uso Sostenido	Zona Recarga	Zona Núcleo
C. QUE AFECTAN LA CONSERVACION							
Riesgo de erosión	Erosión observada	Clase	Leve	Moderada	Fuerte	Severa	Muy Severa
	Pendiente promedio	%	< 20	20-30	30-40	40-50	> 50
Facilidad para la infiltración de agua	Grupo Hidrológico de Suelo	Clase	A	B	C	D	
	Cubrimiento del Suelo	%	> 80	60-80	40-60	20-40	< 20

[1] No incluídas en el sistema experto. El volumen y diámetro promedio pueden integrar el potencial presente de un bosque natural (Consulta expertos, 1996)

Cuadro 5. Requisitos de uso de la tierra para conservación del bosque nuboso como productor de agua. Evaluación de tierras, microcuenca del Río Chilascó, Guatemala, 1996.

Cualidad de la tierra	Característica de la tierra	Unidad	Clasificación de Aptitud Física				
			Apta			No Apta	
			1	2	3	4	5
A. FISICO-BIOLOGICOS							
Susceptibilidad a la Producción de Agua	Escurrimiento (Excedente del Balance Hídrico)	mm	2000	1000-1500	500-1000	< 500	
B. QUE AFECTAN LA CONSERVACION							
Condición Hidrológica	Uso Actual Predominante	Clase	Bosque natural	Matorral Plan Forest Plant For+Mat, Bosque+Mat	Cultivo anual + Matorral, Cultivo limpio Trad + Mat.	Cultivo limpio intensivo	
	Escurrimiento (Excedente del Balance Hídrico)	mm	2000	1000-1500	500-1000	< 500	
	Pendiente promedio	%	< 20	20-30	30-40	40-50	>50

- **Humedad disponible (HD),** referido a los factores que favorecen o afectan la disponibilidad de agua en el suelo, como precipitación promedio anual, clase de drenaje, textura del suelo y profundidad efectiva.

- **Rendimiento estimado de madera (ciprés), (REM),** referido a las predicciones del rendimiento forestal o la relación crecimiento-sitio: índice de sitio o potencial productivo del sitio (FAO 1985; Young 1993).

- **Rendimiento estimado de madera (pino), (REm),** referido a las predicciones del rendimiento forestal o la relación crecimiento-sitio: potencial productivo del sitio (FAO 1985; Young 1993).

- **Riesgo de heladas, (RH),** referido a los riesgos de daño o muerte por la presencia de heladas, determinado por la posición fisiográfica de la unidad (FAO 1985).

- **Régimen de temperatura (RT) (pino en plantación),** referido a las condiciones de temperatura deseables para el buen crecimiento, determinado por la altitud.

- **Susceptibilidad a la producción de agua (SPA),** referido a las condiciones que facilitan la producción de agua, determinado por la relación de los componentes del balance hídrico.

- **Volumen de madera presente (bosque natural de coníferas), (VMP):** referido al potencial productivo del bosque expresado por volumen por especie y diámetro promedio de los rodales.

5.5.4.2 Requisitos de manejo

- **Facilidad para comercialización (Com),** referido a los aspectos que favorecen o limitan la comercialización de los productos de un tipo de uso, como la accesibilidad.

- **Trabajabilidad silvícola (plantaciones) (TS)**, referido al grado de dificultad para realizar trabajos de reforestación, mantenimiento y extracción de productos, determinado en función de la pendiente del terreno.

- **Trabajabilidad silvícola (bosques naturales) (TSBN)**, al igual que en el caso anterior, adicionando la clase textural a la pendiente promedio como características que definen el grado de dificultad de la cualidad.

- **Disponibilidad de tierra (incentivos fiscales) (DT)**, se refiere a la disponibilidad de áreas mínimas para el establecimiento y manejo de plantaciones con incentivos fiscales, en función de área de régimen privado y la zona de localización dentro de la Reserva de Biosfera.

- **Disponibilidad de tierra comunal (DTC)**, se refiere a los aspectos que determinan áreas mínimas de manejo para éste tipo de uso como area de régimen comunitario disponible y zona de le Reserva de Biosfera.

5.5.4.2 Requisitos de conservación

- **Mejoramiento de la condición hidrológica (CHi) (pino en plantación)**, se refiere a los aspectos que determinan la mejora cualitativa de una plantación de pino a la condición hidrológica actual. Se determina por uso actual predominante, grupo hidrológico de suelo y pendiente promedio (suelo forestal).

- **Facilidad para infiltración de agua superficial (bosque natural de coníferas) (FIAS)**, se refiere a los aspectos que facilitan o dificultan la infiltración de agua que escurre superficialmente, como grupo hidrológico de suelo y cubrimiento de suelo. En el fondo es un concepto similar al de 'condición hidrológica'.

- **Riesgo de erosión (RE)**, se refiere a los aspectos limitantes de conservación del suelo bajo determinado tipo de uso, tales como la erosión observada y la pendiente promedio.

- **Condición hidrológica (Ch)**, se refiere a los aspectos que determinan la calidad de la condición hidrológica y las necesidades de restaurarla o protegerla, tales como uso actual predominante, escurrimiento (resultante del balance hídrico) y la pendiente promedio del suelo forestal (adaptado de SCS 1983; Chow 1964; Chow *et al* 1994).

5.5.5 Definición de unidades de mapeo e inventario de características de la tierra

5.5.5.1 Criterios para la homogenización de las unidades de mapeo.

Las unidades de mapeo fueron homogenizadas con base en dos características de la tierra:

- *Características fisiográfico-edafológicas* y;
- *Cobertura vegetal predominante.*

Ambas, en forma combinada definen complejos *suelo-cobertura* y por lo tanto, una **condición hidrológica** (Chow 1964) particular en cada unidad de mapeo, esta cualidad interesa ser determinada con fines de conservación y eventualmente para estimar la cualidad de susceptibilidad para producir agua, con usos reales o hipotéticos, y para determinar necesidades relativas de restauración hidrológico-forestal.

Fueron requeridos dos mapas temáticos: **suelos y uso actual de la tierra**. Ambos son descritos como modelos de representación espacial discreta, los cuales separan áreas con igual valor para límites diferentes (Stein *et al.* 1994).

Previamente se digitalizó la base topográfica de la microcuenca, representada por todas las curvas de nivel con intervalos a cada 20 metros. Luego se elaboró el modelo de elevación digital, MED y a partir de este, el mapa de pendientes con el comando SURFACE de IDRISI (Eastman 1992). Utilizando el comando RECLASS, se elaboró un mapa de pendientes basado en las categorías definidas por Sheng (FAO 1990).

El *mapa de suelos* fue elaborado con base en información disponible, complementado con un levantamiento fisiográfico-edafológico. El levantamiento de suelos se hizo a nivel de semidetalle (escala 1:50,000) siguiendo la metodología standard para este tipo de trabajo. Incluyó trabajo de gabinete-campo-laboratorio-gabinete.

El procedimiento general para la elaboración de este mapa fue el correspondiente a un *método de muestreo por juicio*, el cual produce información que únicamente puede ser descrita utilizando un modelo espacial discreto. Dentro de este método se utilizan relaciones entre atributos del suelo y características de *formas de tierra* (las cuales son observadas en campo o vistas sobre fotos aéreas) para seleccionar sitios de muestreo. Buringh *et al.* (1962) mencionan un número mínimo de cuatro observaciones por cm^2 del mapa final; sin embargo, por la existencia de información mínima, tiempo y recursos disponibles, la densidad de observaciones realizadas fue considerablemente menor.

Las unidades de suelos fueron inicialmente definidas con base en criterios fisiográficos (posición en el paisaje y relieve) y geomorfológicos (material parental, grado de desarrollo del suelo). En forma combinada, durante el trabajo de campo, se hizo el chequeo de límites fisiográfico-edafológicos, descripción de perfiles en puntos representativos de la unidad, barrenamientos y colección de muestras de suelo para su análisis en laboratorio.

Se describieron 20 perfiles de acuerdo a la guía de descripción de perfiles (Soil Survey Staff 1992); se hizo igual número de barrenamientos para control y chequeo de límites de unidades y fueron colectadas un total de 77 muestras de suelo. Las determinaciones analíticas en laboratorio

fueron definidas en función de los requisitos preliminares de cada uno de los tipos de uso considerados en la presente evaluación. En el anexo 6 se presentan los resultados de análisis de laboratorio).

Con base en la información fisiográfica-edafológica y los resultados de análisis de laboratorio se hizo la clasificación de suelos hasta el nivel de subgrupos (Soil Survey Staf 1992). El mapa de suelos presenta 11 unidades edafológicas, agrupadas en cuatro consociaciones[14] y 3 asociaciones[15], de suelos.

Dado que el análisis fisiográfico determinó la existencia de 20 unidades y existiendo similitud por clase de suelos entre algunas de ellas, se realizó una comparación de los estadísticos (valor mínimo, valor máximo, valor total, rango, promedio, desviación standard) de la característica *pendiente promedio*. Para esto se utilizó el módulo EXTRACT de IDRISI, utilizando el archivo del mapa fisiográfico como de definición de áreas y el de pendientes de la microcuenca como variable a analizar. Este análisis permitió la unificación de cuatro unidades, quedando el mapa fisiográfico-edafológico con diecisiete unidades.

El *mapa de uso actual de la tierra*, se elaboró a partir de información temática existente para la Reserva de Biosfera Sierra de Las Minas (DEFENSORES DE LA NATURALEZA, 1996).

Sobre esta base fueron desagregadas o unificadas algunas unidades de uso, en función de los fines de la presente evaluación y la escala de publicación que define el área mínima mapeable. Este procedimiento fue auxiliado con procedimientos de Sistemas de Información Geográfica, SIG (sobreposiciones, extracciones, cruzamientos, etc.).

Las unidades de uso fueron identificadas por categorías de uso mayor de acuerdo con la leyenda convencional para éste tipo de tema. Las categorías de uso mayor resultantes fueron nueve.

---

14 Los suelos de la unidad en un 70% o más son representados por el perfil modal.

15 Los suelos de la unidad de mapeo son representados por uno u otro de los perfiles modales de la unidad.

Ambos mapas, suelos y uso de la tierra, digitalizados, rasterizados y convertidos a formato IDRISI fueron utilizados para reclasificar, sobreponer, calcular áreas y crear el mapa base de la evaluación. De éste proceso resultó un mapa con 60 combinaciones suelo-cobertura, reducidas a 42 por el criterio de área mínima cartografiable (12.5 Has. para la escala 1:50000).

Al evaluar la cualidad 'condición hidrológica' bajo una cobertura futura, los distintos complejos de uso dentro de una misma unidad fisiográfico-edafológica, no presentan diferencia. Caso contrario sucede evaluando la misma cualidad para conocer 'necesidades de restauración hidrológica', siendo así justificable la separación de las unidades fisiográfico-edafológicas en sus diferentes complejos de cobertura. Por limitaciones de tiempo, en la presente evaluación únicamente fueron consideradas las unidades de mapeo 'superiores' ubicando dentro de ellas el uso actual predominante o el complejo de uso predominante[16]. Para evaluaciones de mayor detalle en la microcuenca es posible considerar las 42 unidades de mapeo separadas; para ello los modelos de evaluación construidos contemplan las diferentes clases de uso de la tierra identificadas.

El anexo 7 presenta un esquema que ilustra el proceso seguido para definir el mapa base de la evaluación y su conexión con ALES a través del módulo ALIDRIS, con el cual es posible desplegar los resultados de la evaluación -física y económica- o bien la reclasificación de la imagen con alguna de las características contenidas en la base de datos de ALES.

5.5.5.2 Levantamiento de características y cualidades de la tierra.

Las características son *atributos medibles de la tierra* y en el proceso de levantamiento de las unidades de tierra, algunas de sus cualidades y características son implícitamente determinadas. Otras características pueden ser levantadas después de la mapificación inicial. Esta etapa es el segundo componente de la evaluación de la tierra (FAO 1976, 1985, 1994; Young 1993).

---

16 Consociaciones y Asociaciones de Uso, bajo el primero concepto, significa que el 70% o más de la Unidad posee el uso señalado y bajo el segundo concepto, existe una presencia de los dos o más usos asociados.

El principio es que las actividades de levantamiento se dirigen a la obtención de la información requerida. Las características y/o cualidades de tierra a inventariar deberían corresponder a cada uno de los requerimientos de uso de la tierra, RUT, identificados y seleccionados en la etapa anteriormente descrita. En el presente caso, por razones operativas y dado la premura con que se establece la época lluviosa en la zona, se hizo un proceso combinado de definición de requisitos de uso -vía consulta a expertos- con la de inventario de características. Esto determinó la recolección de algunas características que finalmente no fueron consideradas en la construcción de los modelos de evaluación.

Una vez definidos los requerimientos de uso de la tierra con su correspondencia a cualidades de la tierra y características que las definen, se procedió a su depuración y definición. Para esto fueron organizadas en grupos con sus respectivos niveles de severidad -definidos en la consulta a expertos-. Dentro de las características hay algunas fácilmente medibles, ejemplo las que se definen en una escala numérica como altitud, precipitación y profundidad efectiva, por aparte hay otras de carácter cualitativo como clase de drenaje, clase textural y accesibilidad.

Para la presente evaluación fueron consideradas 25 características, agrupadas en: a) Factores de Conservación; b) Factores de Crecimiento; c) Factores de Manejo y Comercio; y d) Factores del Volumen. El cuadro 6 presenta las características que fueron consideradas, las cualidades con que se relacionan, la unidad de medida y la fuente de obtención. En los anexos se incluye la guía elaborada para orientar la consulta a expertos en cuanto a la clasificación de características y su categorización; a este proceso, en la construcción de sistemas expertos, se le considera una 'captura de conocimiento' (Arze 1993). A continuación se presentan los grupos de características, denominadas formatos en ALES, cada una con sus categorías o clases. 22 de ellas fueron ingresadas en forma directa a ALES y tres fueron definidas con árboles de decisión a partir de algunas características simples.

Grupo 1: 'Conservación', Factores de Conservación (6)

1 **Ero, Erosión observada**
Ele (Leve)
EMo (Moderada)
EFu (Fuerte)
ESe (Severa)
EMS (Muy Severa)

2 **CuS, Cubrimiento del suelo**
MBj (Muy Bajo (<20%)) [0-20 %]
Baj (Bajo (20-40)) [20-40 %]
Med (Medio (40-60)) [40-60 %]
Alt (Alto (60-80)) [60-80 %]
MAl (Muy Alto (80-100)) [80-100 %]

3 **TxS, Textura del suelo superficial (para Condición hidrológica)**
FAr (Franco Arcilloso)
Fra (Franco)
FrA (Franco Arenoso)
FAA (Franco Arcillo Arenoso)
AAr (Arcillo Arenoso)
AFr (Arena Franca)

4 **GHS, Grupo hidrológico de suelo**
A (Baja Escorrentía)
B (Mod. Escorrentía)
C (Alta Escorrentía)
D (Elevada Escorrentía)

5 **UAP, Uso actual predominante**
Bos (Bosque)
Mat (Matorrales)
PlF (Plantación forestal)
Pas (Pastos naturales)
CaT (Cultivo anual tradicional)
CaE (Cultivo anual exportación)
CuM (Cultivo anual + Matorral)
PlM (Plantación Forestal + Matorral)
BoM (Bosque + Matorral)

6 **Pen, Pendiente promedio (suelo forestal)**
Sv (Suave) [0-20 %]
Mo (Moderada) [20-30 %]
Ft (Fuerte) [30-40 %]
MF (Muy Fuerte) [40-50 %]
Esc (Escarpe) [50-300 %]

Grupo 2: 'Crecimiento', Factores de crecimiento (9)

1 **Dre, Drenaje Interno**
ExD (Excesivamente drenado)
MoE (Moderadamente excesivo)
BDr (Bien Drenado)
MoD (Moderadamente bueno)
IDr (Imperfecto)
EsD (Escasamente drenado)

2 **Ppc, Precipitación media anual (Ciprés)**
Reg (Regular) [0-1000 mm/año]
Bue (Buena) [1000-1500 mm/año]
Opt (Optima) [1500-2500 mm/año]

3 **Ppa, Precipitación media anual (Pino)**
B ((Baja < 800)) [500-800 mm/año]
Mb (Moderadamente baja (800-1200)) [800-1200 mm/año]
Me (Media (1200-1500)) [1200-1500 mm/año]
O (Optima (1500-2000)) [1500-2000 mm/año]
E (Excesiva (> 2000)) [2000-4000 mm/año]

4 **Txt, Textura del suelo (para disponibilidad de humedad)**
FA (Franca Arcillosa)
F (Franca)
A (Arcilla)
FAr (Franco Arenosa)
FAa (Franco Arcillo-arenosa)

5 **Pes, Profundidad efectiva del suelo**
Su (Superficial (< 20)) [0-20 cm]
Pp (Poco profundo (20-40)) [20-40 cm]
MoP (Moderadamente profundo (40-60)) [40-60 cm]
Pro (Profundo (60-90)) [60-90 cm]
MPr (Muy profundo (>90)) [90-250 cm]

6 **Alt, Altitud (pino)**
MB (Muy Baja (<1000)) [500-1000 msnm]
B (Baja (1000-1500)) [1000-1500 msnm]
MoB (Moderadamente Baja (1500-1800)) [1500-1800 msnm]
Ad (Adecuada (1800-2000)) [1800-2000 msnm]
Al (Alta (2000-2300)) [2000-2300 msnm]
MA (Muy alta (>2300)) [2300-3500 msnm]

7 **Pfs, Posición fisiográfica**
LU (Ladera Uniforme)
LO (Ladera Ondulada)
PM (Pie de Monte)
Me (Meseta)
VI (Valle Intercolinar)
De (Depresión)

8 **GSu, Grupo de suelo**
Mel (Melanudands)
Hum (Humitropepts)
Hpl (Hapludolls)
Lit (Lithic)

9 **Esc, Escurrimiento (Agua excedente)**
Baj (Esc. Bajo (< 500 mm)) [0-500 mm]
Med (Esc Medio (500-1000 mm)) [500-1000 mm]
Alt (Esc Alto (1000-2000 mm)) [1000-2000 mm]

Grupo 3: 'Manejo', Factores de manejo-comercio (6)

1 **Cre, Costo relativo para transitar (Acceso)**
Mbj (Muy Bajo) [0-400]
Baj (Bajo) [400-1000]
Mod (Moderado) [1000-1500]
Alt (Alto) [1500-2000]
Mal (Muy alto) [2000-3500]

2 **Acc, Accesibilidad**
NAc (No Accesible)
AcT (Accesible Temporalmente)
PAc (Poco Accesible)
Ac (Accesible)
MAc (Muy Accesible)

3 **AMC, Area comunal disponible (Plantación comunitaria)**
Ins (Insuficiente) [0-5 Has]
MoI (Mod. Insuficiente) [5-10 Has]
MoA (Mod. Aceptable) [10-15 Has]
Ace (Aceptable) [15-20 Has]
Opt (Optima) [20-50 Has]

4 **ZRB, Zona de la Reserva**
FAP (Fuera del Area Protegida)
ZAm (Zona de Amortiguamiento)
ZUS (Zona de Uso Sostenido)
ZRe (Zona de Recarga Hidrica)
ZNu (Zona Núcleo)
Fra (Franca)

5 **AMCB, Area comunal con bosque disponible (Pinus)**
MBj (Muy Baja) [0-10 Ha]
Baj (Baja) [10-25 Ha]
Reg (Regular) [25-35 Ha]
Ace (Aceptable) [35-45 Ha]
Opt (Optima) [45-500 Ha]

6 **Apd, Area privada disponible**
Nom (No Manejable (< 75 Has)) [0-75 Has.]
Mod (Moderada (75-100 Has.)) [75-100 Has.]
Ace (Aceptable (100-135 Has.)) [100-135 Has.]
Opt (Optima (>135 Has.)) [135-5000 Has.]

Grupo 4: 'Volumen', Factores del volumen (4)

1 **PPS, Potencial productivo del sitio (ciprés)**
Pob (Pobre)
Med (Medio)
Pro (Productivo)

2 **VoE, Volumen por especie (bosque natural de Pinus)**
Baj (Bajo) [0-100 m3]
Med (Medio) [100-250 m3]
Alt (Alto) [250-500 m3]

3 **DaP, Diámetro promedio de rodales (bosque natural de Pinus)**
NAd (No Adecuado) [0-20 cm]
Ace (Aceptable) [20-30 cm]
MOp (Mod. Optimo) [30-40 cm]
Opt (Optimo) [40-150 cm]

4 **PSP, Potencial productivo del sitio (pino)**
Pob (Pobre)
Med (Medio)
Alt (Alto)

5.5.5.2.1 Determinación de características de la tierra con información limitada.

En la etapa preliminar de la presente evaluación de tierras y durante la definición de algunos requerimientos dentro de cada tipo de uso, fueron evidentes serios vacíos de información en aspectos como:

- Características para definir y evaluar un requisito y aún para evaluar la aptitud física y/o económica de un tipo de uso, tal el caso del bosque nuboso productor de agua.
- Información sobre los valores de determinadas características, ejemplo accesibilidad dentro de las unidades de tierra, escurrimiento, potencial productivo del sitio y volumen de madera presente por especie.

Dado que la determinación de las características anteriormente citadas era de suma importancia para poder concretar, sin que esto signifique ser concluyentes, el proceso de la evaluación física y económica de las tierras de la microcuenca, citamos el procedimiento seguido para su estimación. Estos procedimientos son parte de la estrategia frecuentemente utilizada en la construcción de sistemas expertos, *'educated guess' (adivinanza educada)* (Saarenmaa 1989), la cual significa un procedimiento de solución basado en el conocimiento o experiencia de expertos sobre el tema en cuestión (Arze 1993).

Cuadro 6. Listado de requisitos de uso de la tierra, características que los definen y fuente de determinación. Evaluación de tierras microcuenca del Río Chilascó, Guatemala, 1996.

Requerimientos	Factor (es) diagnóstico (característica)	Unidad de medida	Método de determinación
A. Que afectan el crecimiento			
Disponibilidad de humedad	Precipitación pluvial (pino) y (ciprés) Textura suelo Prof. efectiva del suelo Drenaje interno (p/*C. lusitanica*)	mm cm Clase	Registros meteorológicos (INSIVUMEH 1970-83) Análisis texturas (Bouyoucos), Laboratorio y determinación de textura interna suelo. Lectura perfil (campo) Lectura perfil (campo)
Condiciones de enraizamiento/Absorción de Nutrientes	Grupo de Suelo	clase	Keys to Soil Taxonomy (1992). Basado en horizontes diagnóstico (propiedades físico-químicas determinadas en Laboratorio, USAC 1996) y régimen de humedad y temperatura del suelo.
Régimen de Temperatura	Altitud (pino)	msnm	Hojas topográficas, Modelo de Elevación Digital y altímetro.
Riesgo a Heladas	Posición fisiográfica en el Paisaje	clase	Fotoidentificación con chequeo de campo
Susceptibilidad a la producción de agua	Escurrimiento (Agua excedente)	mm	Balance hídrico mensual considerando Precipitación bruta, Evtp., Almacenamiento en el suelo e Intercepción
B. Volumen forestal			
Rendimiento Estimado de Madera (plantaciones) Volumen de madera presente (bosque natural)	Potencial Productivo del Sitio Volumen por especies Dap medio/rodales	clase metros cúbicos cm	Información Secundaria y Curvas de Indice de Sitio Parcelas temporales de muestreo (método PROCAFOR 1996). Información dasométrica de campo.

Continúa cuadro 6. . .

C. Que afectan el manejo			
Trabajabilidad silvicola	Pendiente promedio Grupo Textural Superficial (s/bosque natural)	% clase	MED (SIG) Análisis texturas (Bouyoucos), Laboratorio
Facilidad a la comercialización	Accesibilidad	Clase	Campo y SIG (Fricción por Uso, caminos y pendiente)
Disponibilidad de Tierra Comunal	Area comunal con Bosque (bosque nat. coniferas) Area Comunal Disponible (p/plantaciones) Zona de Reserva de Biosfera	Has Zona de Uso	Mapa de catastro (preliminar), esc. 1:50,000. y medición planimétrica. Zonificación de la Reserva (Defensores de la Nat. 1996)
Disponibilidad de Tierra (Incentivos Fiscales)	Area Privada Disponible Zona de Reserva de Biosfera	Has Zona de Uso	Mapa de catastro (preliminar), esc. 1:50,000. y medición planimétrica. Zonificación de la Reserva (Defensores de la Nat. 1996)
D. Que afectan la conservación			
Riesgo de erosión	Erosión observada Pendiente promedio	Clase %	Estimación en campo Mapa de Pendientes (SIG) y campo (clinómetro)
Condición hidrológica	Uso Actual Predominante Escurrimiento (Agua excedente) Pendiente promedio	Clase mm %	Mapa de Uso de la Tierra (Defensores de la Nat. 1996) Balance hídrico mensual considerando Precipitación bruta, Evtp., Almacenamiento en el suelo e Intercepción Mapa de Pendientes (SIG) y campo (clinómetro)
Facilidad a la infiltración de agua	Grupo Hidrológico de Suelo Cubrimiento del suelo	Clase % área	Clasificación del SCS de EE.UU.(Chow *et al* 1994; Sheng 1990). Fotointerpretación con chequeos de campo

FUENTE: Guías de FAO (1976, 1985), Young (1993) y Consulta a expertos (1996).

Las características cuya estimación o calificación consumió un buen porcentaje de esfuerzo y tiempo, son las siguientes:

- ***Accesibilidad.*** Esta característica es posible cualificarla con base en la calidad y/o distancia de los caminos de acceso que comunican a las unidades de tierra con las fuentes de mano de obra, mercadeo y procesamiento; sin embargo, en unidades relativamente grandes no basta con calificar lo accesible que están las unidades, sino la dificultad o facilidad relativa para transitar sobre ellas.

Para determinar la accesibilidad se preparó un mapa de costo relativo para transitar, recurriendo a procedimientos de SIG. Los mapas fuente fueron: caminos (CAMINOS), uso de la tierra (USOCUEN) y pendientes (PEN50RMC). Cada uno de ellos, en sus valores o clases (Ids) fueron reclasificados, asignándole un valor de 0 a 10 dentro de una escala relativa de fricción, infiriendo el costo o esfuerzo de movilizarse bajo determinadas condiciones de uso, pendiente y camino (existencia y calidad). Las reclasificaciones se hicieron con el módulo ASSIGN, creando previamente los archivos de valores (modulo EDIT), tal como se muestra en la ilustración 2.

Posteriormente se hizo una operación de sumatoria (OVERLAY) entre las coberturas reclasificadas de pendiente y uso de la tierra, creando una imagen temporal donde los mayores valores (20) los dan las condiciones de matorral con pendientes superiores a 42%, es decir la mayor fricción es bajo estas condiciones. Por el contrario, una mayor facilidad para transitar se da bajo un poblado o cultivos limpios y pastos en pendientes menores a 10%. Posteriormente, con COVER de OVERLAY, se sobrepuso la imagen de caminos reclasificada a efecto de que las celdas donde cae un camino mantengan su valor por uso y pendiente. A éste imagen se le llamó FRICCION. Otra forma, quizá más real, es sobreponer primero las coberturas de caminos sobre uso y a éste producto, sumarle la cobertura de pendiente. Por el tiempo que se lleva el análisis siguiente, este procedimiento no se realizó

Luego se utilizó el módulo COST para elaborar el mapa de fricción relativa. Como punto de inicio se definió el poblado de Chilascó, aislándolo en una nueva cobertura (con un RECLASS), asignándole valores de 0 a todos las otras unidades y valor de 1 al poblado. Para correr el COST, previamente se reclasificó la imagen FRICCION, asignándole un valor negativo (-1) al ID 0, es decir, al fondo de la imagen, a efecto de que no dé resultados ilógicos (el 0 significa ninguna barrera y el algoritmo de COST las considera como superficies de fricción, en éste caso las de mayor facilidad para circular. Por el contrario, un valor negativo, lo considera como una barrera absoluta y por lo tanto por allí no se circula.

Dentro de COST se utilizó el algoritmo COSTGROW ya que éste trabaja cuando no hay barreras absolutas más que los límites de la imagen a analizar. Este proceso duró aproximadamente 12 horas, el resultado (llamado COST) dio valores de la imagen entre 0 y 2880.

Luego para definir las clases de costo relativo para transitar, representadas por el costo relativo de transitar por las unidades, hay dos maneras, una dividiendo en clases (cinco por ejemplo) el rango de valores presentado por la imagen de COSTO y asignando los menores valores como las zonas de mayor accesibilidad y las de mayor puntaje (que significa mayor dificultad de tránsito), como zonas de menor accesibilidad, así: 1) 0-400, Muy Accesible; 2) 400-1000, Poco Accesible; 3) 1000-1500, Moderadamente Accesible; 4) 1500-2000, No Accesible y 5) >2000, Inaccesible. En el presente caso el acceso es referido a la posibilidad de transitar en la unidad con formas convencionales: a pie, a caballo, en motocicleta y en vehículo de doble tracción. Puede crearse un mapa (reclasificando el producto de COST) con las clases indicadas.

Otra manera, es realizar un EXTRACT sobre el producto de COST, tomando como archivo de definición (áreas) el de unidades de tierra (mapa base de la evaluación). Con los estadísticos que determina éste proceso (valores promedio, máximo, mínimo, rango, desviación, intervalo para cada unidad de tierra) se toma la decisión para hacer las clases de accesibilidad. En el presente caso se tomó un intervalo de costo relativo para definir las clases de accesibilidad. Estos intervalos fueron retomados en ALES para definir la característica *accesibilidad* y con ella calificar la cualidad *facilidad para la comercialización*.

Ilustración 2. Reclasificaciones de los mapas de uso, pendientes y caminos, para estimar una superficie de fricción. Evaluación de tierras, microcuenca Río Chilascó, 1996.

Mapa de uso (cobertura)

Uso (Cobertura)	Id Actual	Id Fricción
Poblado	1	1
Agr-Pasto	2	2
Matorral	3	10
Agric (limpio)	4	2
Agr/Pasto/Matoral	6	6
Coníferas	7	7
Latifoliadas	8	5
Bosque Mixto	9	7
Plantación	10	4

Mapa de Pendientes

Pendiente	Id Actual	Id Fricción
0-10	1	1
10-24	2	3
24-32	3	4
34-42	4	6
42-50	5	8
> 50	6	10

Mapa de Caminos

Tipo camino	Id Actual	Id Fricción
Acc Todo tiempo	1	1
Acc Temporalmente	2	4
Vereda (herradura)	3	10

- ***Disponibilidad de áreas comunales y privadas***: En función del requisito disponibilidad de tierras, bajo plantaciones con incentivos o comunitarias, es necesario conocer la disponibilidad de áreas de cada categoría en las unidades evaluadas.

levantamiento de características de la tierra fueron ubicados -sobre fotografía aérea- algunos linderos y mojones de las áreas pertenecientes a la comunidad de Chilascó (información de guías).

Con esta información se elaboró un borrador de mapa catastral a escala 1:50,000, sobreponiéndole al mismo el mapa de unidades de tierra. Dentro de cada unidad de tierra se diferenciaron dos categorías de propiedad: privada y comunitaria, posteriormente se planimetró la superficie ocupada por cada una (con planímetro de áreas). Este procedimiento puede también ser realizado con procedimientos de SIG, a través de un cruce de los dos mapas (módulo CROSSTAB), previa digitalización y rasterización del mapa catastral.

- ***Potencial Productivo del Sitio.*** Como se menciona en el acápite 4.5, es posible predecir el volumen forestal de un sitio conociendo el potencial productivo del mismo que, en la terminología forestal se denomina *calidad de sitio*. La misma puede estimarse por métodos directos, por ejemplo el *índice de sitio* -siempre y cuando exista la cobertura arbórea- o por métodos indirectos como las relaciones suelo-sitio. Estos últimos son importantes para predecir el potencial de un sitio desprovisto de rodales -naturales o plantados- de la especie de interés (FAO, 1985; Salas De Las 1987; Tschinkel, 1972; Pritchet, 1986; Daniel *et al* 1982).

Una limitante encontrada en la presente evaluación fue precisamente la inexistencia de información sobre calidad de sitio para las dos especies forestales de los usos considerados. Para poder determinar el potencial productivo de las tierras de la microcuenca se utilizaron las siguientes fuentes de consulta (expertise):

- Criterio de expertos forestales en cuanto a factores -edáficos y climáticos- que favorecen o limitan el crecimiento de las especies (*P. maximinoi* y *C. lusitanica*).

- Utilización de curvas de clase de sitio, generadas para ambas especies en otras regiones, tal el caso de las curvas para rodales naturales de *P. maximinoi* generadas por PROCAFOR (1996), para la región de Alta y Baja Verapaz y, en el caso de *C. lusitanica*, las curvas de clase de sitio generadas por el Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria Forestal, CEMAPIF (1995).

- Revisión de fuentes secundarias sobre estudios de índice de sitio y suelo-sitio a efecto de determinar variables ambientales influyentes en el crecimiento.

- Revisión de trabajos de clasificación de sitios forestales con base en indices edáficos.

- Revisión de estudios de crecimiento y rendimiento realizados con ambas especies en Guatemala y asociación, cuando era posible, a las condiciones ambientales reportadas.

La consulta a expertos[17] determinó que las características que más influyen en la capacidad productiva de un sitio son las relacionadas con la disponibilidad de humedad, aereación y disponibilidad de nutrientes (Coile 1952; Salas De Las 1987; Carmean 1975; Alfaro 1983; Brown y Loewenstein 1978; Daniel *et al* 1979; Lundgren 1980; Pritchett 1986). Esto determina que los sitios que suelen ser mejores para ambas especies son las que poseen propiedades como las siguientes:

- Suelos profundos o muy profundos (mayor de 90 cm)
- Texturas livianas: franco arenosas para pino y franco arcillosas para ciprés.
- Bien drenados
- Alto potencial de fertilidad

El volumen de suelo disponible para las raíces, determinado por *la profundidad efectiva del suelo*, influye en el crecimiento de los árboles hasta el grado de que afecta los

---

17 En los sistemas expertos, un 'experto' es una persona -académico o no-, una fuente bibliográfica -publicada o no- y cualquier otro medio que transmita un conocimiento.

suministros de nutrientes y humedad, el desarrollo de las raíces y las resistencia contra la fuerza del viento. Los árboles que crecen sobre suelos poco profundos generalmente están menos dotados de agua y nutrientes que los que se hayan sobre suelos profundos, excepto en especies de raíces superficiales como *C. lusitanica*, la cual en los Andes colombianos el volcado de árboles en suelos profundos no ha podido ser explicado satistactoriamente (Salas De Las 1987). En Australia, el crecimiento de *Pinus radiata* pudo expresarse como la función recíproca de la profundidad del suelo con una máxima disminución en el crecimiento que se halla sobre suelos con menos de 25 cm de profundidad efectiva (Pritchett 1986).

La textura rara vez determina la calidad de sitio. Sin embargo, como regla general, los suelos francos son más favorables para crecimiento del bosque que cualquier otro arenoso grueso o arcilloso fino (Salas De Las 1987). Según Pritchett (1986), los pinos tienen generalmente una capacidad inherente para producir sistemas radicales extensos, especialmente en suelos profundos, de textura gruesa; sin embargo, este señalamiento debe ser tomado con cautela en virtud de que son pocos los estudios que se han hecho a raíces (Vásquez 1996)[18].

El tipo de drenaje es una propiedad inferida, la cual se determina por medio de la morfología característica del perfil y la disposición del paisaje. Indica el grado y la duración de la saturación del suelo tanto en años de humedad extrema como en años normales (Dement y Stone 1968). Es una característica muy importante en la selección de sitios para reforestar. Afortunadamente sobre suelos Andosoles de las cordilleras son bien drenados, aunque pueden existir excepciones (Salas De Las 1987).

Los suelos de ladera del trópico, generalmente, han sido expuestos a erosión continua, por lo tanto su infertilidad se debe a la pérdida del horizonte orgánico mineral. En suelos disturbados, corrientemente, las deficiencias nutricionales no son comunes,

---

18 Vasquez W (1996) (Silvicultor, CATIE, consulta a expertos).

debido en gran parte a la naturaleza de la recirculación de nutrimentos y a la aparente capacidad de las raíces micorrizales de extraer nutrimentos disponibles, especialmente nitrógeno y fósforo (Salas De Las 1987). La disponibilidad de nutrientes, su captación y su transporte, dependen de una adecuada humedad del suelo (Pritchett 1986). Los grupos de suelos Melanudands y Humitropets son definidos por Agencia de Cooperacion Internacional del Japon y Ministerio de Agricultura, Ganaderia y Alimentación (1995) como los de mayor aptitud para el crecimiento y absorción de nutrientes en la zona de Baja Verapaz, Guatemala.

Las anteriores características, al igual que la mayoría de propiedades físicas, son básicas e inherentes que no se alteran con facilidad. Las excepciones son las relacionadas con la estructura y porosidad. Por su naturaleza relativamente estable tienen una importancia decisiva en la silvicultura y las convierte en criterios valiosos sobre los cuales se basan los sistemas de clasificación (Lundgren 1980; Pritchett 1986, Salas De Las 1987).

Estas características físicas, unidas a otros factores fisiográficos y climáticos, principalmente régimen de temperatura y lluvias, se usan con frecuencia para establecer sitios buenos, regulares y malos (Salas De Las 1987).

De ésa cuenta todas aquellas otras características que directa o indirectamente correlacionen con las anteriores y con las cualidades *disponibilidad de humedad* y *condiciones de enraizamiento y absorción de nutrientes*, son importantes en la clasificación de sitios con fines de reforestación; sin embargo, no hay que perder de vista que los modelos de calidad de sitio son mejores y más prácticos en tanto utilicen el mínimo de características (Pritchett 1986; Tschinkel, 1972; Salas De Las 1987); lo anterior también tiene validez en evaluaciones de aptitud física de tierras con fines forestales (plantaciones) (FAO 1985; Rossiter 1993).

Al aplicar los juicios del expertise, resultó que para el caso de *P. maximinoi*, la microcuenca presenta dos zonas diferenciales de altitud: 1) 1800-2200 msnm y 2) arriba de 2200 msnm. Dentro de éstas las variaciones edáficas son mínimas. Dado que la cualidad *disponibilidad de humedad* en gran medida depende de la característica profundidad efectiva, se le asignó un mayor peso en comparación a las características precipitación promedio y textura del suelo, para definir la característica 'calidad de sitio para pino'.

Al utilizar las curvas de clase de sitio para *P. maximinoi*, en bosques naturales y plantaciones, resultó que la mayoría estaban en clase I y II, muy pocas veces resultaron rodales con clase III. Al utilizar las curvas de clase de sitio para *C. lusitanica*, en plantaciones (rodales naturales no hay dentro de la microcuenca), la mayoría resultaron ser de clase II y en el menor de los casos clase III. Posteriormente, en la construcción de los modelos de evaluación -en ALES-, se utilizaron criterios de asociación entre las características de las unidades con árboles -naturales o plantados- y las unidades desprovistas de los mismos -por razones naturales o antropogénicas-, para inferir el potencial productivo de éstas últimas.

Se identificaron las condiciones que probablemente definen tres calidades de sitio, buena, media y pobre, cada una relacionada posteriormente con un *rendimiento estimado* (procedimiento descrito más adelante). Para ello se utilizaron los factores ambientales que los estudios de suelo-sitio identifican en su mayoría como limitantes del crecimiento y supervivencia.

Este enfoque ha sido utilizado en varios trabajos de clasificación de sitios con fines de reforestación con coníferas (Barrera 1971; Adlard *et al*; 1974; Gaddas 1976; Cooling 1977, citados por Botero 1981; Storie 1948; Goitia 1959; Tarrant 1950; Searl 1968; Escobar 1987; Turvey y Smothurst 1994). En el caso de especies latifoliadas también ha sido utilizado un enfoque enfoque de clasificación de sitios mediante índices edáficos y/o climáticos (Alfaro 1990; Zech 1994; Vásquez *et al* 1995; Vásquez y Ugalde 1995).

Obviamente se partió del supuesto de que las curvas utilizadas, eran útiles para estimar la productividad de los sitios con bosques existentes en la microcuenca, lo cual tal y como afirma Salas De Las (1987) no es recomendable puesto que la mayoría de estudios de índice de sitio tienen validez local, a lo sumo regional (es el caso de las curvas para *P. maximinoi*). No obstante, las características consideradas para definir, primeramente 'calidad de sitio' y luego el rendimiento estimado de madera, tienen carácter genérico y de acuerdo con el criterio de expertos, son susceptibles de aproximarse a la realidad. Unicamente con estudios de crecimiento-sitio pueden verificarse.

- ***Escurrimiento***: Esta característica fue utilizada para evaluar la cualidad *susceptibilidad a la producción de agua* del tipo de uso bosque nuboso productor de agua; éste mismo criterio fue utilizado por León (1994) en la cuenca superior del Río Reventado, Costa Rica. El rendimiento hídrico de cuencas con suelos profundos y elevadas capacidades de infiltración pueden ser estimadas con un enfoque de presupuesto hídrico (USDA 1972). A diferencia del autor señalado, los valores de *escurrimiento* fueron estimados, fuera de ALES, basados en el principio de la conservación del agua representado en la ecuación general del balance hídrico (Jiménez 1995). Así:

Esc = Pre + (Hin-Hfi) - Etp; donde:

Esc: Escurrimiento
Pre: Precipitación
Hin: Humedad inicial en el suelo
Hfi: Humedad final en el suelo
Etp: Evapotranspiración

Al igual que en el trabajo de León (1994), el efecto de la infiltración no se considera; se supone que la condición de humedad inicial es correspondiente a la capacidad máxima de retención (cuenca saturada) y que los flujos subterráneos y el interflujo derivan en algún punto

de drenaje dentro de la misma cuenca, aún y cuando esto es difícil de precisar excepto en el caso de cuencas hidrográficas de bastante amplitud, donde la concavidad de las vertientes permite suponer que en el punto de medición convergirán las aguas de la escorrentía superficial y subterránea (Meunier 1996). Se asume que la Etp potencial se acerca a la real al estar bajo una cobertura permanente.

El escurrimiento tiene lugar cuando la humedad disponible remanente excede la capacidad de retención de agua. Representa una lámina escurrida por unidad de área la cual se puede llevar a volumen. Los árboles tienen un enorme efecto sobre la lluvia que llega al suelo en escorrentía: por un lado separan la escorrentía superficial y la subterránea en la superficie del suelo (problema de velocidad de infiltración); por otro, el almacenamiento y los trayectos que sigue la escorrentía subterránea (problemas de capacidad de retención y de conductividad hidráulica) (Meunier 1996).

Por tratarse de un área con presencia de bosque nuboso, la ecuación general del balance hídrico tiene ciertas variantes, dado que se dan presentan otros componentes: la intercepción y la precipitación horizontal (Bruijnzeel 1990; Hewlett y Nutter 1969, cit. por Salas De Las 1987; Stadmüller 1987; 1988; Zadroga 1979, 1981; Meunier 1996).

Una cantidad adicional de agua entra al sistema por concepto de *precipitación horizontal* (atrapada de las nubes por la cobertura arbórea). Para estimar éste componente se hizo una revisión de trabajos anteriores en bosques similares. Adicionalmente se revisó cuales son los rasgos comunes a los bosques nubosos a efecto de asociarlo con las condiciones presentadas por el Bosque de éste tipo en la microcuenca.

El el anexo se presentan algunos resultados de mediciones de precipitación horizontal (en % de la lluvia) en bosques nubosos. Los bosques nubosos en que se han encontrado éstos valores, con respecto a los de la Sierra de Las Minas en Guatemala, presentan las siguientes relaciones:

- Están dentro del mismo rango altitudinal propuesto por Lauer (1968).
- Con base en el perfil esquemático de vegetación húmeda del trópico de Troll cit. por Stadmüller (1987), están dentro de la misma zona latitudinal.
- Dentro de su composición florística están presentes las ciateáceas (helechos arborescentes), planta indicadora de bosque nuboso (Stadmüller, 1987).
- Los valores de precipitación horizontal (% de lluvia) resultantes son cercanos a los resultados preliminares de Holder (1996)[19] en la microcuenca.

Con base en el esquema de Troll (1956), en Guatemala los bosques nubosos están entre 2200 y 3000 msnm. Generalmente presentan un rango de 800 m. CECON-TNC-PACA (1992) encontraron en la Sierra de las Minas tres tipos de bosque nuboso, uno de ellos el denominado Purulhá-Chilascó (donde se localiza la microcuenca estudiada en la presente evaluación) no caracterizado con detalle; sin embargo, mencionan que tiene rasgos similares a los otros dos que si fueron estudiados. Los bosques caracterizados se encuentran uno entre los 1800 y 2400 y otro una doble faja separada por una cresta de montaña, entre 1800 y 2400 y 2400 y 2550 msnm (estas altitudes coincidentemente son las encontradas en la microcuenca Chilascó).

Menciona el trabajo anterior que los bosques nubosos, aún el no estudiado, tienen similitud en cuanto a composición florística, predominando las especies del género *Quercus* y dentro de la vegetación no arbórea están las del género *Cyathea sp.* la cual es considerada un indicador de bosque nuboso (Stadmüller 1987). Holder (1996, comunic. personal), menciona la existencia de tres especies de éste género en el bosque nuboso de la microcuenca y que individuos de éstas especies en proceso de regeneración natural en áreas desprovistas de bosque, indican que la zona era parte del ecosistema bosque nuboso.

Con ésta base y con datos preliminares sobre mediciones de ésta variable llevadas a cabo

---

19 Holder C. (1996) (comunicación personal).

durante un año en la microcuenca (Holder 1996, comunic. personal), se asume que los aportes adicionales para este tipo de uso están entre 15 y 24% del total de lluvia (precipitación bruta[20]), 15 por ciento para la zona altitudinal entre 1800 y 2000 (con mayor presencia natural de coníferas) y 24% para la zona altitudinal 2400 a 2500 (dominada por especies latifoliadas).

Otro componente del bosque nuboso que afecta la cantidad total de Etp es la *intercepción*, la cual es considerada como una pérdida de agua en el sistema, puesto que casi en su totalidad se evapora. Ante la falta de información sobre cuanto es el peso de éste componente en el sistema, excepto los resultados de un año de medición de Holder (1996) (comunic. personal), nuevamente se hizo una revisión sobre trabajos realizados en éste tipo de bosques en otras regiones. La interceptación en bht varía en tiempo y espacio (Jackson 1989; Clarke 1987). Bruijnzeel (1990) estima el promedio de la interceptación de bhts de tierras bajas en un 13% de la lluvia; para bosques de montaña el valor es mayor (18%). En bosques nublados tropicales las pérdidas por interceptación son generalmente bajas y pueden ser superadas por la precipitación horizontal (Stadtmüller 1987; Stadtmüller y Agudelo 1990; Bruijnzeel 1990).

Con ésta base y los resultados preliminares de Holder (1996) (comunic. personal), se supone que la intercepción en los bosques nublados de la microcuenca varía en el orden de 10 y 15%. El menor valor para la zona de mayor altitud (bosque nuboso típico actualmente) y el valor de 15 % para la zona de menor altitud en la Microcuenca (con mayor presencia de coníferas actualmente).

En el caso de la **evapotranspiración**, al igual que la intercepción constituye un proceso de salida de agua del sistema (bht) hacia la atmósfera. Incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por los estomas de las hojas. Los bosques evapotranspiran más agua que cualquier otra cobertura vegetal bajo las mismas condiciones macroclimáticas (Baumgartner 1970 cit. por Stadmüller 1987). Esto se debe a su alta capacidad

---

20 Esta es definida como la precipitación que llega a la parte superior de la vegetación (Stadmüller, 1987, 1994)

de almacenamiento y a los valores elevados de transpiración, por su Indice de Area Foliar, IAF, elevado y por los sistemas radicales extensos y profundos. Según Baumgartner (1978), cit. por Stadmüller (1987), la relación evapotranspiración/precipitación es menor al 30% en suelo descubierto, entre 40 y 60% en cultivos y entre 60 y 70 % en bosques.

Para calcular la Etp en la microcuenca se utilizó el método de Thornthwaite, descrito por Jiménez (1987). Este se utiliza a nivel mensual, es muy simple y posiblemente por ello, ampliamente utilizado. Se basa en el conocimiento de la temperatura media del aire, que en el caso de la zona de estudio, es el único dato meteorológico disponible para calcular éste parámetro -mediante fórmulas empíricas-. Este método tiene sus limitaciones, no siendo aconsejable para regiones áridas y semiáridas.

Los valores de Etp resultantes estaban alrededor de los 700-800 mm/año. Al comparar éstos resultados con los reportados por la literatura para bosques tropicales húmedos se encontró que autores como Bruijnzeel (1990) concluyen que el monto evapotranspirado por bosques de bajura varía entre 1400 y 1430 mm/año, mientras que para bosques de montaña es de 1155 a 1295 mm/año, excepto en bosques nublados que tienen valores más bajos (308-392 mm/año).

Este efecto de menor evapotranspiración en un bosque nuboso es atribuido a efectos combinados de bajas tasas de transpiración por las condiciones prevalecientes, tales como bajas entradas de radiación, alta humedad (Gates 1969; Weaber *et al* 1973; Dupuy *et al* 1993), a los aportes de precipitación a través de lluvia horizontal (Zadroga 1981) y por lo mismo, a una reducción en el déficit de saturación del aire que es lo que al final determina la evapotranspiración (Jiménez 1996)[21].

Solís (1996)[22], recomendó realizar una prueba a efecto de comprobar los valores resultantes de Etp, simplificando la ecuación de balance hídrico de la siguiente manera:

---

21 Jiménez F. (1996) Meteorólogo CATIE, consulta a expertos, comunic. personal)
22 Solís H. (1996) Hidrólogo CATIE (Consulta a expertos, comunic. personal)

$$P - E = R; \text{ donde}$$

P: Precipitación media anual

E: Evapotranspiración

R: Escurrimiento anual (salida de la cuenca)

Esta ecuación se simplifica en virtud de que en períodos largos de tiempo, la reserva útil en el suelo no tiene cambios significativos. Bajo un bosque el valor de evapotranspiración incluye a la intercepción. Basados en la información disponible, registros de precipitación anual (doce años) y de lámina escurrida a la salida de la cuenca (22 años de registro en estación limnimétrica) resultaba una evapotranspiración anual media de 326 mm. Este valor está dentro del rango reportado por la literatura de 308 a 392 para éste tipo de bosque (Bruijnzeel 1990). Obviamente es de considerar que la información de escurrimiento proveniente de estaciones limnimétricas difícilmente registran los caudales pico; sin embargo, Solís (1996, comunic. personal), estima que en cuencas pequeñas[23] las mediciones limnimétricas subestiman la cantidad total de agua escurrida en aproximadamente un 10%.

Con ésta base se tomó la decisión de utilizar un coeficiente para corregir los valores de Etp mensuales estimados por el método de Thornthwaite, el mismo varió entre 0.5 y 0.7, correspondiendo el primero a la zona de 2000 msnm en adelante y de 0.7 a la zona de 1800 a 2000.

El **almacenamiento de agua** por el suelo fue determinado con las constantes de humedad del suelo (1/3 y 15 atmósferas), y una profundidad de raíces asumida en 100 cm. La humedad volumétrica se determinó a partir de la humedad gravimétrica de cada horizonte -hasta 100 cm de profundidad-, corregida por la densidad aparente de cada uno. Con esto, la humedad al final del mes se convierte en la humedad inicial del mes siguiente. Este valor no puede ser más grande que la capacidad de retención de agua en el suelo (Gregersen *et al* 1987;

---

23 Cuenca pequeña, en términos hidrológicos es aquella en la cual una lluvia en la zona de recarga no afecta grandemente el flujo a la salida de la misma (Solís 1995)

Jiménez 1995). El escurrimiento tiene lugar cuando la humedad disponible remanente excede la capacidad de retención de agua para la unidad de análisis.

Con las anteriores consideraciones se hizo un balance hídrico mensual para cada unidad de tierra. El promedio pesado de escurrimiento para toda la microcuenca, sin considerar una unidad conformada por dos poblados, asciende a una lámina de 1173 mm, equivalente a 11730 m^3/ha. La estación limnimétrica, a la salida de la microcuenca presenta un promedio de escurrimiento de 11587 m^3/ha, cantidad ligeramente menor que la estimada con el balance hídrico para cada unidad de tierra. Según juicio de experto (Jiménez 1996) (comunic. personal), éste cálculo se aproxima a la realidad ya que bajo condiciones como las encontradas en el presente trabajo lo lógico es que en un balance hídrico, la suma escurrida sea mayor que la medida en una estación limnimétrica.

Para efectos de evaluación -dentro de ALES- de la cualidad 'susceptibilidad a la producción de agua' fueron construidos árboles de decisión con los valores encontrados de la característica 'escurrimiento'. Es posible incorporar el resto de características a los árboles de decisión; sin embargo, en el presente trabajo se trabajó únicamente con la variable escurrimiento la cual, como fue descrito, integra a todo el ciclo hidrológico bajo cobertura arbórea. En el anexo 9 se presentan algunos de los balances hídricos generados.

- ***Estimación de rendimientos óptimos para los usos forestales considerados:*** Para poder completar el proceso de evaluación económica mediante el enfoque de FAO (1976, 1985, 1990), manual o automatizado, es necesario conocer un componente esencial de los tipos de uso, el rendimiento -óptimo biológico u óptimo bajo las especificiaciones del uso- y su variación en función de la aptitud física de la tierra. Este componente se trabajó fuera de ALES.

Alfaro (1990) señala que para identificar sitios con diferentes calidades, inclusive su rendimiento, se requiere que cada especie cuente con la siguiente información:

a) Curvas de índice de sitio que establezcan los rangos en el crecimiento a una edad y en una región dada.

b) Tablas de rendimiento que cuantifiquen el volumen de madera a producir por índice de sitio y el plazo en que se producirá.

c) Modelos matemáticos que relacionen la producción de un sitio con las características ambientales del mismo.

Con anterioridad fue mencionado que éste tipo de información no existe para las especies consideradas en el área estudiada. Fue mencionado además las estrategias utilizadas para poder llegar a cualificar sitios 'buenos' 'medios' y 'pobres'. Ahora se describe el procedimiento utilizado para estimar rendimientos en cada una de ésas calidades.

Inicialmente para estimar rendimiento en las calidades mencionadas se recurrió a juicio de expertos. La tabla 1 resume los juicios emitidos para la especie *P. maximinoi*, tanto en bosques naturales como en plantaciones, para la zona de Las Verapaces[24].

Posteriormente se hizo una revisión de trabajos de crecimiento y rendimiento, en bosques naturales y/o plantaciones, realizados en ésta especie en algunos sitios de Guatemala. Adicionalmente, tanto en rodales naturales como rodales plantados de la microcuenca se levantaron algunas parcelas temporales a efecto de determinar clase de sitio con curvas edad-altura dominante (PROCAFOR 1996) y otras variables dasométricas: dap, altura media, densidad (en árboles/ha y área basal/ha).

Para cada observación disponible se calculó incrementos medios anuales -IMA- en diámetro y altura media. Tal y como lo hicieran Goitia (1951) y Alfaro (1990), los valores superiores suponen la evolución de crecimiento en una clase I ó productiva. A los valores promedio se les asigna a una clase 'media' y a los inferiores se les asigna a un sitio 'pobre'. Esta

[24] Zona norte de Guatemala que incluye a los departamentos de Alta y Baja Verapaz

clasificación de los rendimientos esta basada en información muy preliminar, excepto los estudios de Nuñez (1986) y Escobar (1987) en bosques naturales, por lo que se recomienda tomarla con cautela.

Tabla 1. Rendimientos estimados, turno de rotación e incrementos para la especie P. maximinoi en la región de Las Verapaces, Guatemala (consulta expertos 1996)

Volumen Ideal/sitio (m^3/ha)			Incremento ideal/sitio (m^3/ha/año)			Rotación/sitio años			Fuente
Alto	Medio	Pobre	Alto	Medio	Pobre	Alto	Medio	Pobre	
>350	200-300	<200	>22	10-15	<10	20	25	30	Amado (1996)[1]
>350	200-250	<100	>15	10-12	<5	24	28-32	>36	Pereira (1996)[2]
>300	175-250	<125	>30	15-27	<15	NC	NC	NC	Escobar (1996)[1]
>250	125	<70	>10	4-7	<2	NC	NC	NC	Aragón (1996)[2]
>250	150-200	<100	>7	5	<2	NC	NC	NC	Morales (1996)[2]
>300	200	<175	>6	4	<3	NC	NC	NC	Nuñez (1996)[3]
>250	175-200	<125	NC	NC	NC	NC	NC	NC	Nuñez (1996)[4]
>225	131-169	<75	25	10-15	<5	24	33-30	>37	Plan. (1996)[5]

[1]: Rendimientos estimados en plantaciones
[2]: Rendimientos estimados en bosque natural
[3]: Rendimiento estimado en bosque natural manejado
[4]: Rendimiento estimado en bosque natural sin manejo
[5]: Plan de manejo forestal de Chilascó (1996) elaborado bajo esquema de PROCAFOR.
NC: No consultado en éste aspecto

Posteriormente, con la información anterior -IMAs de dieciséis sitios resumidas en el anexo- se utilizó un procedimiento empírico para llegar a plantear una propuesta de tablas de rendimiento preliminar, para *P. maximinoi* en tres calidades de sitio, denominadas 'alto' 'medio' y 'pobre'. El procedimiento se resume de la siguiente manera:

1. Se definieron turnos para cada calidad de sitio y los períodos en los que se realizan los aclareos y la corta final (consulta a expertos 1996). En cada calidad de sitio se asignaron los incrementos en altura y diámetro resultantes del procedimiento anteriormente señalado.

2. Como punto de referencia para determinar altura media en cada edad de aclareo y corta final, y clase de sito, se utilizaron las curvas edad-altura generadas por PROCAFOR (1996)

3. para bosques naturales de *P. maximinoi*, en la región de Las Verapaces. La altura media se supone en 2-4 metros por abajo de la altura dominante (Pereira 1996)[25].

4. Se fijó una densidad inicial de 2000 árboles/ha que es la que determina el programa de incentivos fiscales a la reforestación (DIGEBOS 1996), independientemente de la calidad productiva del sitio y de las regiones forestales (Mérida 1996). Se estima una sobrevivencia de 90% hasta el inicio de los aclareos en cada calidad de sitio debido a que estas especies son muy tolerantes a la competencia (Vásquez 1996)[26].

5. Se calculó el volumen por árbol con una fórmula generada por PROCAFOR (1996) para esta especia; el volumen de la masa remanente y extraída se obtuvo multiplicando los valores de volumen/árbol por el total de árboles de cada componente. A falta de mayor información, se supone que los árboles de la masa a extraer tienen igual diámetro que los de la masa remanente.

6. Para facilitar el análisis económico en ALES se fijó una misma edad de intervención (aclareos y corta final) por cada calidad de sitio. La edad fijada corresponde a la del sitio productivo, dejando claro que en la práctica en los sitios medios y pobres los aclareos y corta final se retrasan en comparación a los sitios productivos.

7. Dado que en usos forestales con fines de aserrío, la producción (madera) adquiere valores diferenciales en función del tipo de producto: troza, trocilla y leña, se estimó para cada período de cosecha, la cantidad de cada uno de los productos indicados. En Guatemala no existe una tabla de distribución de productos para ninguna especie de coníferas aserrables. Ante ésta limitante se utilizó una tabla generada para *P. oocarpa* en Honduras. Esta misma es utilizada por PROCAFOR-DIGEBOS (1996). Según juicio de expertos, con ésta base se subestima la producción de madera en troza para especies como *P. maximinoi*.

---

25 Pereira R. (1996) Asesor de PROCAFOR, Curso Formulación de Planes Simplificados de Manejo en Bosques Naturales de Coníferas, Guatemala Julio 1996. (Comunic. personal)

26 Vásquez W (1996) (Silvicultor CATIE, consulta a expertos)

En el caso de *Cupressus lusitanica*, se contó con un mayor volumen de información en cuanto a observaciones de crecimiento. Fue sumamente valiosa la información generada por MADELEÑA (Ugalde 1996), relacionada con los experimentos de crecimiento, realizados en Guatemala. Se tuvo acceso a esta información digitada. Adicionalmente se encontraron otras referencias sobre crecimiento de la especie en diferentes sitios de Guatemala, haciendo un total aproximado de 368 observaciones.

A diferencia de la especie anterior, se contó con un modelo preliminar de crecimiento y rendimiento para sitios medios en Centro América; la densidad considerada es 1111 árboles/ha, el turno final es 30 años con aclareos a los ocho, 16 y 24 años. Este modelo fue generado por Hughell y Chávez (1990) con base en datos de parcelas permanentes de crecimiento en Costa Rica (24 parcelas), Guatemala (22 parcelas) y El Salvador (13). En éste modelo la contribución del índice de sitio para la estimación del área basal resultó no significativa, y por lo tanto, éste parámetro no fue incluido en las ecuaciones para estimar tanto el área basal como la altura. El modelo permite simular diferentes programas de aclareo y por lo tanto diferentes rendimientos.

Con la anterior información y con juicio de experto (Vásquez 1996)[27], se procedió a confeccionar tablas de rendimiento preliminar para tres calidades de sitio, alto, medio y bajo', con el siguiente procedimiento:

1. Se utilizaron los resultados de crecimiento de parcelas de MADELEÑA (Ugalde 1996) y de otros sitios de Guatemala, siempre y cuando tuvieran una edad mayor de seis años. Los resultados de experimentos de MADELEÑA fueron promediados para cada experimento. Con esto, el número de observaciones se redujo a 73 correspondientes a 21 sitios.

2. Utilizando la ecuación de altura del modelo de Hughell y Chávez (1990) se calculó para cada observación su valor en altura media. Luego se realizó un análisis gráfico entre las alturas medias registradas (observadas) y la curva de crecimiento en altura estimada por el modelo.

---

27 Vásquez W (1997). CATIE. (Consulta a expertos)

Este análisis gráfico permitió identificar los valores de altura media registrados por encima de la curva de Hughell y Chávez (1990) que representan la evolución en crecimiento en los sitios más productivos, los cercanos a la curva, representan la evolución de crecimiento en sitios medios y, los inferiores a la curva representan la evolución de crecimiento en sitios pobres. Esto fue más visible cuando existían por lo menos tres resultados de crecimiento de parcelas de la misma edad, una para cada 'calidad de sitio'.

3. Posteriormente, fueron identificadas parcelas representativas de cada calidad -encima y abajo de la curva media de Hughell y Chávez (1990)- y determinados sus valores de incrementos medio (IMA) en altura y dap a las edades en que los autores del modelo proponen los aclareos -que para efectos de análisis financiero en ALES, se fijó la misma en cada calidad de sitio-. Cuando no existieron parcelas a las edades deseadas fueron utilizadas las más cercanas en edad dentro de su categoría (productiva, media y pobre) y en función de sus IMAs fueron inferidos sus valores en altura y dap a la edad deseada. Para el sitio medio se utilizan los IMAs dados por el modelo base de Hughell y Chávez (1990).

4. Con los valores de incremento en altura y dap asignados a cada clase de sitio, se calculó el volumen por árbol utilizando la ecuación de estimación de volumen de Hughell y Chávez (1990), la fórmula de Peters (1977), para ciprés. Con base en el mismo modelo, se definió para cada clase de sitio una densidad inicial de 1100 árboles/ha y una sobrevivencia hasta el año del primer aclareo de 90%. Luego se calculó el volumen de la masa extraída y remanente en función de la intensidad de aclareo definida previamente (por juicio de expertos).

5. Los volúmenes de las masas extraídas y remanentes, a diferencia de lo realizado con *P. maximinoi*, fueron luego ajustadas bajo el criterio de que en la práctica, los diámetros medios de la masa extraída -en los aclareos- son menores que los de la masa remanente. Esta situación se manifiesta en el modelo de Hughell y Chávez (1990). Para ello los incrementos en dap de los árboles a extraer, en las calidades productivo y pobre, fueron reducidos en aproximadamente un 14% en comparación a los incrementos de los árboles remanentes (este porcentaje es el que

árboles a extraer, en las calidades productivo y pobre, fueron reducidos en aproximadamente un 14% en comparación a los incrementos de los árboles remanentes (este porcentaje es el que

presenta el modelo de Hughell y Chávez (1990)). Adicionalmente, por juicio de experto, el incremento medio en altura en los sitios productivo y pobre para el período de 24 a 30 años se redujo en aproximadamente un 40 y 50%, respectivamente en virtud de considerarlo más realista.

6. Dado que los rendimientos para el sitio productivo, a primera vista parecen ser altos, se comprobó que el área basal máxima y volumen estimado con los IMAs en dap, a cada edad, no fueran superiores a los valores reportados en sitios con plantaciones de similar edad no manejadas (no aclareadas); este procedimiento esta basado en la ley de rendimiento final constante (Finegan 1994) que hace referencia a que a que a partir de una cierta densidad de siembra, el rendimiento de biomasa por unidad de área es constante; el tamaño de las plantas individuales disminuye conforme aumenta la densidad, pero ésta disminución es compensada de forma más o menos exacta por el mayor número de plantas, manteniendo una biomasa constante por unidad de área. Utilizando el área basal máxima reportada, la altura media estimada y la fórmula del cilindro, se determinaron volúmenes por hectárea, ajustados con un coeficiente de 0.4 (promedio de otros estudios en Guatemala). Los resultados de este cálculo para sitios productivos, aún son conservadores. Otra estrategia de verificación fue la de comparar los datos de rendimiento con los reportados por otros autores que han trabajado con esta especie -fuera de Guatemala- (Groenendijk, 1983; Del Valle Arango 1975; Tschinkel 1972; Goitia 1954).

En el anexo 10 se presentan las tablas preliminares de rendimiento generadas para ambas especies, algunas de las observaciones de crecimiento que sirvieron de referencia y el gráfico de edad-altura media para *C. lusitanica*. Dado que los objetivos centrales de la presente evaluación no corresponden a la generación de tablas de rendimiento, sino a una necesidad de conocer con cierta base esta información, las aquí propuestas -base para trabajar en la construcción de modelos en ALES- necesitan ser validadas con estudios más serios o, al menos, con mayor consulta a expertos,

por lo tanto deben ser tomadas con precaución.

- ***Estimación de rendimiento óptimo para el bosque nuboso como productor de agua:*** el rendimiento óptimo en términos de **producción hídrica**, es difícil establecerlo con el nivel de información disponible. En general existen pocos estudios sobre éste tema en bosques tropicales húmedos y más aún en bosques nubosos en particular. Ante ésta limitante, se utilizó un criterio empírico para definirlo y castigarlo en clases de producción.

El supuesto utilizado es que el rendimiento óptimo de escorrentía (superficial y subsuperficial) sería el producido bajo condiciones de niveles mínimos de pérdidas por evapotranspiración e intercepción y ninguna variante en el cambio de almacenamiento en el suelo, durante un período de tiempo, en éste caso un año. Bajo éste supuesto (naturalmente nunca encontrado), el rendimiento óptimo de escurrimiento correspondería al mayor valor de precipitación bruta presente en el área de estudio (2000 mm en el presente caso, equivalente a un rendimiento promedio de 20000 m^3/ha).

Sobre ésta base se diferenciaron tres clases de rendimiento: alto, medio y bajo, asignando a cada una 70, 50 y 30%, respectivamente, de escurrimiento de la precipitación bruta. Obviamente, mayor investigación sobre rendimiento hídrico bajo coberturas arbóreas y especialmente criterios para calificar un rendimiento óptimo -en términos de volumen/unidad de área- fundamentarían ésta decisión.

5.5.6 Evaluación de la aptitud de la tierra.

5.5.6.1 Construcción de los modelos de evaluación.

El término "modelo" en ALES se refiere a una serie de "procedimientos de decisión", no es un modelo de simulación. En el presente caso fueron construidos un número de modelos igual al de usos de la tierra identificados y seleccionados. Se utilizó la versión 4.1 deL programa ALES,

escrito en lenguaje de programación MUMPS.

Cada modelo contiene una base de datos y una de conocimientos. La primera es constituida por las unidades de mapeo, sus características, los requisitos de uso de la tierra, los productos de cada tipo de uso (troza, trocilla, leña y agua), los insumos correspondientes para cada tipo de uso y un grupo de parámetros económicos.

La base de conocimientos es constituida por el conjunto de parámetros dados por los expertos con respecto a la evaluación de las características y cualidades de la tierra, los niveles de severidad para los distintos requisitos de uso y árboles de decisión para las inferencias y clasificación en clases de aptitud física y económica de las unidades de tierra homogénea.

5.5.6.2 Procedimientos de decisión en ALES.

5.5.6.2.1 Evaluación física

El método de la FAO establece diferencias entre clases y subclases de aptitud física. Las clases se usan para expresar todas las aptitudes físicas en una escala con rango de 1 o sea, totalmente apta, hasta algún máximo, es decir físicamente no apta; el esquema de FAO sugiere cuatro clases, correspondientes a 1) sumamente apta; 2) moderadamente apta; 3) marginalmente apta y 4) no apta (véase cuadro 1). Igual número de clases fue adoptado para la presente evaluación.

Dentro de cada clase de aptitud se definen subclases, con el fin de designar el tipo de limitación u otras cualidades por medio de las cuales se ubica una unidad cartográfica en una clase determinada (FAO, 1976, 1985, 1994; Rossiter *et al.* 1993). Estas subclases, en el presente caso son identificadas con códigos nemotécnicos que hacen referencia a la cualidad que define la clase de aptitud.

ALES tiene dos vías para determinar la subclase de aptitud física para un tipo de utilización de la tierra a partir de los niveles de aptitud de las cualidades de la tierra. En el caso más general, el evaluador construye un árbol de decisión para la aptitud física, para combinar los niveles de aptitud de las cualidades de la tierra en una clase de aptitud compuesta. Un segundo método es el llamado método de la limitación máxima, en el cual el evaluador especifica el valor máximo de una o más cualidades que determinarán la aptitud física compuesta. Ambos procedimientos pueden ser utilizados simultáneamente (*Rossiter et al.* 1993).

En el presente caso, los modelos de usos forestales productivos fueron construidos para poder determinar la aptitud con la estrategia de factores limitantes y en el caso del bosque nuboso, la aptitud se determina con cualquiera de las dos estrategias mencionadas. Los rendimientos de los productos, por carecer de suficiente información de la relación entre cualidades de tierra y efecto sobre los rendimientos, se recurre principalmente a la estrategia de factores limitantes. Esta estrategia es un símil de aplicación de la ley del mínimo de Liebig (1855) y/o de la ley del mínimo de Mitscherlich (1921)[28],cit. por Daniel *et al* (1979). Daniel *et al* (1979) indica que casi todos los factores que definen la productividad de un sitio, pueden caer dentro de la categoría de críticos y volverse limitantes del crecimiento de los árboles (como la luz, las impurezas del aire, los riesgos bióticos, las condiciones de los semilleros, la temperatura, la humedad y los nutrimentos).

Con éstas bases, cada unidad cartográfica fue asignada a una clase de aptitud física, las cuales indican una relativa aptitud, desde uno (la mejor) hasta un número máximo especificado por el modelo de evaluación, cuatro en éste caso.

En el presente trabajo fueron incluidas dentro de las decisiones para determinar aptitud física, aquellas relacionadas con la conservación y necesidades de restauración, dado la importancia que tiene la microcuenca en cuanto a su potencial hidrológico. El sistema tiene la característica de que el usuario puede definir en función de que cualidades desea evaluar, para ello puede

---

[28] Si un solo factor esta por debajo del óptimo, ambas leyes anticipan los mismos resultados (Mitscherlich 1921).

seleccionarlas o deseleccionarlas de los factores limitantes para clasificación de aptitud física.

5.5.6.2.2 Evaluación económica

Para los distintos usos fue posible recopilar información mínima necesaria sobre componentes del modelo económico (insumos y costos, precios) y, como ya fuera descrito, se definieron rendimientos óptimos y proporcionales en función de las 'calidades de tierra'. Esto permitió completar la evaluación bajo lo que el esquema de FAO y su automatización por ALES, definen como evaluación económica. Sin embargo, por vacíos de información en algunos aspectos económicos y lo preliminar de las tablas de rendimiento elaboradas, debe ser ser considerada de carácter preliminar. Entre los principales vacíos de información del componente económico, se encuentran:

- Ausencia de tablas de rendimiento y de distribución de productos para las especies forestales.
- Información incompleta sobre insumos en plantaciones bajo incentivos fiscales después del vencimiento de éstos (once a 24 años).
- Validez de los costos del programa de incentivos fiscales, que según juicio de expertos forestales en Guatemala, están sobrestimados.
- Información de actividades y costos en plantaciones comunitarias es muy preliminar dado que en la localidad no se han registrado ni contabilizado.
- Dificultad de asignar un precio al agua bajo condiciones donde no existe un control de su uso y distribución con base en una medida volumétrica.

Al no contar con la información del componente económico, ALES es incapaz de completar el cálculo. Adicionalmente la evaluación económica solo la realiza en aquellas tierras donde la evaluación física las define como aptas, sin importar los aspectos económicos. ALES desarrolla dos tipos de evaluación económica: **1) Análisis de flujo descontado de capital y 2) Análisis de margen bruto**. El primero es apropiado para cuando se hacen mejoras a la tierra y los

beneficios de estos costos son recibidos luego de un determinado número de años. El segundo, es utilizado para analizar tipos de uso -TUT- que no contemplan mejoras de capital, sino solamente costos y egresos recurrentes (Rossiter *et al.* 1993).

Los parámetros de medida en el flujo descontado de capital son:

- **El valor presente neto estimado, VPN**; y;
- **La relación beneficio/costo** del valor presente de los ingresos comparado con el de los egresos, para cada par de unidad cartográfica-tipo de utilización de la tierra.

El parámetro de medición en el análisis de margen bruto es el **margen bruto estimado** para cada par de unidad cartográfica-tipo de utilización de la tierra.

El VPN y el margen bruto son expresados en una escala continua, es decir, dinero. Para tener compatibilidad con el esquema de la FAO, ALES agrupa dichos valores continuos en cuatro clases discretas de aptitud, que corresponden a las clases 'a1' 'a2' 'a3' y 'n1' de la FAO (la 'n2' es reservada para tierras que fueron previamente valoradas como físicamente no aptas). Para ello hay que establecer tres limites de las clases de aptitud económica, tales límites dividen la clase 'a1' de la 'a2', la 'a2' de la 'a3' y la 'a3' de la 'n1'. Si estos límites no son especificados, el programa no despliega las clases de aptitud económica.

Para el presente caso, la tasa de descuento utilizada fue definida tomando como base la asignada en años anteriores en Guatemala a créditos forestales (DIGEBOS-Programa de Créditos a la Reforestación, 1988), es decir alrededor de 6% en función de supervivencia. Los límites de las clases económicas en cuanto a relación beneficio/costo se establecieron en función de ganancias que son susceptibles de obtener en actividades agrícolas de baja y alta rentabilidad y en cuentas de ahorro a plazo fijo en bancos del sistema nacional, esto corresponde a relaciones beneficio/costo de 1,0 (una actividad agrícola marginal), 1,2 (considerada exitosa en actividades agrícolas) y 1,36, un

tasa de interés elevada. Los límites para las clases económicas en función de valor presente neto y margen bruto fueron definidas tomando como punto de partida la máxima ganancia posible en una

unidad de tierra clasificada -físicamente- en el nivel 1, es decir Sumamente Apta. De aquí los límites para las clases económicas A2 y A3 están castigados en 40 y 80%, respectivamente.

5.5.7 Espacialización de los resultados de la evaluación.

5.5.7.1 Georeferenciación de las características de la tierra y de los resultados de la evaluación.

Las características de la tierra y los resultados de la evaluación elaborado por ALES, fueron georeferenciados espacialmente, a través del uso de la interfase ALIDRIS, módulo entre ALES e IDRISI (Eastman 1992; Rossiter *et al.* 1993), la cual es un grupo de subrutinas escritas en lenguaje de programación MUMPS. Esta es una de varias formas del ALES para intercambiar información con otros sistemas computarizados.

ALIDRIS utiliza la base de datos o los resultados de la evaluación para reclasificar una imagen 'raster' existente en IDRISI representando las unidades de tierra o mapeo (mapa base de la evaluación) del ALES. Con el mapa base de las unidades de tierra, ALIDRIS genera mapas simples de cualquier característica -CaT- y de los resultados de las evaluaciones, tanto física como económica. Todos estos procesos se hacen en forma automática, siguiendo las preguntas desplegadas en ALIDRIS, como el directorio del ambiente IDRISI, la imagen 'raster' base y el nombre de la nueva imagen. Ya dentro de IDRISI los mapas derivados pueden desplegarse o aplicar cualquier otra operación sobre ellos (reclasificación, determinación de áreas, distancias, tabulación cruzada, etc) (León, 1994).

Para usar el ALIDRIS, la imagen 'raster' debe estar en formato ASCII, números enteros, con los códigos enteros representando las unidades de tierra del ALES, existiendo una

correspondencia entre cada identificador entero de IDRISI con el código o identificador de la unidad en ALES. Antes de usar ALIDRIS debe prepararse la imagen 'raster' fuente. Esto puede

hacerse mediante el comando "document", o un "convert" de la imagen base. El IDRISI posibilita modelación adicional y actúa como modo gráfico del ALES (León, 1994).

Los mapas a generar depende de los intereses de los usuarios de la evaluación; en el presente caso, se generaron mapas de aptitud física para los usos a considerar y los mapas de necesidades de restauración y/o protección de la condición hidrológica de las tierras de la microcuenca de estudio.

5.5.7.2 Zonificación de las necesidades de conservación de la condición hidrológica.

La zonificación de la aptitud de las tierras en función de necesidades de conservación es posible hacerla en función de dos enfoques:

- Necesidades de restauración de la condición hidrológica; y;
- Necesidades de protección de la condición hidrológica.

En el presente trabajo, las tierras más aptas para restauración hidrológica fueron definidas como las que, bajo el uso que mejor condición hidrológica brinda, en este caso el bosque nuboso, presentan una mayor 'susceptibilidad a la producción de agua' y que por razones antropogénicas están desprovistas de una cobertura vegetal próxima a la de su condición natural -el bosque- y adicionalmente presentan un alto riesgo a erosión, es decir, con una elevada erosión o pendientes superiores a 40%, suelos someros y bajo usos agropecuarios intensivos. Estas tierras son las que en teoría tienen mayor urgencia de ser atendidas con acciones de restauración hidrológico-forestal, partiendo de que éste vínculo es el más apropiado para garantizar la estabilidad de los suelos, regular el flujo de caudales, proveer una mayor capacidad de recarga, y posibilitar una mejor calidad del agua para diferentes fines (Hamilton 1983; 1988; Bruijnzeel 1990; Brown 1985).

Por aparte las zonas con mayor necesidad de protección de la condición hidrológica fueron definidas como las que durante la evaluación de tipo biofísico presentan una 'buena' condición hidrológica y que, por la importancia estratégica de la microcuenca, interesa conservar. Esta condición se presenta en aquellas zonas identificadas cualitativamente como 'zonas de recarga'. Se identifican como tal, las unidades de tierra Sumamente Aptas a la 'susceptibilidad a la producción de agua' y en la actualidad provistas de una apropiada cobertura vegetal.

Estas decisiones fueron indicadas en el modelo de conservación del bosque nuboso como productor de agua, a través de un árbol de decisión, evaluando la cualidad 'condición hidrológica' a partir de las características, escurrimiento -excedente de agua-, pendiente promedio del suelo forestal y uso actual predominante.

La espacialización de las tierras en función de las dos aptitudes mencionadas, se hizo con la interfase ALIDRIS, siguiendo los procedimientos rutinarios mencionados con anterioridad.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Unidades de mapeo.

6.1.1 Mapa de suelos.

El cuadro 7 presenta la leyenda fisiográfico-edafológica de las tierras de la microcuenca del Río Chilascó. En el mismo se observan las diferentes unidades con su clasificación de suelos de acuerdo a la Taxonomía de Suelos (Keys Soil Taxonomy 1992). Cada unidad diferenciada hasta el nivel de 'elementos del paisaje' se clasificó a nivel de subgrupo de suelos. En el anexo se presenta el mapa de suelos, independiente de criterios fisiográficos.

En relación a los suelos de la microcuenca, se presentan cinco subgrupos, cuatro de ellos formando consociaciones de suelos o asociaciones de suelos entre ellas mismas y, un solo subgrupo que se encuentra en asociación con los subgrupos restantes. Se observa una predominancia de suelos Andisoles (origen volcánico), dentro de ellos los Typic Melanudands, ocupan el 32% de la superficie de la microcuenca, seguido de los Hydric Melanudands en el 20% de la superficie estudiada.

Estos suelos tienen particulares características de fertilidad e hidrológicas, son ricos en su contenido de materia orgánica y en el potencial de fertilidad en cuanto a capacidad de retención de cationes de intercambio, CIC. Sin embargo, la saturación de bases es baja, el pH en su mayoría es bajo y el fósforo disponible también es bajo. En aspectos físicos, sobresale su profundidad, texturas livianas (franco arenosas), alta capacidad de retención de humedad y densidad aparente baja (< 0,9 gr/cc). Estas últimas propiedades son favorables para facilitar la disponibilidad de humedad y las condiciones de enraizamiento de las especies forestales de los usos considerados en la presente evaluación.

En el anexo 6 se presentan los resultados de los análisis de suelos realizados a las

Cuadro 7. Leyenda fisiográfico-edafológica de la microcuenca del Río Chilascó, Baja Verapaz, Guatemala. 1996. (Evaluación de tierras).

PROVINCIA FISIOGRAFICA	GRAN PAISAJE	PAISAJE	SUB-PAISAJE	ELEMENTOS DEL PAISAJE	CODIGO	No	Nombre de la consolación o asociación	CLASIFICACION TAXONOMICA	AREA Ha	AREA %
Tierras Altas Cristalinas	Montañas del Oeste de la Sierra de las Minas	Colinas de Chilascó y San Jorge (A)	Escarpes (1)	Fuertemente escarpados	A111	1	Barbechos de El Armado	Typic Melanudands	278.6	4.2
					A112	2	Lomas de San Jorge	Typic Melanudands	345.1	5.2
				Levemente escarpadas	A12	3	Barbechos de San Jorge	Andic Humitropepts	490.9	7.4
			Pie de monte (2)	Erosionado	A211	4	Norte	Typic Melanudands	75.9	1.1
					A212	5	Oeste	Typic Melanudands	61.4	0.9
				No erosionado	A22	6		Typic Melanudands	156.5	2.3
		Colinas de El Volcán-Miranda (B)	Laderas Onduladas (1)	Erosionadas	B11	7	Ladera Norte del Río Chilascó	Typic Melanudands	693.7	10.4
				No erosionadas	B12	8	Ladera Norte El Volcán-Miranda	Hydric Melanudands/Typic Melanudands	626.5	9.4
			Altiplanicie (2)	Valle	B21	9	Valle	Typic Melanundands/Andic Humitropepts	495.6	7.4
		Colinas de La Cumbre-San Antonio (C)	Escarpes (1)	Erosionados	C11	10	Barbechos de El Zanjón y El Rosal	Hydric Melanudands	232.0	3.5
				No erosionados	C12	11	La Cumbre	Hydric Pachic Melanudands	423.6	6.3
			Laderas onduladas (2)	No erosionadas	C221	12	Cumbre de Miranda	Hydric Melanudands	413.3	6.2
					C222	13	Cumbre de San Antonio	Hydric Melanudands	684.5	10.3
			Lomerio (3)	Escarpe fuerte (1)	C311	14	Lomas de El Rosal	Typic Melanundands/Andic Humitropepts	556.2	8.3
					C312	15	Lomas de San José	Andic Humitropepts/Andic Hapludolls	581.1	8.7
				Escarpe leve (2)	C32	16	Lomas de El Bellota	Typic Melanudands	493.5	7.4
						17	Poblados		65.56	1.0

muestras provenientes de 20 observaciones detalladas (perfiles) y de catorce barrenamientos. Algunas propiedades físico-químicas no fueron determinadas para todas las muestras, por dos razones: la primera que al hacer el levantamiento en campo, los perfiles no presentaban variación -en color, textura al tacto, profundidad, material original- con respecto a otros ya descritos; segundo por razones de costos de los análisis.

6.1.2 Mapa de uso de la tierra.

Este mapa, elaborado para la presente evaluación se presenta en los anexos y la figura 2 resume las distintas categorías de uso de la tierra en términos de cobertura. Puede observarse que en términos generales la microcuenca esta relativamente protegida puesto que la superficie ocupada con cultivos limpios asciende a 3,5% de la cuenca y este mismo uso asociado a otros suma un 18 % de la cuenca. Sin embargo, aún cuando la superficie ocupada con usos intensivos es relativamente pequeña, se ocupan áreas con riesgo de erosión por las pendientes que presenta.

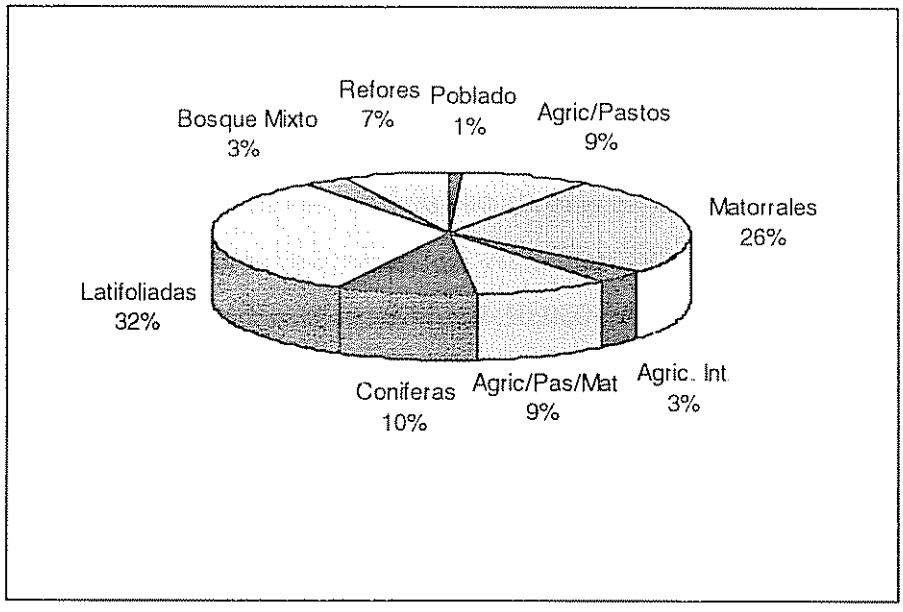


Figura 2. Uso de la tierra en términos de cobertura, microcuenca del Río Chilascó, Guatemala,1996.

La superficie ocupada usos arbóreos asciende a 52% en toda la microcuenca, dentro de la cual los bosques naturales -latifoliadas y coníferas- representan un 86% de esta cobertura y el restante 14% es ocupado por plantaciones -de *P. maximinoi* y *C. lusitanica*-. Tal como se observa en el mapa de uso, las tierras con latifoliadas ocupan principalmente la parte sureste de la Cuenca, la cual constituye la parte alta de la misma y, como se señala más adelante, la zona de mayor susceptibilidad a la producción de agua.

Un uso que sobresale dentro de la microcuenca es el de Matorrales, ocupando un 26 % de la superficie total. Este uso es producto -según Quezada (1994) e informes de los pobladores- de una intensificación del uso, en las cercanías de las dos comunidades asentadas en la parte baja de la microcuenca, con hortalizas de exportación tal el caso del brócoli (*Brassica oleracea* var. italica). Esto motivo abandonar las tierras más distantes e indirectamente propiciar su recuperación. Eventualmente, estas tierras en descanso, son utilizadas para actividades agrícolas tradicionales: cultivos de granos básicos para autoconsumo. Este uso, según informes de pobladores, tiene entre 3 a 10 años que es el período que tienen de trabajar con hortalizas.

Las nueve categorías de uso de la tierra encontradas en la microcuenca se dividen en 60 unidades de mapeo distribuidas espacialmente. Al utilizar el criterio cartográfico de 'área mínima de mapeo', que para la escala de trabajo (1:50,000) representa 12,5 has., el número de unidades de uso fue reducido a 39, todas ellas distribuidas espacialmente dentro de las unidades fisiográficas anteriormente definidas.

6.1.3 Modelo de elevación digital y mapa de pendientes.

Producto de la digitalización de las curvas de nivel, a cada 20 metros, se hizo la construcción del modelo de elevación figital, MED, el cual contiene la variación altitudinal de las tierras de la microcuenca. Con el MED se procedió a elaborar el mapa de pendientes -pixel a pixel-. Conociendo todas las pendientes, con base en la clasificación de pendientes propuesta

por Sheng (1990) se reclasificó la imagen general de pendientes, obteniendo un mapa de pendientes por clases para toda la microcuenca. La figura 3, muestra la distribución porcentual de las clases de pendientes. La clase de mayor riesgo a procesos erosivos, arriba de 32%, ocupa aproximadamente un 34% de la superficie de estudio, dentro de ésta un 35% presenta pendientes arriba del 50%, las cuales la mayoría de expertos forestales considera no apropiada para usos forestales productivos: plantaciones o manejo de bosques naturales.

Como ya fue explicado en la metodología, a través de una rutina de extracción (módulo EXTRACT de IDRISI), las clases de pendientes en la microcuenca sirvieron para unificar algunas unidades previamente separadas por técnicas de fotoidentificación. Producto de este procedimiento se llegó a la definición de las unidades de mapeo contenidas en el cuadro 7. (leyenda de suelos).

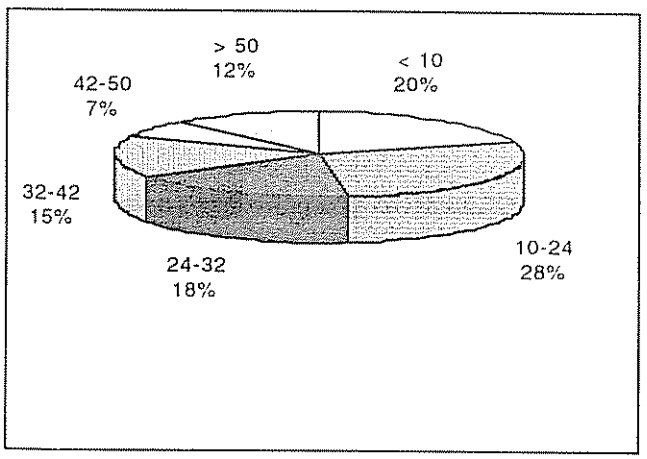


Fig. 3 Distribución de pendientes en la microcuenca del Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

6.1.4 Mapa base de la evaluación.

Tal y como lo muestra el esquema en el anexo 7, con los mapas de suelos, uso de la tierra (cobertura) y pendientes se definió un mapa de unidades denominadas 'complejos suelo-

cobertura'. El mapa contenía 60 complejos suelo-cobertura. Aplicando el criterio de 'área mínima de mapeo', se redujeron a 42 unidades espacialmente distribuidas; sin embargo, para la presente evaluación se toman las unidades fisiográfico-edafológicas como constituyentes del mapa base, asignando a cada una de ellas el uso predominante. La razón por la cual no se trabajó con todas estas unidades fue que los resultados previsibles de la evaluación de aptitud de varios complejos suelo-cobertura, distribuidos dentro de una misma unidad fisiográfica, no presentarían mayor variación, dado que se suponen con la cobertura que representa el 'uso propuesto'.

El mapa base de la evaluación contiene las unidades utilizadas en el presente trabajo para evaluar la aptitud física y económica. La base espacial generada contempla el mapa con los 43 complejos diferenciados y, lo más importante, los modelos de evaluación contenidos en el sistema experto, están diseñados para responder a los mismos en cuanto a la cualidad 'condición hidrológica' se refiere, de tal manera que en evaluaciones más detalladas se pueden utilizar este número de unidades.

El cuadro 8 presenta los nombres y área de las unidades contenidas en el mapa base de la evaluación así como sus identificadores en ALES e IDRISI.

Todas las unidades de tierra, exceptuando las denominadas Pie de monte Norte y Oeste, sobrepasan las 100 hectáreas. Las mayores son las denominadas Ladera Norte del Río Chilascó -en adelante nombrada solamente como La Ladera-, El Volcán y La Cumbre San Antonio, las cuales ocupan aproximadamente el 30% de las tierras de la microcuenca.

La unidad denominada 'Poblados' esta ocupada por los núcleos poblacionales de San Rafael Chilascó y -una parte- de Santa Cruz. Estos núcleos no fueron sometidos a la evaluación de la aptitud física y económica.

Cuadro 8. Unidades de tierra, nombre, área y códigos en ALES e IDRISI. Microcuenca del Río Chilascó, B. V., Guatemala, 1996.

Código ALES	Código IDRISI	Nombre de la Unidad de mapeo	Area Has	%
CH1	1	Barbechos El Armado	278,56	4,2
CH2	2	Lomas San Jorge	345,06	5,2
CH3	3	Barbechos San Jorge	490,94	7,4
CH4	4	Pie de monte Norte	75,88	1,1
CH5	5	Pie de monte Oeste	61,44	0,9
CH6	6	Pie de monte no erosionado	156,50	2,3
CH7	7	Ladera Norte R. Chilascó	693,69	10,4
CH8	8	El Volcán	626,50	9,4
CH9	9	Valle	495,63	7,4
CH10	10	Barbechos El Zanjón-Rosal	232,00	3,5
CH11	11	La Cumbre	423,56	6,3
CH12	12	Cumbre Miranda	413,25	6,2
CH13	13	Cumbre San Antonio	684,50	10,3
CH14	14	Lomas El Rosal	556,19	8,3
CH15	15	Lomas San José	581,13	8,7
CH16	16	Lomas El Bellota	493,50	7,4
CH17	17	Poblados	65,56	1,0
		Total	6673,88	100,00

6.1.5 Características de las unidades de tierra.

Los valores de las características de cada unidad de tierra, tanto las medidas en campo como las determinadas en laboratorio (de suelos y SIG) y las estimadas con base en fuentes secundarias y consulta a expertos, se muestran en el anexo 13. Las mismas están agrupadas por factores de conservación, crecimiento, manejo y volumen.

En relación a las características de conservación puede notarse que la erosión observada es de leve a moderada en la mayoría de unidades, se infiere que esta condición es producto de la relativa protección que tienen las tierras con coberturas como bosque, plantación y matorrales. La unidad con mayores riesgos de erosión es la 'ch10' (Barbechos El Zanjón-Rosal), donde la erosión observada es moderada, el cubrimiento del suelo por la cobertura arbórea se estima en un 40-60% -producto del uso predominante- y pendiente

promedio de 32%. En la actualidad esta es la unidad donde más se presenta el problema de avance de frontera agrícola hacia la zona núcleo de la reserva de biosfera. Por otra parte, las unidades con mayor potencial de escorrentía -bajo el criterio de grupo hidrológico de suelo- son El Volcán, El Valle y Lomas de San José; sin embargo, por la combinación de las pendientes con la cobertura vegetal en las mismas cualitativamente las presenta como de menor riesgo al escurrimiento superficial.

En relación de las características de que afectan el crecimiento (fisiológicas), todas las unidades, excepto El Valle Intercolinar, tienen un buen drenaje interno, medido por las características morfológicas del perfil. La profundidad efectiva, exceptuando las unidades San Jorge, El Zanjón-Rosal y San José, es mayor de 90 cm y las texturas internas en su mayoría son livianas -entre Franca Arenosa a Franca-Arcillosa. En el caso de grupos de suelo, la mayoría se clasifican dentro de los Melanudands. Al comparar estas propiedades con los requisitos fisiológicos de las especies consideradas para plantaciones, permiten concluir a priori que las unidades de tierra de la microcuenca son aptas para su crecimiento.

Las mayoría de unidades presentan como paisaje fisiográfico Laderas Onduladas, ocupando un 88% de la superficie de la microcuenca. Con respecto a la cualidad riesgo a heladas, el restante 12% de las tierras, -representado por las unidades de Pie de monte y Valle Intercolinar-, presentan de moderado a alto riesgo, principalmente cuando se evalúan para *P. maximinoi*. No obstante este riesgo, la mayoría de plantaciones actuales se localizan en estas áreas.

En materia de escurrimiento (agua excedente del balance hídrico), se observa que las unidades La Cumbre y Cumbre Miranda son las que presentan las mayores láminas, así mismo son las de mayor altitud en la microcuenca.

En relación a los factores de comercio, las unidades con mayor accesibilidad son las circundantes a los poblados, es decir, San Jorge (Barbechos) y los tres pie de monte separados. Las restantes son poco accesibles a no accesibles, ésta última clase en las unidades La

Cumbre, Cumbre Miranda y Cumbre San Antonio las cuales constituyen la cabecera de la cuenca, las de mayor altitud y, excepto la tercera, parte de la zona núcleo de la Reserva de Biosfera Sierra de Las Minas.

En materia de textura superficial, la mayoría de unidades presenta texturas Franco Arenosas, ocupando un 45% de las tierras de la microcuenca. Las unidades El Volcán y Lomas de San José, que ocupan un 18% de las tierras estudiadas, presentan textura superficial Franco Arcillosa. Las restantes unidades: El Valle, El Zanjón y La Cumbre tienen textura Arena Franca a Franca. Estas clases texturales, con base en la consulta a expertos, no presentan mayores limitaciones para la cualidad 'trabajabilidad silvícola' en bosques naturales de coníferas -desde el punto de vista de la influencia sobre el arrastre de productos forestales con bueyes-.

En relación a la ubicación de la unidades dentro de las zonas de manejo de la reserva de biosfera, únicamente la Cumbre Miranda esta en la zona núcleo. Las unidades La Cumbre y Cumbre San Antonio no están dentro de ésta zona pero se consideran estratégicas para su estabilidad y la protección del vínculo hidrológico-forestal de la microcuenca, por tales razones, fueron clasificadas como zonas de recarga hídrica. Teóricamente deberían tener un manejo equivalente a las tierras en zona núcleo.

En relación al régimen de propiedad, predomina el tipo de tenencia privado, el cual está presente en la mayoría de unidades. Unicamente las unidades Barbechos El Armado, Barbechos San Jorge y los pie de monte Norte y Oeste carecen de terrenos de propiedad privada. En materia de bosques de coníferas de propiedad comunal, solamente en la Ladera Norte y Lomas El Rosal existen rodales de cantidad aceptable. En las otras unidades donde existen rodales de propiedad comunal, la extensión es mínima para los requisitos de este uso -criterio de expertos-.

En cuanto a los factores de volumen, la característica 'potencial de sitio para ciprés (*C. lusitanica)* se asocia a dos clases, 'medio' y 'productivo'. Obviamente, dentro de una misma

unidad es posible encontrar condiciones que determinen la existencia de ambos potenciales y aún, sitios con potencial pobre; sin embargo, la unidad se clasificó como la tendencia que presenta en cuanto a su potencial productivo para ciprés. Como fue mencionado en el acápite metodológico, la determinación se hizo utilizando curvas de clase de sitio en plantaciones existentes, luego por asociación de factores edáficos, se estima el potencial de unidades sin plantaciones. La variación es principalmente considerando aspectos edáficos -grupo de suelo con su profundidad efectiva y textura-, y fisiográficos y topográficos -paisaje y pendiente-.

La característica 'potencial de sitio' para pino (*P. maximinoi*), se asignó a través de la característica compuesta 'clase de sitio'. Esta se determinó en ALES con un árbol de decisión basado en los aspectos que la consulta a expertos definió como los más relevantes para influir en la aptitud para el crecimiento de especies del género *Pinus*, en éste caso se utilizaron factores topográficos -altitud y pendiente- y edáficos -textura, profundidad efectiva-. La mayoría de unidades presenta un alto potencial de sitio para ésta especie. Solamente las unidades La Cumbre y Cumbre Miranda se definieron con un potencial de sitio pobre. En unidades con plantaciones de *P. maximinoi*, se utilizaron curvas de clase de sitio generadas por PROCAFOR (1996). Esto ayudó a asociar las condiciones de unidades de tierra desprovistas de plantaciones con las que sí poseen, con respecto a la estimación de la 'clase de sitio'.

Las características asociadas a la cualidad 'volumen de madera presente' se determinaron -en campo para rodales existentes en las unidades Ladera Norte, Lomas El Rosal, Lomas San José y Lomas El Bellota; sin embargo, únicamente se reportan los valores para las dos primeras en virtud de que en las restantes la mayoría de rodales inventariados son de propiedad privada, situación que los convierte automáticamente en no aptos para el uso que considera la cualidad anteriormente mencionada. Aún y cuando la información dasométrica levantada incluye otros aspectos relacionados con el volumen, tales como, clase de sitio, incremento (en m^3/ha), área basal (en m^2/ha) y densidad (árboles/ha), en la presente evaluación, la consulta a expertos determinó que por tratarse de rodales de bosque en estado maduro susceptibles de aprovecharse de inmediato, la aptitud física y económica de un rodal puede determinarse con dos variables, el volumen presente/especie y el diámetro promedio del rodal.

Ambas definen la cantidad y tipo de producto a obtener: troza, trocilla o leña.

6.2 El Sistema experto.

El sistema experto está constituido por los cuatro modelos de evaluación de uso de la tierra construidos:

1. Plantaciones de *Pinus maximinoi*, con fines de aserrío, bajo incentivos fiscales;
2. Plantaciones de *Cupressus lusitanica*, con fines de aserrío, bajo administración comunitaria;
3. Manejo de bosques naturales comunitario de *P. maximinoi*, con fines de aserrío; y;
4. Conservación de bosque nuboso como productor de agua.

Los horizontes de planificación (turnos) de cada tipo de uso son de 24, 30, 5 y un año, respectivamente. Los cuatro modelos fueron utilizados para evaluar la aptitud de dieciséis unidades de tierra de la Microcuenca, excepto en el de bosques naturales comunitarios por la ausencia de dos requisitos esenciales del uso: existencia de la masa arbórea y régimen de propiedad comunitario. Por estas dos razones, este modelo fue corrido únicamente para dos fincas representativas de dos unidades de tierra. En ningún caso se evaluó la aptitud de la unidad que corresponde a los poblados de la microcuenca, es decir la unidad 17.

Cada modelo de evaluación contiene una base de datos y una base de conocimientos, la primera constituida por las 16 unidades de tierra homogéneas o unidades de mapeo, 17 requisitos de uso de la tierra, 25 características -tres de ellas compuesta de otras características-, tres tipos de productos para los usos forestales productivos -divididos en cada período de aprovechamiento- y un producto para el uso de conservación. Adicionalmente, los insumos para cada tipo de uso, tanto los anuales como los utilizados en años específicos, y finalmente un grupo de parámetros económicos.

El sistema posee dos unidades ficticias, una buena y otra mala en términos de sus cualidades para los usos considerados, las cuales fueron creadas para verificar el proceso de evaluación en ALES. Estas, al someterlas a la evaluación simulan aptitudes análogas a las de unidades de condiciones similares. Los datos de todas las unidades se indican en los cuadros del anexo 13. Dentro del sistema experto fueron ingresados vía teclado como características discretas y a cada valor -cuantitativo o cualitativo- le corresponde un código nemotécnico.

La base de conocimientos refleja un conjunto de parámetros, definidos en la consulta a expertos, para evaluar cada característica, cualidad de la tierra según niveles de severidad para cada uno de los requisitos y árboles de decisión para la determinación de rendimientos proporcionales y árboles de decisión para la clasificación de las unidades de tierra en clases de aptitud física y económica. Cuando no hay árboles de decisión para los rendimientos proporcionales se indican factores limitantes de los rendimientos con lo cual el sistema los define. En total fueron construidos 83 árboles de decisión.

La aptitud física es evaluada en cuatro categorías: 1) sumamente apta; 2) moderadamente apta; 3) marginalmente apta; y; 4) no apta. Esta responde a los requisitos de uso de cada uso los cuales se presentan en los cuadros 2, 3, 4 y 5. La evaluación económica, tal y como lo señala la metodología se hizo únicamente a aquellas unidades físicamente aptas, -dentro de las tres clases-. Para los usos forestales productivos se evalúa en base a valor presente neto y relación beneficio/costo; el uso de conservación se evalúa por margen bruto.

ALES, permite que el sistema experto ejecute otros procesos, como:

- Impresión de reportes ya sea en forma de textos o hojas de cálculo. Estos pueden ser sobre la base de datos, la base de conocimientos o sobre los resultados de las evaluaciones.
- Consulta en el modo de usuario, a través de preguntas puede conducir a una evaluación, ya sea de las unidades que constituyen parte de la base de datos o bien de otras. Vale mencionar que en éste modo preguntará a un usuario únicamente características que contenga la base de datos y de conocimientos. Por lo tanto, se infiere que el sistema solo

puede usarse para la zona donde se generó o para zonas ambientalmente similares.

- A través de una subrutina, intercambia información con una base espacial georeferenciada construida en IDRISI. Con esto se visualizan en un mapa base de la microcuenca, tanto los resultados de las evaluaciones -física y económica- como los valores de todas las características de las unidades de tierra e incluso recibir información georeferenciada de nuevas características, siempre y cuando se utilice el mismo mapa base.

Las limitaciones que presenta el sistema experto no son inherentes al ALES, las mismas reflejan el estado de conocimiento sobre los requisitos de los usos de la tierra. la disponibilidad de información básica sobre las principales características de las tierras y la respuesta de los usos a diferentes condiciones ambientales. En el capítulo metodológico fueron mencionados los principales procedimientos para llegar a definir características relevantes para evaluar condiciones de tierra frente a los usos considerados. Se recalca que las principales limitantes encontradas fueron las siguientes:

- Información sobre índice de sitio y calidad de sitio para las especies forestales consideradas.
- Tablas de rendimiento para las especies consideradas.
- Tablas de distribución de productos en función de diámetros promedio.
- Información climática e hidrológica que permita refinar las predicciones sobre producción de agua en la microcuenca.
- Información de insumos para los usos considerados, especialmente en el caso de las plantaciones después de 10 años de edad.
- La edad de las plantaciones existentes en el área de estudio y su limitada distribución en las 16 unidades no permitió realizar pruebas de validación de los modelos.
- Para el caso de las modelos de plantaciones, la uniformización de las edades a las cuales se suponen los aclareos en cada 'clase de sitio'. Esto en la práctica forestal no es recomendable. En el presente caso la edad de los aclareos se uniformizó para fines de análisis financiero, tomando como base el sitio de mayor potencial productivo.

No obstante las limitaciones señaladas, el sistema experto posee, a juicio del autor, las siguientes bondades:

- Unidades de tierra con características relativamente estables, tales como altitud, pendientes, fisiografía, profundidad efectiva, textura, y otras; todas ellas susceptibles de ser utilizadas, tanto para una calibración y validación de los modelos construidos, como para otros modelos -correspondientes a otros tipos de uso, forestal, agrícola o agroforestal-.
- Unidades de tierra con características moderadamente estables o inestables como: pH, materia orgánica, bases del suelo, CIC (Lundgren 1980), uso de la tierra, precipitación, accesibilidad y otras que pueden ser utilizadas con fines de monitoreo de la aptitud de las tierras.
- Posibilidad de modificar y actualizar los parámetros de evaluación, tanto física como económica, ya sea a través de la generación de mayor información básica o por retroalimentación de una nueva etapa de consulta a expertos.
- Un mecanismo de interfase con un SIG lo cual lo convierte en novedoso y sumamente útil para efectos de planificación del uso de la tierra.

6.3 Resultados de las evaluaciones

La evaluación de aptitud física de las tierras se realizó para cada uno de los modelos construidos, los cuales son el producto de los requisitos de uso, definidos en la consulta a expertos. Cada modelo actúa en forma independiente aún y cuando algunos o todos los requisitos sean los mismos, muy probablemente las características o clases -valores- de las características diferirán en las bases de datos y de conocimientos. Tal y como lo señala Rossiter *et al* (1993), los resultados son aptitudes relativas de un grupo de tipos de uso para cada unidad de área de tierra. Esto es muy útil dentro de un solo tipo de uso.

Para la evaluación económica fueron definidos algunos parámetros que pide el esquema de evaluación y por consiguiente el ALES. Las plantaciones fueron definidas por un horizonte equivalente a un turno de rotación, 24 años para *P. maximinoi* y 30 años para *C. lusitanica.* El modelo de bosque de *Pinus* se elaboró con un horizonte de planificación de 5 años, por razones ya explicadas en las especificaciones del uso. La conservación del bosque nuboso agua se planifica sobre una base anual en función del tipo de producto: el agua.

La evaluación económica en ALES se hizo con algunos de los indicadores propuestos a efecto de poder comparar los distintos usos sobre una base común, el dinero en este caso. Para los usos de más de un año de horizonte de planificación se compararon a través de los indicadores valor presente neto, VPN, y la relación beneficio/costo, B/C. La tasa de actualización fue del 6%. Para el bosque nuboso se utiliza como factor de comparación el margen bruto (ingresos totales menos costos totales). Las clases de aptitud económica fueron definidas en función de la máxima ganancia posible en cada tipo de uso, para ello resultó útil la definición de unidades ficticias sumamente aptas para todos los usos; posteriormente las siguientes clases se castigaron en 40 y 80% en sus rendimientos.

Para cada modelo se corrió una evaluación individual aunque ALES lo puede hacer conjuntamente. Los cuadros que muestran los resultados señalan el nombre de la unidad, la clase de aptitud física -de uno a cuatro-, la Subclase que esta representada por un número (el de la clase) y un código que corresponde al requisito o requisitos que actúa (n) como calificadores de la clase. Adicionalmente se presentan los valores de los indicadores económicos y la clase que le corresponde (identificada con las siglas A.E.), identificadas como S1 a S3 si son aptas económicamente, como N1 cuando no es apta económicamente habiendo sido previamente calificada como apta físicamente, y como N2 para aquellas unidades que físicamente no calificaron como aptas y que por lo tanto no fueron analizadas por ALES en la evaluación económica.

Vale mencionar que los modelos construidos para la calificación de aptitud física contemplan únicamente cuatro clases de aptitud, asignando automáticamente a una unidad clase 4 de aptitud física, como no apta permanentemente en términos económicos. Esta situación es corregible con mayor información lo cual permite agregar una clase más para corresponder perfectamente con el esquema de FAO. En el caso de querer mayor precisión ALES, permite diferenciar hasta un máximo de nueve clases de aptitud (Rossiter 1994).

6.3.1 Plantaciones forestales de *Pinus maximinoi* H.E. Moore; con fines de aserrío bajo incentivos fiscales.

El cuadro 9 presenta los resultados de las evaluaciones realizadas con este modelo. Con base en los requisitos que fueron considerados para evaluar la aptitud física, solamente cuatro unidades de la microcuenca presentan aptitud para plantaciones de *P. maximinoi* bajo incentivos fiscales; sin embargo, ninguna de ellas es sumamente apta. Estas cuatro unidades ocupan un 29% de la superficie estudiada. El cuadro resume las subclases de aptitud física encontradas bajo este modelo. Puede observarse que las principales cualidades que determinan la aptitud física para el uso considerado está representado por la 'disponibilidad de tierra' -régimen privado-, la 'facilidad para comercialización', el 'riesgo a erosión', la 'trabajabilidad silvícola' y el 'riesgo a heladas'.

Las condiciones de tierra que determinan la aptitud para el uso no necesariamente señalan una aptitud para el crecimiento. Para el presente caso, la aptitud para el crecimiento fue determinada por la característica denominada 'calidad de sitio', la que a su vez define un rendimiento estimado de madera. En el presente caso, las unidades que califican como moderadamente aptas, Lomas El Bellota y las clase 3, Ladera Norte, Lomas San José y Pie de Monte no erosionado, sobrepasan en severidad al nivel de la condición rendimiento estimado de madera.

La unidad El Valle presenta una fuerte limitación física, difícil de corregir que es el riesgo a heladas. Por esta razón resulta como no apta para el uso considerado. En la práctica ha ocurrido que plantaciones de *P. maximinoi,* menores de tres años de edad, no han soportado períodos de heladas, lo cual ha obligado a reemplazarlas por una especie menos susceptible como el *C. lusitanica.* Esta condición en la microcuenca no afecta el crecimiento pero sí la sobrevivencia de *P. maximinoi* (Vaidez 1996)[1]. En el modelo de evaluación se contempla el uso de insumos adicionales en el caso de unidades con mediano riesgo a las heladas; obviamente esto significa un incremento en los costos de producción durante los primeros tres años de edad de una plantación.

Cuadro 9. Resultado de la evaluación del TUT *P. maximinoi*, plantaciones bajo incentivos fiscales, microcuenca Río Chilascó, Guatemala, 1996.

Unidad de	Aptitud Física		Aptitud Económica			
	Clase	Subclase	VPN		Rel B/C	
			Q/ha	A.E.	Rel	A.E.
B. El Armado	4	4DT		n2		n2
L. San Jorge	4	4Com		n2		n2
B. San Jorge	4	4DT		n2		n2
P.M. Norte	4	4DT		n2		n2
P.M. Oeste	4	4DT		n2		n2
P.M.no eros.	3	3RH	3953	s1	1,15	s3
Ladera Norte	3	3Com/RE/TS	3695	s1	1,14	s3
El Volcán	4	4DT/RE/TS		n2		n2
Valle	4	4RH		n2		n2
B.Zanjon-Rosal	4	4Com		n2		n2
La Cumbre	4	4Com		n2		n2
Cumbre Miranda	4	4Com/DT		n2		n2
C. San Antonio	4	4Com		n2		n2
L. El Rosal	4	4Com		n2		n2
L. San José	3	3Com/RE/TS	-1581	n1	0,93	n1
L. El Bellota	2	2Com/RE/RH/TS	3953	s1	1,15	s3
Poblados		nr		nr		nr

Com: Facilidad a la comercialización
DT: Disponibilidad de tierra para el uso
TS: Trabajabilidad Silvícola
VPN: Valor Presente Neto; A.E. : Aptitud económica
B/C: Rel. Beneficio/Costo
nr: No relevante al uso
Q/ha: Quetzales/ha 1 US$ ≈ Q 6,0

RE: Riesgo de Erosión
RH: Riesgo a Heladas

2: Moderadamente Apta
3: Marginalmente Apta
4: No apta

s1: Sumamente Apta
s2: Moderadamente Apta
s3: Marginalmente Apta

n1: No apta temporalmente
n2: No apta permanentemente

[1] Vaidez (1996). Técnico de FORESA (comunic. personal, consulta a expertos).

En el caso de los rendimientos estimados en estas unidades, que como ya se mencionó depende de la 'calidad de sitio', en el cuadro 10 puede observarse los rendimientos proporcionales para cada subclase de aptitud. Como fue mencionado, en las unidades no aptas, no significa que la especie considerada no crece y por lo tanto no se expresa ningún rendimiento, sencillamente ALES no estima rendimientos para estas unidades y por consiguiente no evalúa económicamente. Es por ello, que únicamente aparece rendimiento para las unidades con algún grado de aptitud física.

Cuadro 10. Resumen de subclases de aptitud física y rendimiento proporcional para *P. maximinoi*. Microcuenca Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

Subclase	Producción total (m^3/ha)			Area	
	Leña	Trocilla	Troza	Has	%
2Com/RE/RH/TS	53,1	127,5	135,5	493,5	7,39
3Com/RE/TS	43,2	81,7	17,2	581,1	8,7
3Com/RE/TS	53,1	127,5	135,5	693,7	10,4
3RH	53,1	127,5	135,5	156,5	2,34
4DT				906,8	13,59
4Com				2241,3	33,58
4Com/DT				413,2	6,19
4DT/RE/TS				626,5	9,39
4RH				495,6	7,43
Poblados				65,6	0,98
Total				6673,9	100,00

Se observa que bajo los criterios utilizados para evaluar aptitud física, aún en clases con similares factores limitantes, los rendimientos pueden ser diferenciados, siempre y cuando no se trate de los factores que afectan el rendimiento. Las unidades Ladera Norte y Lomas San José presentan en este caso, limitantes de facilidad para la comercialización, disponibilidad de tierra privada para el uso y trabajabilidad silvícola; sin embargo, en cuanto a su rendimiento proporcional, la unidad Ladera Norte presenta mayor potencial. Al examinar los resultados de la evaluación -con la rutina del Porqué? que posee el sistema experto- se explica la diferencia en la 'calidad de sitio' en cada Unidad, 'buena' en la Ladera Norte y 'media' en Lomas San José. La primera presenta mayor profundidad de suelos, leve erosión de suelos, textura franco

arenosa y mejores condiciones de enraizamiento -representadas por el grupo de suelos Melanudands-. Estas características, con base en la consulta a expertos, suponen mejores condiciones de humedad y de absorción de nutrientes en contraposición a la unidad Lomas San José que presenta menor profundidad efectiva (60-90 cm), textura franco arcillosa y erosión moderada.

El rendimiento proporcional en las subclases de aptitud encontradas varía entre 142 m^3/ha a 316 m^3/ha, correspondientes a las clases de sitio media y buena, respectivamente. Este rendimiento constituye el volumen total extraído durante el turno -24 años- obtenido en tres aclareos y una corta final. La gran diferencia entre los rendimientos en las calidades de sitio se debe a que únicamente se trabajó con tres, buena, media y pobre. Indudablemente existen calidades intermedias y por lo tanto rendimientos intermedios. Nuevamente, el vacío de información respecto a esta característica obligó a únicamente suponer tres calidades de sitio para estimar el rendimiento proporcional.

En usos forestales tiene mucho peso la variable diámetro para definir el tipo de producto, así los árboles de mayores dimensiones en ésta variable se destinan a aserrío (trozas), y los de menores dimensiones para leña, reservándose diámetros intermedios a trocilla o leña, según la existencia de mercados. Para el presente caso, la producción en cada subclase de aptitud se dividió en éstos tres productos, utilizando un tabla de distribución de productos en función del diámetro promedio.

La figura 4 muestra la distribución de la producción bajo cada cualidad rendimiento estimado de madera que a su vez, como ya ha sido mencionado, depende de la calidad de sitio. Estos productos son obtenidos en los diferentes períodos de cosecha y no siempre se obtiene troza en los primeros aclareos, aspecto que tiene mucho peso en los flujos de caja a lo largo del horizonte de planificación.

En relación a la aptitud económica de las unidades de tierra, en el cuadro 9 se observan los indicadores utilizados dentro de éste modelo, es decir, el VPN y la relación B/C. Las unidades no aptas físicamente, aparecen como clase n2 que en el esquema de la FAO (1976; 1985), significa no apta por cualidades físicas. Bajo el indicador valor presente neto, las unidades P. de monte no erosionado, Ladera Norte y Lomas El Bellota se clasifican como s1,

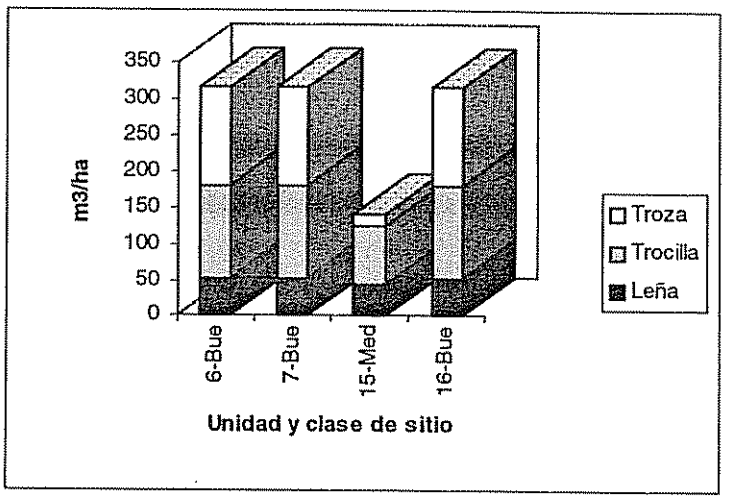


Figura 4. Rendimiento proporcional de *P. maximinoi* por unidad/clase de sitio. Mic. Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

es decir sumamente aptas desde el punto de vista económico. La unidad Lomas San José, clasifica como n1 que significa que aunque físicamente tiene aptitud, económicamente no la tiene puesto que su VPN es negativo igualmente su relación B/C. La razón es el rendimiento estimado para ésta unidad que corresponde a un nivel medio que obviamente no es suficiente para cubrir los insumos que el uso requiere. Otra razón inherente a la tierra es que dentro del rendimiento proporcional, la participación del producto 'Troza' es del orden del 12% de la producción total lo cual no contribuye a generar mayores ingresos. Esta razón justifica la práctica forestal de alargar el turno en los sitios de menor productividad a efecto de llegar a obtener producto aserrable que tiene mayor valor que en el caso de Trocilla y Leña.

En cuanto al indicador B/C, las unidades aptas bajo el indicador VPN, clasifican como s3, o sea una aptitud marginal. Dentro del modelo puede observarse como afectan los flujos de caja en los primeros años de la plantación el uso de insumos adicionales por la presencia de

las cualidades riesgo a heladas y trabajabilidad silvícola, las cuales hasta cierto nivel pueden ser corregidas con insumos como protectores de plantas (tapezcos) y terrazas individuales, respectivamente.

6.3.2 Plantaciones forestales de *Cupressus lusitanica*; con fines de aserrío, bajo administración comunitaria.

El cuadro 11 presenta los resultados de la evaluación bajo éste modelo. Al igual que en el caso del modelo anterior, los requisitos facilidad a la comercialización y disponibilidad de tierra para el uso, resultan ser los de mayor severidad y por lo tanto determinan la aptitud física de varias unidades, aún y cuando la aptitud para el crecimiento determine que la cualidad este en el nivel de moderada aptitud. El cuadro 12 presenta un resumen de las subclases de aptitud encontradas para este TUT, sobresaliendo la subclase 4Com/DTC en aproximadamente el 31% de las tierras de la microcuenca, seguida de la clase 3Com/RE/TS en un 19% del área estudiada. No existe una sola unidad que resulte sumamente apta para este tipo de uso.

La unidad El Valle que ocupa un 7,4 % de la microcuenca con las mayores ventajas para diferentes tipos de uso entre forestales o agrícolas, presenta mediano riesgo a heladas, siendo esta condición la mayor limitante para el uso. Comparativamente con el *P. maximinoi*, el *C. lusitanica*, ha mostrado mayor resistencia a la presencia de heladas, por lo que dentro de esta unidad la aptitud física, aunque marginal, permite el uso. Esto es un ejemplo de la relatividad de la aptitud de una unidad de tierra frente a usos diferentes, comparados con el mismo requisito pero diferente nivel de severidad en cada uso.

Cuadro 11. Resultado de la evaluación del TUT *Cupressus lusitanica*, en plantaciones comunitarias, microcuenca R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

Unidad de mapeo	Aptitud Física		Aptitud económica			
			VPN		Rel.	B/C
	Clase	Subclase	Q/ha	A.E.	Rel	A.E.
B. El Armado	2	2REM/RE/RH/TS	941,5	s1	1,65	s1
L. San Jorge	4	4Com/DTC		n2		n2
B. San Jorge	2	2REM/RE/RH/TS	941,5	s1	1,65	s1
P.M. Norte	2	2REM/RE/RH	941,5	s1	1,65	s1
P.M. Oeste	2	2REM/RE/RH	941,5	s1	1,65	s1
P.M. no eros.	2	2REM/RH	941,5	s1	1,65	s1
Ladera Norte	3	3Com/RE/TS	913,5	s1	1,46	s1
El Volcán	4	4DTC/RE/TS		n2		n2
Valle	3	3RH	940,6	s1	1,64	s1
B.El Zanjón-Rosal	4	4Com/DTC		n2		n2
La Cumbre	4	4Com/DTC		n2		n2
Cumbre Miranda	4	4Com/DTC		n2		n2
Cumb. San Antonio	4	4Com/DTC		n2		n2
Lomas El Rosal	4	4Com		n2		n2
Lomas San José	3	3Com/RE/TS	913,5	s1	1,46	s1
Lom.El Bellota	4	4DTC		n2		n2
Poblados		nr		nr		nr

Com: Facilidad a la comercialización
DTC: Disponibilidad de bosque comunitario
REM: Rendimiento Estimado de Madera
VPN: Valor Presente Neto; A.E. : Aptitud económica
B/C: Rel. Beneficio/Costo
nr: No relevante al uso

RE: Riesgo de Erosión
RH: Riesgo a Heladas
TS: Trabajabilidad Silvícola
s1: Sumamente Apta
s2: Moderadamente Apta
Q/ha: Quetzales/ha 1 US$ ≈ Q 6,0

1: Sumamente Apta
2: Moderadamente Apta
3: Marginalmente Apta
n1: No apta temporalmente
n2: No apta permanentemente

Bajo este modelo, al igual que en el anterior, la clase de aptitud física no necesariamente señala una aptitud para el crecimiento y por lo tanto para la expresión de un rendimiento. Bajo este modelo, tal y como se observa en el cuadro 12, todas las unidades presentan igual rendimiento. Esto se explica porque la característica potencial productivo para el sitio - equivalente al concepto clase de sitio-, bajo los criterios utilizados en la presente evaluación, no varía en toda la microcuenca. No obstante, existen otras cualidades que determinan mayores limitaciones para el TUT y por lo tanto su no aptitud.

Cuadro 12. Resumen de subclases de aptitud física para *C. lusitanica* y rendimientos proporcionales.

Subclase	No.sub clase	Rendimiento (m3/ha/turno)			Area	
		Leña	Trocilla	Troza	Has	%
2REM/RE/RH/TS	1	64,83	112,24	181,04	769,5	11,53
2REM/RE/RH	7	64,83	112,24	181,04	137,32	2,06
2REM/RH	8	64,83	112,24	181,04	156,5	2,34
3Com/RE/TS	4	64,83	112,24	181,04	1274,82	19,10
3RH	10	64,83	112,24	181,04	495,63	7,43
4Com/DTC	2				2098,36	31,44
4Com	3				556,19	8,33
4DTC	5				493,5	7,39
4DTC/RE/TS	9				626,5	9,39
nr	6	nr	nr	nr	65,56	0,98
Total					6673,88	100,00

Las unidades con aptitud moderada y marginal ocupan un 42% de las tierras de la microcuenca tal y como lo presenta la figura 5. El rendimiento bajo estas subclases lo muestra la figura 6 en la cual se ha sumado el volumen de cada tipo de producto durante tres aclareos y una corta final, dentro del horizonte de planificación que para el presente caso es de 30 años. Al igual que en el *P. maximinoi,* el tipo de producto está en función del diámetro.

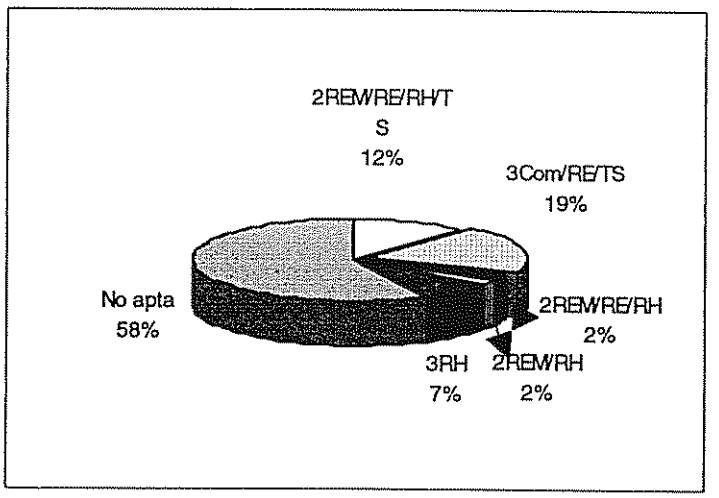


Figura 5. Subclases de aptitud para *C. lusitanica*. Mic. Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

En relación a la aptitud económica de la unidades de tierra, al igual que en el modelo anterior se utilizaron los indicadores VPN y la relación B/C. Las unidades no aptas físicamente, aparecen como clase n2, es decir corresponden a las físicamente no aptas. Bajo los indicadores considerados y los insumos identificados para este tipo de uso, todas la unidades con aptitud física presentan la misma clase de aptitud económica, identificada como s1, que en el esquema de FAO (1976; 1985) corresponde a una clase sumamente apta.

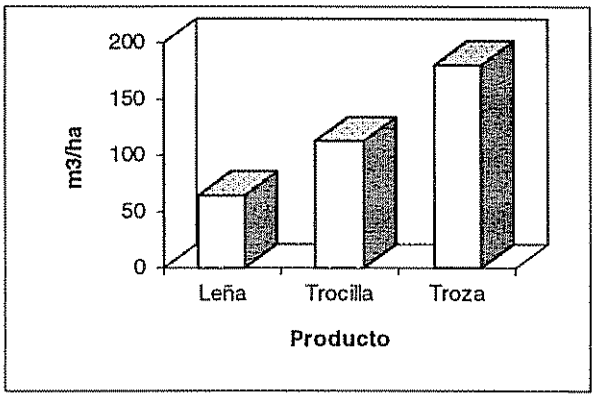


Figura 6. Rendimiento/turno en *C. lusitanica*, potencial de sitio 'medio'. Mic. Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

Aún y cuando el cuadro resumen de las subclases no muestran variación en los rendimientos bajo las diferentes aptitudes físicas, los valores de los indicadores económicos presentan una una diferencia entre las clases moderada y marginal, correspondiendo un VPN de Q 940,6/ha[2] con una relación B/C de 1,65 a las de aptitud moderada (El Armado, Barbechos San Jorge, P.M. Norte, P.M. Oeste y P.M. no erosionado) y un VPN de Q 913,5/ha con una relación B/C de 1,46 a las de aptitud marginal (Ladera Norte y San José). Al examinar dentro del sistema el porqué?, se observa que es debido a la mayor severidad del requisito trabajabilidad silvícola, por un mayor grado de pendiente en las unidades marginales; esta condición obliga a realizar estructuras de conservación, como terrazas individuales, en los primeros años de la plantación, incrementando los costos de producción. El peso de este requisito se observa al comparar las tres unidades con clase 3 pero con diferente requisito de

[2] Q6.0 por 1 US$.

calificación como en El Valle donde la limitante es el riesgo de heladas, más no necesita insumos adicionales por lo que el flujo de caja no varía en comparación a los otras unidades de clase 2.

6.3.3 Manejo de bosques naturales comunitarios de *P. maximinoi*; bajo el modelo centroamericano propuesto por PROCAFOR.

El manejo de bosques naturales de coníferas, en el presente caso predominantemente de *P. maximinoi,* bajo el modelo centroamericano propuesto por PROCAFOR[3], tal y como ya fuera mencionado en el acápite metodológico, presenta diferencias en cuanto a requisitos para el crecimiento. Las predicciones de rendimiento de madera son sustituidas por el inventario del volumen de las especies presentes. Así, un requisito fundamental es que el bosque esté presente y dos características son básicas para evaluar su aptitud para el rendimiento: el volumen presente y el diámetro promedio de la masa arbórea.

En virtud del requisito mencionado, bajo este modelo únicamente fueron consideradas dos unidades de tierra, Ladera Norte y Lomas El Rosal y dentro de cada una, una finca representativa puesto que este tipo de uso no ocupa la totalidad del área de las unidades. En las Lomas San Jorge, Valle, Barbechos El Zanjón, Cumbre San Antonio, Lomas San José y Lomas El Bellota existen rodales de coníferas del régimen de propiedad considerado, comunitario; sin embargo, sus extensiones no son aptas para el manejo bajo el modelo de PROCAFOR.

Otra razón por la cual no se incluyeron las unidades mencionadas dentro de la evaluación bajo el presente modelo lo constituye el hecho de que, bajo el mismo, cada unidad de tierra o cada finca dentro de una unidad de tierra es independiente de otras fincas dentro de la misma unidad o de otra, excepto si cumple con el concepto de rodalización uniforme, es decir que sea de la misma edad, misma calidad de sitio, similar volumetría, similares condiciones edáficas. Como esto no es el caso de los rodales o fincas de bosque comunitario presente en la microcuenca, cada uno significa

---

[3] PROCAFOR, Proyecto de Capacitación Forestal (PROCAFOR-DIGEBOS, 1996)

un modelo diferente, principalmente en la definición de sus insumos que dependen de la manifestación de las variables mencionadas con anterioridad, especialmente de la volumetría existente. Esta condición obliga a que en ALES, cada unidad tendría que ser evaluada -para este tipo de uso- con un modelo particular, al menos en lo que a aptitud económica se refiere.

Las anteriores condicionantes determinaron que por la cualidad volumen de madera presente, las fincas de las dos unidades consideradas presentan condiciones similares, por lo que desde el punto de vista físico pudieron ser comparadas, no así económicamente, como se explica posteriormente. Los resultados de la evaluación biofísica se presentan en el cuadro 13, donde se observa que la Ladera Norte presenta mayor aptitud, aunque no sumamente apta, en comparación a la finca representativa de Lomas El Rosal. En esta última, el requisito de mayor severidad es la facilidad a la comercialización determinado por la accesibilidad a la misma. Las cualidades que definen la aptitud de la unidad Ladera Norte, además de la facilidad a la comercialización, son la disponibilidad de tierra comunitaria y el riesgo a erosión.

Cuadro 13. Resultado de la evaluación de aptitud física para bosques comunitarios de coníferas, microcuenca R. Chilascó, Guatemala, B.V., 1996.

Unidad de mapeo	Aptitud Física		Aptitud Económica			
			VPN		B/C	
	Clase	Subclase	Q/ha	AE	Rel	AE
Ladera Norte	3	3Com/DTC/RE	1783	s1	1,26	s2
Lomas El Rosal	4	4Com	1733	s1	1,25	s2

Com: Facilidad a la comercialización
DTC: Disponibilidad de bosque comunitario
RE: Riesgo de Erosión
VPN: Valor Presente Neto; A.E. : Aptitud económica
B/C: Rel. Beneficio/Costo
3: Marginalmente Apta
4: Temporalmente No Apta
s1: Sumamente Apta
s2: Moderadamente Apta
Q/ha: Quetzales/ha 1 US$ ~ Q 6,0

La superficie que ocupan las fincas consideradas no tienen mayor importancia a nivel de superficie ocupada en la microcuenca, ambas constituyen apenas un 1,4 % de la superficie de la misma y un 14% de la superficie total ocupada con coníferas; sin embargo, para la comunidad de Chilascó, estos rodales son de particular relevancia puesto que ambos ocupan un 82% del total de bosques de su propiedad -dentro de la microcuenca-. El cuadro 14 presenta la superficie absoluta y relativa ocupadas por ambas subclases de aptitud.

Cuadro 14. Importancia relativa de las subclases de aptitud física para bosques comunitarios de coníferas, microcuenca R. Chilasco, B.V., Guatemala, 1996.

Subclase	Area de finca	% de la UT	% de la cuenca	% de bosque coníferas	% de bosque comunal
3Com/DTC/RE	20	3,6	0,5	3,1	18,2
4Com	70	10,8	0,9	10,9	63,6
n/e	556		8,3		
n/r	6032,85		90,4		

UT: Unidad de Tierra donde se localizan los rodales.

Al momento de eliminar, dentro del modelo de evaluación, la cualidad facilidad a la comercialización como una condición limitante o bien aumentar una clase de aptitud física -5 en lugar de 4-, la unidad Lomas El Rosal pudo ser evaluada bajo los indicadores económicos. Igualmente la unidad Ladera Norte; sin embargo, como fuera mencionado, ambas fincas aún y cuando por la cualidad volumen de madera presente son similares, el rendimiento real en volumen por especie difiere, así mismo sus diámetros promedios y las áreas que ocupan. Estas características son básicas en la definición de la corta anual permisible, parámetro silvicultural que define las actividades e insumos durante el período de planificación. Por lo tanto, los indicadores económicos del sistema experto para ésta unidad no pueden tomarse como válidos. En los siguientes párrafos únicamente mencionamos el comportamiento económico -bajo el esquema de evaluación de tierras, de la unidad Lomas El Rosal.

Bajo la cualidad volumen de madera presente, la unidad Lomas El Rosal presenta una adecuada aptitud -nivel 2-; superada, negativamente por cualidades de trabajabilidad silvícola y riesgo a erosión; esto significa que si el acceso a la unidad fuera mejorado, su aptitud sería 3RE/TSBN, porque estas otras cualidades corresponden al nivel 3. Bajo esta subclase, el rendimiento maderable está expresado por el volumen presente por especie o especies dentro de los rodales de la unidad evaluada. En el presente caso, la mayoría de rodales son de la especie *P. maximinoi*, de clase de desarrollo C3-C4, siglas con las que se identifica a bosques maduros con susceptibilidad de ser aprovechados.

El inventario preliminar realizado para los rodales de la finca representativa del uso en esta unidad, define un volumen promedio de 282m³/ha y un dap[4] medio de 26 cm. El área total de la finca es de 73,7 has, de las cuales el 72% es área forestal productiva, el área restante por sus condiciones de pendiente y cercanía a corrientes de agua de agua se consideran rodales de protección. La definición del plan de manejo para los cinco años utilizando los criterios de corta anual permisible, la distribución de las clases de desarrollo en los rodales de la finca y la urgencia biológica de los tratamientos silviculturales -cortas y raleos- permitieron identificar las actividades a realizar en éste período, las cuales constituyen la base de los insumos y productos requeridos para trabajar con el ALES.

En cuanto a los productos, el diámetro promedio tiene mucho peso en su definición. La figura 7 muestra la distribución del rendimiento en la finca representativa de la unidad durante los cinco años de manejo. Vale recalcar que estos rendimientos y la distribución de productos son definidos por principios silviculturales y económicos, no constituyen directamente un comportamiento biológico de la especie. Los tratamientos silviculturales se realizan en diferentes rodales de la finca; sin embargo, para efectos de comparación con los otros tipos de uso, los costos e ingresos son trasladados a una unidad de superficie comparativa, la hectárea en este caso.

La figura 8 muestra la participación de cada tipo de producto en la generación de ingresos en cada año del período de planificación. Esto confirma la relevancia de las características que fueron consideradas en el modelo de evaluación para el requisito denominado volumen de madera presente, el volumen por especie y el diámetro promedio de los rodales. Para fines de aserrío, no es suficiente tener volumen, resulta una característica valiosa si se acompaña de diámetros 'aserrables', esto determina una mayor aptitud económica de la unidad de tierra para este tipo de uso.

---

[4] dap, diámetro tomado a 1.30 m de altura del árbol.

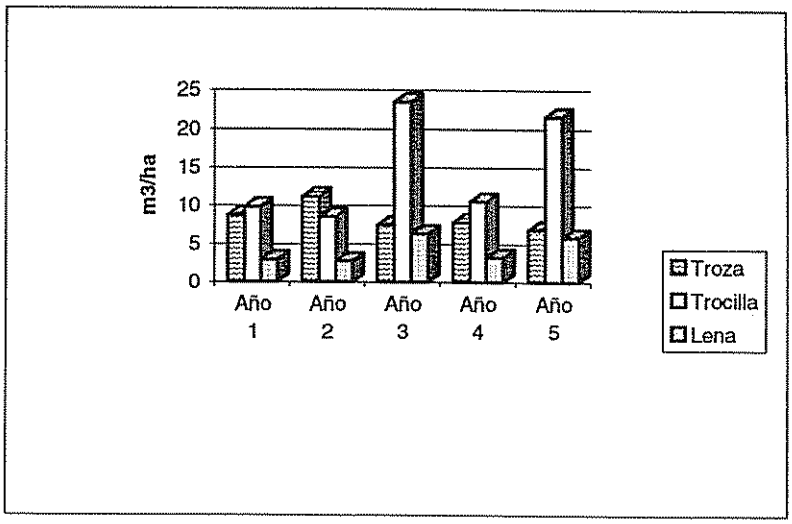


Figura 7. **Distribución del rendimiento en el TUT bosque natural de coníferas, unidad Lomas el Rosal, Mic. del Río Chilascó, 1996.**

Los indicadores de la evaluación económica señalan que la finca representativa del uso considerado, es sumamente apta, s1, bajo el indicador valor presente neto, el cual asciende a Q1733.00/ha[5] y, bajo el indicador relación beneficio/costo, clasifica como moderadamente apta, s2,

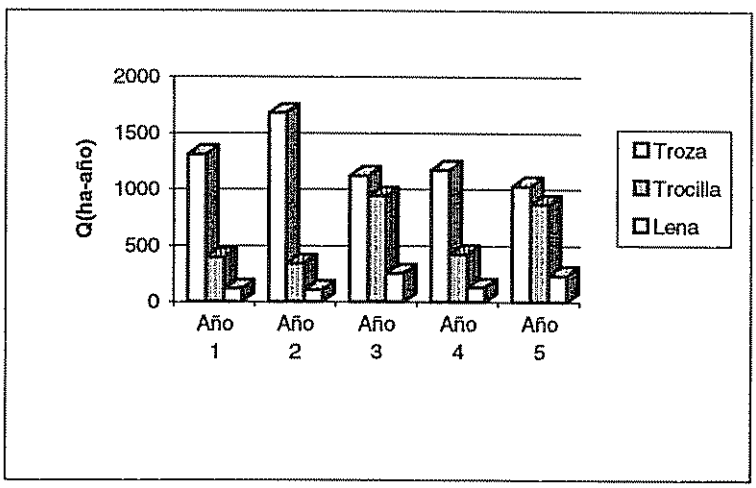


Figura 8. **Distribución del ingreso en el TUT bosque natural de coníferas durante el hoizonte de planificación. Mic. del Río Chilascó, 1996.**

[5] Q6.0 por $1.0.

con un valor de 1,26. El flujo de caja muestra que por las condiciones de fuerte pendiente (30-40%), esta unidad tiene un incremento en los costos para el primer año por requerir un insumo adicional, 'trochas para tránsito de bueyes' en la actividad de arrastre. En pendientes abajo del 20%, la relación B/C podría subir a 1,28. Este es un ejemplo de como una característica de la tierra aun cuando no afecte el rendimiento, si puede influir en el nivel de insumos y por lo tanto en la aptitud económica.

6.3.4 Conservación del bosque nuboso como productor de agua.

Como fue mencionado en la descripción de este TUT, su aptitud física la determina la condición 'susceptibilidad a la producción de agua', determinada en función de la característica 'escurrimiento' o 'excedente de agua' dentro de un balance hídrico para cada unidad de tierra. El cuadro 15 presenta los resultados de la evaluación de aptitud física bajo este modelo. Se observa que resultan dos subclases de aptitud, sumamente apta, 1, y moderadamente apta, 2SPA.

Las unidades sumamente aptas corresponden a las que se ubican a altitudes mayores de los 2200 msnm, correspondiendo con la zona donde más se manifiestan las condiciones de bosque nuboso en la microcuenca. Con base en los supuestos utilizados para elaborar el balance hídrico en cada unidad, las de mayor aptitud, presentan el mayor escurrimiento o excedente de agua, producto de un mayor aporte de la precipitación horizontal y menores tasas de evapotranspiración potencial - la cual, por el tipo de cobertura, se asume cercana a la real-. Dentro de las unidades sumamente aptas sobresalen La Cumbre y La Cumbre Miranda, las cuales ocupan las mayores altitudes promedio de la microcuenca; sin embargo, a nivel de la evaluación, el sistema las ubica en la misma clase de aptitud que las otras sumamente aptas debido a los límites definidos para la separación de subclases con la característica escurrimiento.

Cuadro 15. Resultados de aptitud física del TUT bosque nuboso productor de agua, microcuenca R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

Unidad de mapeo	Apt. Física		Aptitud económica	
	Clase	Sub clase	MB Q/ha-año	A.E. Clase
Barbechos El Armado	2	2SPA	600	s2
Lomas San Jorge	1	1	840	s1
Barbechos San Jorge	2	2SPA	600	s2
Pie de monte Norte	2	2SPA	600	s2
Pie de monte Oeste	2	2SPA	600	s2
Pie de monte no erosionado	2	2SPA	600	s2
Ladera Norte R. Chilascó	1	1	840	s1
El Volcán	1	1	840	s1
Valle	2	2SPA	600	s2
Barbechos El Zanjón-Rosal	1	1	840	s1
La Cumbre	1	1	840	s1
Cumbre Miranda	1	1	840	s1
Cumbre San Antonio	1	1	840	s1
Lomas El Rosal	2	2SPA	600	s2
Lomas San José	2	2SPA	600	s2
Lomas El Bellota	2	2SPA	600	s2
Poblados	0	nr	0	nr

SPA: Susceptibilidad a la producción de Agua
nr: no relevante al uso
MB: Margen Bruto (Q/ha/año)
Q/ha: Quetzales/ha 1 US$ = Q 6,0

1: Sumamente Apta
2: Moderadamente Apta
s1: Sumamente Apta
s2: Moderadamente Apta

El cuadro 16 presenta la superficie ocupada por cada una de las subclases de aptitud física para el presente TUT, la subclase sumamente apta ocupa un 51% del área evaluada y la subclase moderada un 48% de la misma. El restante 1% corresponde a los poblados. Comparativamente con los otros TUT la conservación del bosque nuboso como productor de agua es el de mayor aptitud en la microcuenca al ocupar ambas clases el 99% de la misma.

En el presente TUT, la aptitud física fue evaluada únicamente bajo un requisito, el escurrimiento. Al mismo tiempo es utilizada para definir el rendimiento proporcional, según la clase de aptitud. Dentro de la construcción del modelo se definió, como un rendimiento óptimo el mayor escurrimiento que puede darse en una unidad de tierra, esto correspondería a

Cuadro 16. Resumen de subclase de aptitud física TUT bosque nuboso y rendimiento proporcional de agua. Microcuenca. R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

Subclase	No. Subclase	Rendimiento de Agua m3/ha-año	Has	%
2SPA	1	10000	3189,75	47,79
1	2	14000	3418,58	51,22
nr	3	nr	65,56	0,98
Total			6673,89	100,00

la precipitación bruta; sin embargo, esta condición no es real puesto que significaría que no existen pérdidas por evapotranspiración y retención de agua el en suelo. Por esta razón se definió como un límite entre la separación de un rendimiento óptimo cuando el agua de exceso -para escurrimiento superficial y subsuperficial- escurre en un 70% de la precipitación bruta. Para las condiciones supuestas en los balances hídricos elaborados para cada unidad, este límite corresponde a una lámina de 1400 mm, equivalente a 14000 m³/ha-año. La figura 9 presenta el rendimiento de agua en m³/ha-año para cada subclase de aptitud.

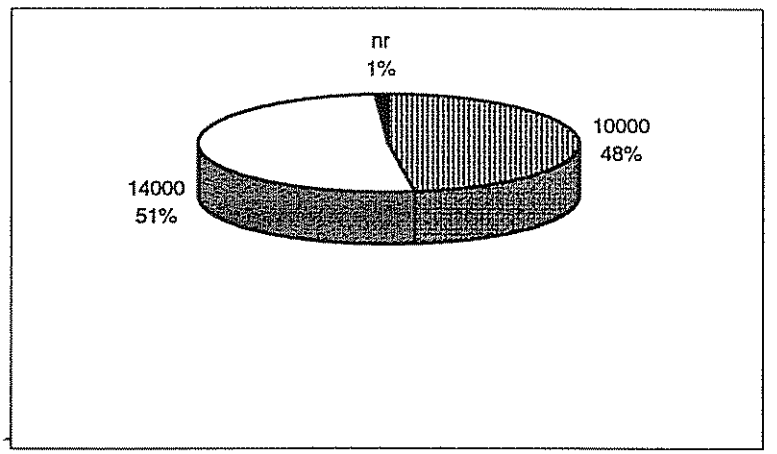


Figura 9. Rendimiento de agua (m^3/ha) del bosque nuboso, Mic. Río Chilascó, B. V., Guatemala, 1996.

En términos de la evaluación económica, en el cuadro 15 se presenta el indicador utilizado, es decir el margen bruto que expresa el diferencial entre egresos e ingresos en un tipo de uso con horizonte de planificación anual. Como ya fuera indicado en el acápite metodológico, la existencia de este TUT supone la existencia de valores de mercado al producto considerado, el agua y la no existencia de insumos puesto que el uso responde a procesos de sucesión ecológica -en unidades donde el bosque no existe en la actualidad- y similar supuesto donde el mismo ya existe; en otras palabras, la naturaleza se encarga de su existencia no siendo necesario insumo alguno. De esta cuenta, no se contabilizan egresos dentro del flujo de caja anual. Así, el margen bruto es mayor en las unidades sumamente aptas, ascendiendo a Q840.0[6] ha-año y Q 600.00 ha-año en las unidades moderadamente aptas.

La base para asignarle un precio al m^3 de agua, lo constituyó un procedimiento de ponderación de tarifas existentes para los usos actuales e inmediatos para el agua producida en la microcuenca. La producción de agua de la microcuenca se estimó ponderando una lámina de escurrimiento a partir de las láminas de cada unidad de tierra. Esto determinó una lámina de 1172 mm (11720 m^3), traducida en un escurrimiento de 77,57 millones de m^3 de agua al año en toda la microcuenca. Este volumen es ligeramente superior al volumen de escurrimiento medido en la estación limnimétrica ubicada aproximadamente en el punto de drenaje definido para la microcuenca en la presente evaluación. Bajo las condiciones del área de estudio, el valor de escurrimiento o agua de exceso en un balance hídrico, debiera superar al volumen medio registrado en alrededor del 10% (Solís 1996; Jiménez 1996)[7]. Con éstas consideraciones, la producción de agua en la microcuenca se estima en 85,3 millones de m^3 de agua al año.

Con base en la producción de agua de la microcuenca se estimaron los volúmenes de agua utilizados para usos actuales, consumo humano y riego -en una cuenca vecina- y un uso próximo, la generación de electricidad y a partir de tarifas definidas por costos administrados, se estima el costo unitario (m^3) del agua. El cuadro 17 resume los distintos usos del agua, el

---

[6] Q6.0 por $1.0.

volumen estimado para cada uso y la tarifa asignada. A partir de tarifas por uso y volumen total utilizado por los mismos se determinó una tarifa ponderada.

La figura 10 muestra la distribución porcentual de los usos y los ingresos generados por el agua de la microcuenca. En la actualidad, el agua para consumo humano es cercano al 2% del volumen utilizado, y el agua para riego y, en un futuro inmediato, asciende a un 98% del total utilizado. Esta situación determina que la tarifa diferencial resultante entre el agua de

Cuadro 17. Usos del agua y valoración con base en precios de mercado disponibles. Microcuenca Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

Uso	Volumen anual estimado (m^3)	Costo estimado (Q/ m^3)	Valor total
Consumo humano	107493	0,13	13974
Riego	6220800	0,02	124416
Hidroelectricidad*	6220800	0,02	124416
Total	6328293		262806
Tarifa ponderada	262806/6328293 =	0,042 (Q/ m^3)	

* Uso a futuro inmediato, al entrar a funcionar un proyecto de generación de energía utilizando las mismas aguas de la Unidad de Riego de San Jerónimo. Por lo tanto constituye el mismo volumen de agua utilizado para riego.
Q/ha: Quetzales/ha 1 US$ ≈ Q 6,0

consumo humano y la de riego y electricidad, no sea suficiente para que la primera tenga una importancia relativa en cuanto a la generación de ingresos. Este total utilizado representa apenas un 8% del potencial de agua escurrido por la microcuenca, significa entonces que el TUT, bosque nuboso como productor de agua tiene la posibilidad de generar mayores ingresos bajo el producto considerado en la presente evaluación.

[7] (Jiménez F. 1996; Solís H. 1996) (CATIE, consulta a expertos).

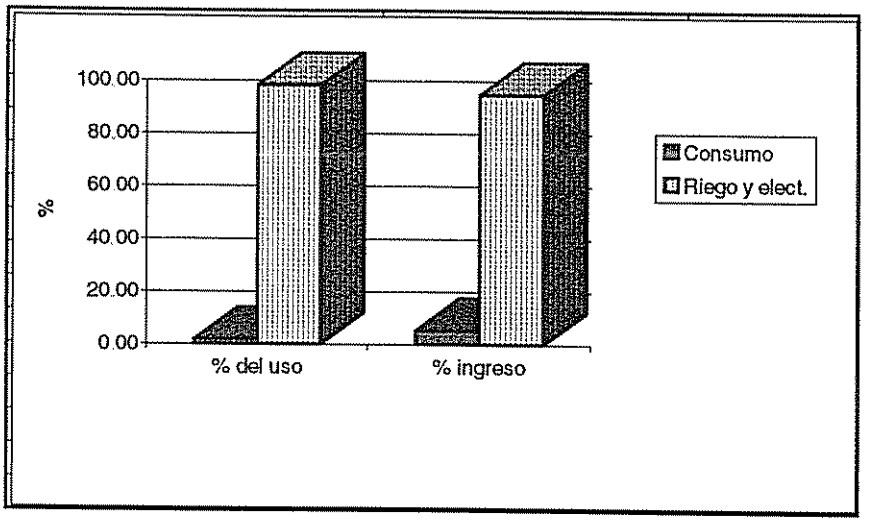


Figura 10. Distribución (%) de usos del agua e ingresos generados en cada uso, Mic. Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

6.3.5 Resultados de evaluación física y económica entre todos los tipos de uso y unidades de tierra.

En el acápite metodológico fue indicado que la aptitud de una unidad de tierra debe ser definida, al menos frente a dos tipos de uso y con base en esta comparación tomar decisiones sobre la planificación del uso. En los siguientes párrafos se hacen algunas consideraciones de la comparación de aptitud física y económica de las unidades de tierra bajo los cuatro TUTs considerados. El cuadro 18 resume las clases de aptitud física y económica de todas las unidades de la microcuenca.

Los resultados de evaluación de aptitud física muestran que excepto para el TUT bosque nuboso como productor de agua, ninguna unidad de tierra presenta una aptitud elevada dentro de las tierras de la microcuenca. En las evaluaciones por separado fueron mencionadas las características principales que definen la aptitud frente a los usos considerados. Recapitulando, las cualidades que más están calificando a las clases de aptitud son: disponibilidad de tierra, facilidad a la comercialización, riesgo de erosión y trabajabilidad

silvícola, es decir características que afectan a los requisitos de manejo y conservación. Muy pocas veces la no aptitud resultó definida por aquellas características que afectan a los requisitos de crecimiento.

Cuadro 18. Clases de aptitud física y económica en todas la UT y TUTs considerados, microcuenca R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

Unidad de mapeo	Tipo de Uso de la Tierra, TUT							
	B. nuboso		Ciprés comunitario		Bosque pino		Plant. Pino	
	AF	AE	AF	AE	AF	AE	AF	AE
B. El Armado	2	s2	2	s1	n/e	n/e	4	n2
L. San Jorge	1	s1	4	n2	n/e	n/e	4	n2
B. San Jorge	2	s2	2	s1	n/e	n/e	4	n2
P. m.Norte	2	s2	2	s1	n/e	n/e	4	n2
P. m.Oeste	2	s2	2	s1	n/e	n/e	4	n2
P. m. no eros.	2	s2	2	s1	n/e	n/e	3	s1
Ladera Norte	1	s1	3	s1	4	s3	3	s1
El Volcán	1	s1	4	n2	n/e	n/e	4	n2
Valle	2	s2	3	s1	n/e	n/e	4	n2
El Zanjón-Rosal	1	s1	4	n2	n/e	n/e	4	n2
La Cumbre	1	s1	4	n2	n/e	n/e	4	n2
Cumbre Miranda	1	s1	4	n2	n/e	n/e	4	n2
C. San Antonio	1	s1	4	n2	n/e	n/e	4	n2
L. El Rosal	2	s2	4	n2	3	s3	4	n2
L. San José	2	s2	3	s1	n/e	n/e	3	n1
L. El Bellota	2	s2	4	n2	n/e	n/e	2	s1
Poblados	n/e	n/e	n/e	n/e	n/e	n/e	n/e	n/e

AF= Aptitud Física: 1: Sumamente Apta; 2: Moderadamente Apta; 3 Marginalmente Apta; 4: No Apta.
AE= Aptitud económica: s1: Sumamente Apta; 2: Moderadamente Apta; 3: Marginalmente Apta; n1 No Apta Temporalmente; N2: No Apta Permanentemente. n/r= No relevante al uso. n/e= no evaluada para este TUT.

En relación a la aptitud económica bajo el indicador margen bruto, en una sola combinación unidad de tierra-tipo de uso, la aptitud económica afecta la clasificación global de la unidad, esto es en la combinación Lomas de San José-Plantaciones de pino bajo incentivos fiscales; aquí la evaluación económica califica a la unidad como no apta. Esto se explica porque esta unidad de tierra tiene un potencial medio para el crecimiento de pino (*P. maximonoi*), determinando un rendimiento esperado no aceptable para permitir una mayor sostenibilidad económica del uso. De esa cuenta, con los insumos que requiere este TUT y los

precios de los productos no es posible obtener un flujo de caja positivo que genere un mayor margen bruto anual. El sistema experto determina que por aptitud económica esta unidad es de la clase n1, esto significa temporalmente apta y, en teoría, puede llegar a ser apta bajo cambios en las especificaciones del uso, o principalmente a través de cambios en el componente económico, por ejemplo un incremento de los precios de los productos forestales.

Para el TUT bosque nuboso como productor de agua, se observa que hay una correspondencia entre clase física y económica, esto como ya fuera explicado con anterioridad es por el hecho de que ese TUT fue evaluado por una sola cualidad, tanto en su aptitud como en su rendimiento proporcional. Esto significa que si la unidad es sumamente apta físicamente, será sumamente apta en lo económico, siempre bajo los límites que se hayan definido a los indicadores económicos.

En el citado cuadro 18, puede observarse que entre todas las combinaciones de pares de UT-TUT, solamente en las unidades Ladera Norte y Lomas El Rosal fue posible evaluar la aptitud para todos los usos. La Ladera Norte, exceptuando el uso bosque de coníferas, presenta aptitud para los restantes usos. Esto resalta la importancia de esta unidad en cuanto a su aptitud a los varios tipos de uso. Superando la principal limitante de la unidad, la accesibilidad, se presenta como sumamente apta para todos los usos, excepto en el de manejo de bosque natural de coníferas, frente al cual presenta una aptitud marginal.

La aptitud económica de todas las unidades se hizo bajo el indicador margen bruto, el cual presenta la diferencia entre ingresos y egresos sobre una base anual. Este criterio, además de los otros que posibilita el enfoque de evaluación de FAO -automatizado por ALES-, orienta la toma de decisiones en cuanto a acciones de planificación del uso de la tierra. El margen bruto de todos los pares de UT-TUT, pueden observarse en la figura 11. Obviamente, esta comparación es solamente sobre las unidades que tienen algún grado de aptitud, es decir unidades de clase a1 a a3. Cuando se presentan unidades calificadas físicamente como n1, son susceptibles de llegar a tener algún grado de aptitud si las condiciones de tierra que definen la no aptitud son modificadas o bien se dan modificaciones a las especificaciones del uso. Esto es

factible siempre y cuando la no aptitud no este directamente definida por los requisitos de crecimiento.

En la figura 11 puede observarse como se manifiesta el indicador margen bruto en las combinaciones UT-TUT, previamente evaluadas con algún grado de aptitud física. Sobresale el tipo de uso conservación del bosque nuboso puesto que todas las unidades generan cuando mínimo Q 600/Ha-año[8]. No obstante bajo las condiciones de cada componente económico, el TUT plantaciones comunitarias de *C. lusitanica*, brinda el mayor margen bruto, aún y cuando todas las unidades presentan un potencial de sitio medio. Al no considerar el costo de la mano de obra, como generalmente sucede en actividades forestales comunitarias, es de esperar que los indicadores para este tipo de uso se incrementen.

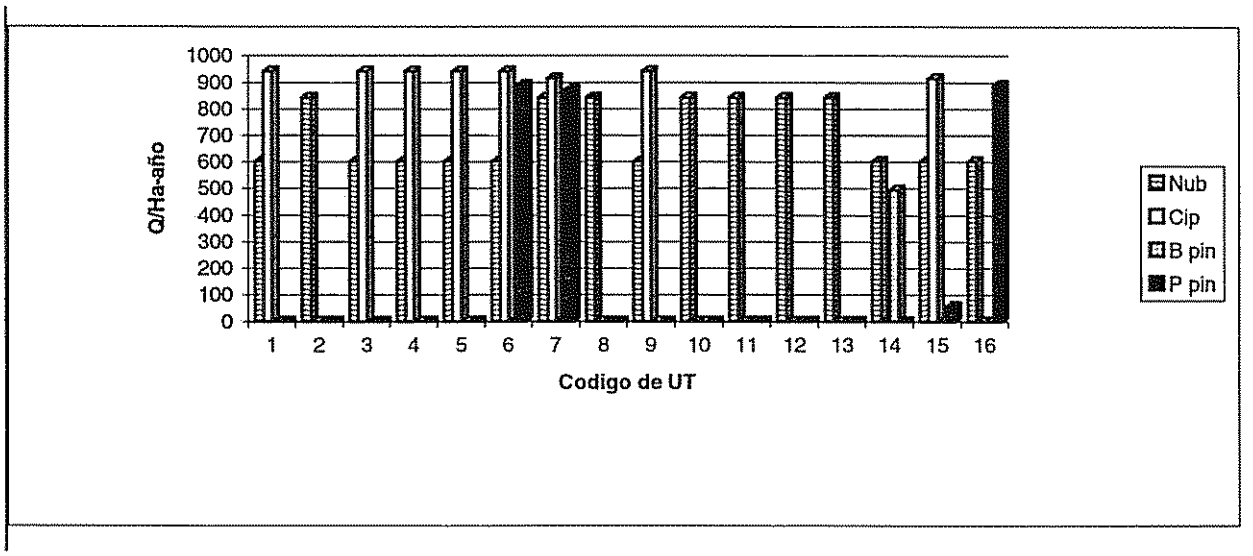
Bajo el modelo de plantaciones de *P. maximinoi*, en aquellas unidades con potencial productivo alto, el margen bruto casi iguala al generado por *C. lusitanica*. Una mejora en los precios de productos forestales de pino o una variación en los costos de producción posiblemente mejore la aptitud económica de las tierras hacia este uso.

Sin duda alguna, una consideración y valoración de otros bienes y servicios del bosque nuboso o bajo un mercado mejor definido del agua, elevaría el rendimiento económico del uso muy por encima de los otros usos. La segunda condición se puede ejemplificar con los resultados obtenidos por León (1994) en Costa Rica donde el bosque húmedo tropical como productor de agua presentó el mayor rendimiento económico en la Cuenca Superior del Río Reventazón, muy por encima de otros agroecosistemas como café, caña de azúcar, papa y pastos.

En el caso del TUT manejo de bosque natural de coníferas (*P. maximinoi*), la unidad L. El Rosal presenta un margen bruto cercano a los Q500/ha-año[9], inferior al que generaría el bosque nuboso como productor de agua -dentro de la misma unidad- e inferior al generado por

[8] Q6.0 por $1.0.

la mayoría de pares UT-TUT. Esto se debe a que bajo este modelo de manejo, únicamente se extrae el incremento anual del bosque. Una mejora en los precios de productos forestales podría mejorar la aptitud económica para este TUT.



Nub: Bosque nuboso; Cip: *C. lusitanica* en plantación comunitaria; B. pin: *P. maximinoi* bosque natural; P. pin: plantación de *P. maximinoi* en incentivos fiscales.

Figura 11. Margen bruto para todas las unidades de tierra y tipos de uso, Mic. Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

La aptitud de las tierras de la microcuenca a los TUTs considerados, puede ser observada en el cuadro 19 donde se presenta la superficie absoluta de cada clase de aptitud frente a cada tipo de uso. La mayoría de tierras de la microcuenca tienen aptitud para la conservación del bosque como productor de agua, seguida de la aptitud para las plantaciones comunitarias de *C. lusitanica*. La aptitud de la microcuenca para el manejo de bosques naturales comunitarios de coníferas esta condicionado a dos requisitos esenciales, la existencia del bosque y el régimen de propiedad. Bajo estas exigencias, la aptitud física y económica para este uso no es relevante; sin embargo, como ya ha sido mencionado, estas unidades representan aproximadamente el 80% de los bosques de la principal comunidad dentro de la microcuenca.

---

[9] Q6.0 por $1.0.

Cuadro 19. Aptitud física absoluta de las UT a usos forestales productivos y de conservación. Microcuenca. R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996

Clase	Superficie (Has)/Tipo de uso			
	B. Nuboso	Plant. Ciprés	Bosque Pino	Plant. Pino
A1	3418.53	0,0	0,0	0,0
A2	3189.8	1063,32	0,0	493,5
A3	0.0	1770,45	60	1431,3
N1	0.0	3774,56	20	4683,53
N2	0.0	0,0	0,0	0.0
n/r	65.56	65,56	6563,9	65,56
n/e	--	--	30,0	--
Total	6673.89	6673,89	6673,9	6673,89

A1: Sumamente Apta; A2: Moderadamente Apta; A3: Marginalmente Apta.
n/r: No relevante al uso n/e: No evaluadas

La figura 12 permite visualizar en mejor forma la aptitud física relativa de la microcuenca, al expresar en una escala relativa la superficie ocupada por cada clase de aptitud a los usos considerados en la presente evaluación. La mayoría de tierras no presentan una aptitud actual para los usos forestales productivos, por el contrario, casi la totalidad de las tierras, son de moderada a sumamente aptas para la conservación del bosque nuboso como productor de agua. Acciones de traslado de beneficios a los posesionarios de las tierras de la microcuenca, sin duda alguna provocaría un cambio de actitud hacia este uso posibilitando que pase de ser meramente hipotético a un uso real traducido en ingresos económicos.

Vale la pena mencionar que en los uso forestales productivos también es factible identificar otros productos o subproductos además de la madera; su naturaleza los asocia al vínculo hidrológico-forestal. Estos son susceptibles de valorarse en cuanto a su susceptibilidad de producción de agua y por sus funciones ecológicas tales como, secuestro de carbono y su capacidad para mantener o recuperar la fertilidad de suelos. Una consideración de estos productos incrementaría la aptitud de las tierras frente a los mismos. Igual consideración puede hacerse para el bosque nuboso donde pueden identificarse otros productos, inclusive la madera dentro de sistemas silviculturales de baja intervención (Stadmüller 1987).

madera dentro de sistemas silviculturales de baja intervención (Stadmüller 1987).

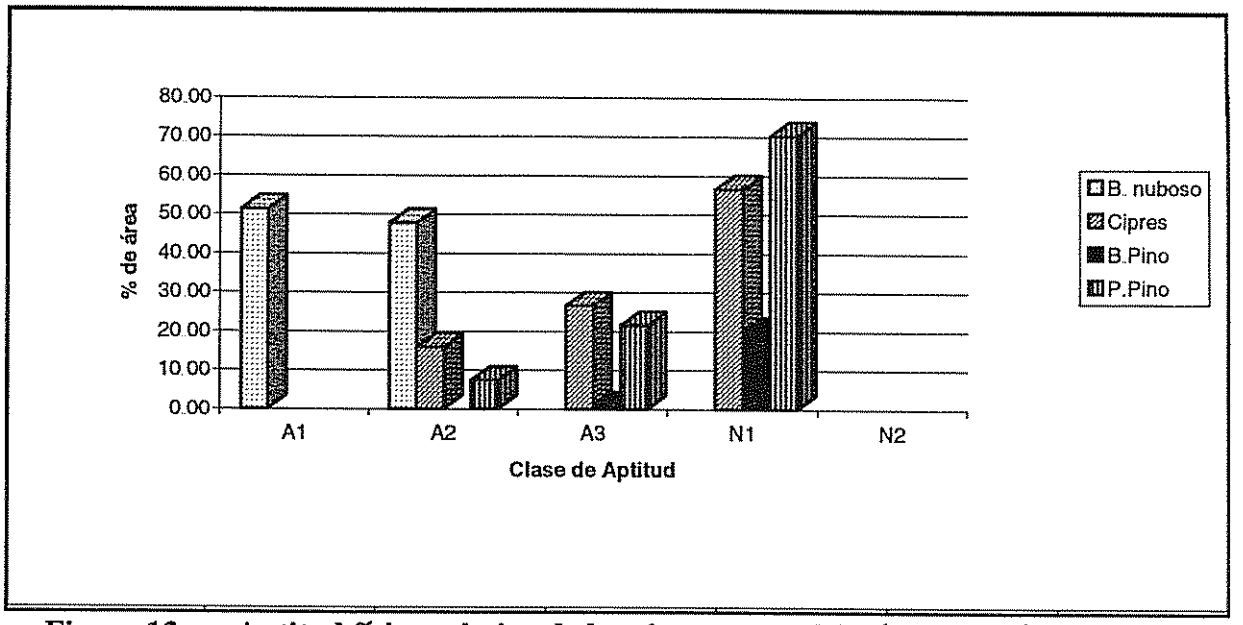


Figura 12. Aptitud física relativa de la microcuenca del Río Chilascó, B.V., para todos los tipos de uso, 1996.

6.4 Validez de los resultados de la evaluación

Los modelos de evaluación creados en ALES son considerados modelos empíricos de la realidad (Rossiter 1990). En la mayoría de ellos, se incorporan juicios de expertos los cuales obedecen a un conocimiento basado en ensayos con un componente estadístico riguroso o bien, en muchos casos, producto de la observación repetitiva de un fenómeno, tal el caso de los rendimientos. En cuanto mayor experiencia exista sobre comportamiento de la tierra frente a los requisitos de determinados tipo de uso, los resultados simulados en ALES llegan a ser más precisos.

Como ya ha sido mencionado, el sistema experto construido tiene limitantes asociadas a las características que definen los rendimientos óptimos y proporcionales y, las condiciones que definen una calidad productiva para los usos forestales considerados, específicamente las plantaciones.

Una forma de determinar la precisión de los modelos de evaluación, y más aún ante fuertes vacíos de información, lo constituyen los procesos de calibración y verificación para llegar a validarlos. La primera constituye un instrumento como regla o patrón y la segunda es la prueba de alguna cosa sobre la que se tiene duda (León 1994). En ALES, los modelos son considerados válidos si reflejan bien el razonamiento del evaluador y explican la manera en la cual el evaluador está haciendo estas deducciones (Rossiter 1990).

En el presente trabajo no fue posible realizar pruebas de calibración con ayuda de procedimientos estadísticos en virtud de que dentro de la microcuenca, las plantaciones existentes de *P. maximinoi* y *C. lusitanica,* están concentradas en dos de las unidades de mapeo y además, la edad de las mismas no permite hacer calibraciones en cuanto a los rendimientos a las fechas en que se suponen los turnos finales (24 y 30 años). La única posibilidad es calibrarlos con resultados obtenidos en otras regiones de condiciones ambientales similares; sin embargo, razones de tiempo y de logística, no permitieron conducir esta etapa.

No obstante haber carecido de información para realizar pruebas de calibración, los modelos construidos son producto de una primera etapa de expertise, y se consideran válidos en tanto el conocimiento sobre el tema también lo sea. Se reconoce que hizo falta una segunda etapa de intercambio con los expertos para llegar a precisar en mejor manera las simulaciones de ALES; sin embargo, persiste la duda de cuan precisos se puede llegar a ser ante fuertes vacíos de información, no solo para la zona estudiada, sino para todo el país, sobre información básica y experimental en aspectos forestales productivos como rendimiento bajo plantaciones, relaciones suelo-sitio, tablas de rendimiento bajo diferentes calidades de sitio y tablas de distribución de productos. Por otro lado, no existe mayor información en cuanto al comportamiento hidrológico del bosque nuboso, ni siquiera la red meteorológica existente se considera suficiente para estimar con mayor propiedad una de las variables más importantes dentro del ciclo hidrológico, la precipitación incidente.

Lo importante de este proceso de calibración y verificación, tal y como señala León (1994), no es solo el refinamiento de las simulaciones con ALES sino que, permite identificar vacíos de conocimiento en determinados temas, lo cual se traduce en una identificación de líneas y prioridades de investigación. Conforme se vayan llenando estos vacíos los modelos creados en ALES pueden 'crecer' o 'mejorar' para llegar a validarse.

6.5 Espacialización de los resultados de la evaluación.

6.5.1 Generación de mapas de aptitud y de características de la tierra.

Una vez corridas las evaluaciones, sus resultados pudieron ser visualizados en una base espacial georeferenciada, utilizando la interfase ALIDRIS que permite intercambiar información entre ALES e IDRISI. El mapa base de la evaluación (MAPABASE.IMG) fue utilizado para este procedimiento. En el anexo 14 se presentan algunos de los mapas generados, especialmente los que corresponden a los resultados de la evaluación de aptitud física en cada TUT y rendimiento de agua del bosque nuboso. Posterior a correr una evaluación es posible espacializar no solo los resultados de la evaluación por aptitud física y económica sino también es posible reclasificar la imagen base con valores de características y de cualidades de la tierra, también pueden espacializarse los rendimientos de los productos de cada tipo de uso.

6.5.2 Generación de mapas de necesidades de restauración hidrológico-forestal.

Utilizando el modelo del TUT bosque nuboso como productor de agua e incorporando al mismo la cualidad 'condición hidrológica', evaluada con las características escurrimiento - agua excedente-, uso actual predominante y pendiente promedio del suelo, fue corrida una evaluación para determinar en una forma indirecta, zonas de 'urgencia relativa' de acciones de

restauración hidrológico-forestal. Tal como fuera definido en el acápite metodológico, estas zonas corresponden a aquellas con una mayor susceptibilidad a la producción de agua, fuertes pendientes (arriba de 40%) y uso actual predominante de cultivos limpios. Esta decisión se fundamenta en el papel del bosque en el ciclo hidrológico (Bruijnzeel 1990; Stadmüller 1987, 1994; Hamilton 1983, 1988). El cuadro 20 presenta la superficie de la cuenca en cada grado de Urgencia Relativa de Restauración. La unidad Barbechos El Zanjón-Rosal es la que presenta la mayor urgencia relativa, esto significa un 3,5% de la microcuenca.

Por otro lado, las zonas donde la 'condición hidrológica' califica como óptima, se consideran áreas de protección especial. Para el presente caso, estas áreas corresponden a la cabecera y divisoria de aguas laterales de la microcuenca, justo donde se identifica la mayor susceptibilidad a la producción de agua. En el anexo 14 puede observarse el mapa de necesidades de restauración hidrológico-forestal.

Cuadro 20. Necesidades de restauración hidrológico-forestal en función de condición hidrológica de las tierras de la microcuenca R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

Calificación de la CH*	Urgencia relativa de Restauración	Has.	%
Mala	Urgencia 1	232,1	3,48
Moderada	Urgencia 2	137,31	2,06
Buena	Urgencia 3	2326,63	34,9
Optima	Urgencia 4 (No necesita)	3912,38	58,6
n/e		65,56	0,98
		6673,89	100,0

* CH: Condición hidrológica (Sheng 1990; Chow *et al* 1994).

n/e: no evaluada (Poblados)

VII. CONCLUSIONES

- El enfoque de FAO para evaluación de tierras y su automatización mediante ALES, conjuntamente con un proceso de expertise, permitió construir un sistema experto con cuatro modelos para evaluar la aptitud física y económica, de la microcuenca del Río Chilascó, Guatemala, para usos forestales productivos con las especies *Pinus maximinoi* y *Cupressus lusitanica* y para un uso hidrológico-forestal, el bosque nuboso como productor de agua;

- La utilización de criterios fisiográficos, edafológicos y de uso de la tierra y, el inventario de características de la tierra, permitió separar y georeferenciar diecisiete unidades homogéneas de mapeo a escala 1:50,000. En una evaluación de mayor detalle es posible separar por lo menos 33 unidades de mapeo, que corresponden a complejos suelo-cobertura.

- La evaluación por aptitud física determinó que el 99% de las tierras presentan aptitud para la conservación del bosque nuboso como productor de agua, el 51% son sumamente aptas para este uso y se ubican en la zona de recarga de la microcuenca. La cualidad que determina esta aptitud es la susceptibilidad a la producción de agua, evaluada a través de la característica escurrimiento -agua excedente-.

- Para los usos forestales productivos, las tierras de la microcuenca presentan una mayor aptitud al tipo de uso, plantaciones comunitarias de *C. lusitanica,* siendo un 42% de las tierras de moderada a marginalmente aptas. Para plantaciones con *P. maximinoi* bajo incentivos fiscales, un 29% de las tierras tienen aptitud moderada a marginal y, para bosques naturales comunitarios de *P. maximinoi*, la aptitud de las tierras es insignificante en términos de superficie (1.4% de las tierras).

- Las características que mayor peso ejercen en la evaluación de aptitud física están relacionadas con requisitos de manejo y conservación de los usos, sobresaliendo, la

disponibilidad de tierra para el manejo, la accesibilidad y las pendientes promedio de las tierras.

- Las características asociadas a la tendencia de productividad forestal, definidas en la etapa de expertise, determinan que para las especies *P. maximinoi* y *C. lusitanica* las tierras de la microcuenca sean en su mayoría sumamente aptas y moderadamente aptas, respectivamente. Sin embargo, no son estas características las que tienen mayor peso en la definición de la aptitud física.

- No siempre existe una correspondencia entre aptitud física y económica, excepto en el bosque nuboso por el hecho de que, la característica que define el rendimiento es la misma utilizada para separar en clases de aptitud física. Existen casos en que una mejor aptitud económica no corresponde con una mejor aptitud física, principalmente cuando el crecimiento y rendimiento es independiente de las características que limitan la aptitud de la unidad, como el tamaño de los rodales o la accesibilidad.

- En términos de margen bruto, las plantaciones comunitarias de *C. lusitanica*, presentan el mejor balance en aquellas unidades con algún grado de aptitud física. El bosque nuboso presenta un balance positivo, cercano al ciprés, en todas las unidades de mapeo.

- La evaluación de la cualidad condición hidrológica, determina que la mayoría de tierras tienen una condición 'optima' y por el contrario, solamente el 6% tienen una condición hidrológica moderada a mala, considerándose estas como de mayor urgencia relativa, la presencia de acciones de restauración hidrológico-forestal.

- El esquema de FAO, asistido por ALES, está supeditado al estado de conocimiento sobre los tipos de uso de la tierra, siendo necesarias dos condiciones: existencia de conocimientos y expertos que los transmitan. En ausencia de estas, el esquema permite identificar y priorizar líneas de investigación.

- Los SIG, como herramienta en la construcción de modelos de evaluación de tierras, permiten no solo la espacialización de resultados y características de las unidades de

tierra, sino también la generación o actualización de nuevas características en forma rápida y precisa; sin embargo, la validez de las mismas esta supeditada a los fundamentos de los criterios utilizados en su generación o captura.

VIII. RECOMENDACIONES

- Previo al uso de los modelos de evaluación construidos, se recomienda realizar una segunda fase de consulta a expertos forestales con la finalidad de corregir algunas limitantes del sistema experto, principalmente las relacionadas con las cualidades que definen el rendimiento -forestal o hidrológico- y el componente económico en cada tipo de uso.
- Promover la realización de estudios en los temas relacionados con la aptitud de tierras con fines forestales, especialmente en índice de sitio, calidad de sitio, tablas de rendimiento y de distribución de productos, y, en temas hidrológico-forestales como intercepción y precipitación horizontal; incorporar sus resultados a los modelos construidos en la presente evaluación.
- Comparar los modelos construidos frente a otros de naturaleza agrícola y agroforestal tales como, hortalizas de exportación y arreglos de cultivos tradicionales con árboles como *Alnus spp.* En la medida de lo posible, simular los cambios en cualidades de la tierra como respuesta a la inclusión del componente arbóreo.
- Incluir a los modelos construidos requisitos asociados a la producción tales como, disponibilidad de mano de obra y de capital y requisitos como la aceptabilidad del uso, los cuales son importantes en acciones de rehabilitación de cuencas hidrográficas con presencia de agricultura de laderas.
- Utilizar las características dinámicas de las unidades de mapeo tales como, características físico-químicas, uso de la tierra y erosión observada, como bases para un programa de monitoreo de la aptitud física de la cuenca, ya sea para los usos considerados en la presente evaluación o para otros alternativos.
- Difundir el uso de herramientas como el ALES y procedimientos de sistemas de información geográfica para acciones de planificación del uso de la tierra con enfoque de manejo sostenible de recursos naturales. Adicionalmente, propiciar la capacitación

de los usuarios de los modelos construidos en el módulo de consulta para apoyar la toma de decisiones.

- Promover y apoyar la sistematización de la información ambiental y socioeconómica relacionada con evaluación de tierras y planificación de su uso, incorporando el conocimiento local sobre usos de la tierra para las regiones donde se planifica.

- En evaluaciones futuras para usos forestales de conservación, se recomienda identificar y precisar otros subproductos tales como, función ecológica del ecosistema calidad de las aguas, secuestro de carbono, ecoturismo generado, otros. Posiblemente, los resultados determinaran una mayor aptitud de las tierras frente a estos usos en comparación a usos de naturaleza agrícola, forestal o agroforestal.

IX. BIBLIOGRAFIA

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)/MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACION, GUATEMALA. 1995. Estudio del plan maestro de manejo forestal en Baja Verapaz, Guatemala. Informe de Progreso. Asociación de Tecnología Forestal del Japón (JAFTA) Pasco Internacional Inc. 137 p.

APESA-GEOINFORMATICA. 1992. Mapas temáticos sobre hoja 2161 I, San Jerónimo. Unidades Básicas, Potencial, Estratificación Forestal, Uso de la Tierra. Guatemala. sp. Color.

ALFARO M, DE LOS A. 1983. Relación entre factores edáficos e índice de sitio para *Cupressus lusitanica* (Mill) en el Valle Central. Tesis Lic. en Ciencias Forestales. Heredia, C.R., UNA, Escuela de Ciencias Ambientales. 111 p.

ALFARO M. DE LOS A. 1989. Requerimientos ecológicos del ciprés *Cupressus lusitanica* Mill. Informe del curso de Silvicultura de Plantaciones. Turrialba, C.R., CATIE. 22 p.

ALFARO MURILLO M. DE LOS A. 1990. Estudio de caso sobre la rentabilidad y uso optimo de recursos en plantaciones forestales en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. p.

ARZE B. J. 1993. Sistema de expertos: una herramienta para tomar decisiones sobre Agrotecnología. Trabajo presentado en Simposio Latinoamericano sobre Investigación y Extensión en Sistemas Agropecuarios, Quito, Ecuador, Marzo 3-5 de 1993. Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. 32 p.

BARBIER E.B.; CONSTANZA R.; TWILLWY R. 1993. Lineamientos para la evaluación de humedales tropicales /Edward B. Barbier, Robert Constanza, Robert Twilley; en colab. con Tania Ammour...[et al]. Turrialba, C.R., CATIE. Proyecto Conservación para el Desarrollo Sostenible en América Central. 63 p. (Serie técnica. Informe técnico/CATIE; no. 231.).

BENNEMA J.; GELENS H.F.; LABAN P. 1981. Principles, basic concepts and procedure in land evaluation, considered from a forestry angle. *In* International workshop of the IUFRO/ISSS (1, 1980, Wageningen, The Netherlands). Land evaluation for forestry; proceedings. Ed. P. Laban; Wageningen, The Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement, ILRI. p 237-252.

BERMUDEZ M. M. 1980. Erosión hídrica en la cuenca piloto La Suiza, Costa Rica.

Turrialba, C. R., CATIE. 20p.

BEARD J.S. 1955. The classification of tropical American vegetation types. Ecology 36:89-100.

BENNEMA J.; GELENS H.F.; LABAN P. 1981. Principles, basic concepts and procedure in land evaluation, considered from a forestry angle. *In* Workshop (1980, Wageningen, The Netherlands). Land evaluation for forestry; proceedings. Laban P. (ed.). Wageningen, The Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement, ILRI. p 181-202.

BLASER J. 1990. Estructura, composición y aspectos silviculturales de un bosque nublado de robles (*Quercus spp.*) del piso montano en Costa Rica. Turrialba, C. R. p.

BOTERO L. 1981. FAO'S experience in land classification for forestry with particular reference to developing countries. *In* Workshop (1980, Wageningen, The Netherlands). Land evaluation for forestry; proceedings. Laban P. (ed.). Wageningen, The Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement, ILRI. p 110-132.

BROWN H.G.; LOEWENSTEIN H. 1978. Predicting site productivity of mixed conifer stands in northern Idaho from soil an topografica variables. Soil Sci. Am. J. 42:967-971.

BRUIJNZEEL, L. A. 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. Amsterdam (Netherlands). UNESCO International Hydrological Programme. 224 p.

BURINGH P.; STEUR G.L.; VINK A.P.A. (1962). Some techniques and methods of soil survey in The Netherlands. *In* Wopereis *et al.* (eds.). Soil physical properties: measurement and use in rice-based cropping systems. Manila, Philippines, International Rice Research Institute. 111 p.

BUDOWSKI G. 1994. Aspectos ecológicos del uso sostenible de la tierra. Documento preparado para Seminario Internacional de Agroecología y Producción Sostenible, BID/EARTH/MAG. San José, C.R. s.n.t. 10 p.

CACERES MORENO G. 1981. Importancia hidrológica de la intercepción horizontal en un bosque muy húmedo premontano en Balalaica, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. sc. Turrialba, C.R. Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 98 p.

CAMAS R. 1995. Desarrollo de un modelo para la evaluación automatizada de tierras con enfasis en la conservación de recursos naturales en la Fraylesca, Chiapas, México. Tesis Mag Sc. Turrialba, C.R., CATIE. p.

CARMEAN W.H. 1975. Forest site quelity evaluation in the United States. Advances in Agronomy 27:209-269.

CARRERO L.; JIMENEZ A., *et. al.* 1994. Evaluación automatizada de tierras en la cuenca alta del río Aragua, Edo. Aragua, Venezuela. *In* Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas (2°, 1994, Mérida, Venezuela). El Manejo de Cuencas Hidrográficas: Base para el Desarrollo Sustentable. FAO-Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Universidad de Los Andes, Corporación de Los Andes y Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (Disquettes del Congreso), Mérida, Venezuela. sp.

CECON/THE NATURE CONSERVANCY/PACA. 1993. Evaluación ecológica rápida de la Reserva de la Biósfera Sierra de Las Minas. Guatemala, Defensores de la Naturaleza. pp. 15-30.

CELADA ROBLES J.E. 1993. Desarrollo de modelos para evaluación de tierras en el Trópico Seco de Jutiapa, Guatemala: aplicación del sistema automatizado -ALES-. Tesis Mag Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 109 p.

--------. 1995. Importancia de la Microcuenca del Río Chilascó. Salamá, B.V., Guatemala, Programa Las Verapaces, SEGEPLAN-GTZ. (Correspondencia personal).

CENTRO DE MANEJO, APROVECHAMIENTO Y PEQUEÑA INDUSTRIA FORESTAL, CEMAPIF, CEMAPIR. 1995. Modelo PROCAFOR. Manual de inventarios para planes de manejo pra bosques de coníferas, mixtos y plantaciones. Siguatepeque, Honduras. 39 p.

CENTRO DE MANEJO, APROVECHAMIENTO Y PEQUEÑA INDUSTRIA FORESTAL, CEMAPIF, CEMAPIR. 1995. Guías, tablas y curvas para la realización de inventarios forestales en: planes de manejo y planes operativos. s.n.t. p. irr.

CLARKE R.T. 1987. The interception process in tropical rain forests: literature review and critique. Acta Amazonica (Bra) 16/7:225-237.

COILE T.S. 1952. Soil and the growth of forests. Advances in Agronomy 4:329-398.

CHANG H. 1982. Forest hydrology. Nacogdoches, Austin State University. 202 p.

CHAVEZ E.; FONSECA W. 1991. Ciprés, *Cupressus lusitanica* Miller, especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, C.R., CATIE. 70 p. (Serie Técnica. Informe técnico/CATIE; No. 168).

CHINCHILLA, O. 1989. Curvas de Indice de sitio para Ciprés (*Cupressus lusitanica*) en la zona de distribución artificial en Costa Rica. Tesis Lic. Ing. en Ciencias Forestales. Heredia, C.R., UNA, Escuela de Ciencias Ambientales. 108 p.

CHOW V.T. 1964. Handbook of applied hidrology. McGraw-Hill, New York. p.

CHOW V.T. MAIDMENT D.R. MAYS L.W. 1994. Trad. Juan G. Saldarriaga. Hidrología aplicada. Santafé de Bogotá, Colombia, McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S. A. 584 P.

DANIEL T.W.; HELSM J.; BAKER F. 1982. Principios de silvicultura. Trad. R. Elizondo. México, D.F., Mc Graw Hill. 492 p.

DE BARROS N.F. 1985. Algunas consideraciones sobre relaciones entre sitio y suelo en los neotrópicos. *In* IUFRO Workshop on Qualitative and Quantitative Assesment of Forest Sites with Special Reference to Soil (First), 1984, Birmensdorf, Switzerland. Abstracts. Swiss Federal Institute of Forestry Research, Birmensdorf, Switzerland. pp 133-142.

DEFENSORES DE LA NATURALEZA. 1992. Reserva de la Biósfera Sierra de las Minas. Plan Maestro. Guatemala, Guatemala. 54 p.

DEFENSORES DE LA NATURALEZA. 1996. Mapa temático sobre avance de la frontera agrícola, Escala 1:50000 (In Press).

DEMENT J.A.; STONE E.L. 1968. Influence of soil and site on red pine plantations in Nueva York. Cornell Unive. Agr. Exp. Sta. Bull. 1020.25 p.

DUPUY J.M.; SANTAMARIA M.; CAVELIER J. 1993. Estructura del bosque nublado de la Serranía de Macuira, Colombia, en Laderas de Barlovento y Sotavento. Biotropica 25(3):340-344.

EASTMAN J. 1992. IDRISI User's guide. Clark University. Massachusetts. USA. 178 p.

ELIAS G. S. 1993. Los bosques comunales en Guatemala. Revista Tikalia XI 1-2:47-56.

ESCOBAR SAGASTUME A. A. 1987. Estudio de crecimiento y rendimiento de *Pinus maximinoii* H.E. Moore en Jalapa, departamento de Jalapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 75 p.

FALLA R.A. 1967. Reforestación en zonas altas de América Central Tropica. Colombia, Corporación Autónoma Regional de los Valles del Magdalena y de Sinu., Departamento de Bosques. Proyecto Forestal UNAP-VMC-FAO. 20 p.

FAO. 1976. Esquema para la evaluación de tierras. Boletín de suelos de la FAO No. 32. FAO, Roma Italia. 66 p.

FAO. 1985. Evaluación de tierras con fines forestales. Estudio FAO: Montes No. 48. FAO, Roma, Italia. 106 p.

FAO. 1994. Directrices sobre la planificación del aprovechamiento de la tierra. Colección FAO: Desarrollo 1, FAO, Roma, Italia. 96 p.

FASSBENDER H.W.; TSCHINKEL H. 1974. Relación entre el crecimiento de plantaciones de *Cupressus lusitanica* y las propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Turrialba (C.R.) 24(2):141-149

FAUSTINO J. 1992. La importancia de la actividad forestal en el manejo de cuencas hidrográficas. *In* Congreso Forestal de Costa Rica (II). Memoria. San José, C.R. 25-27 Nov. 1992. 136 p.

FINEGAN B. 1994. La competencia vegetal. Resúmenes del curso de Bases Ecológicas para la Producción Sostenible. Turrialba, C.R., CATIE. 11 p.

GATES D.M. 1969. The ecology of an elfin forest in Puerto Rico, 4. Transpiration rates and temperatures of leaves in cool humid environment. Journal of the Arnold Arboretum 50:93-98.

GONZALES M.J.H. 1979. Caracterización ecológica de las comunidades de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) en Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 79 p.

GONZALES M. J.H. 1990. *Cupressus lusitanica* especie de propósito múltiple; producción y usos en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 47 p.

GOITIA E.D. 1954. Estudio del incremento volumétrico del *Cupressus lusitanica* en relación a la edad y al sitio. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., IICA. 70 p.

GREGERSEN H.M.; BROOKS K.N.; DIXON J.A.; HAMILTON L.S. 1987. Pautas para la evaluación económica de proyectos de ordenación de cuencas. Roma, Italia, FAO Guía Conservación 16. 148p.

GRIGGS R.H; JONES C.A; SRINIVASAN R. 1994. Sistemas de información geográfica: conección con los modelos de simulación y apliación a las materias relacionadas con la erosión. *In* Erosión de suelos en América Latina (1o., 1993, Paraguay y Brasil). Taller sobre planificación participativa de conservación de suelos y agua. FAO (ed). Santiago de Chile, Chile. FAO. p. 21-32.

GROENENDIJK H. 1983. Tablas de crecimiento de *Cupressus lusitanica* para el valle central de Costa Rica. Heredia, C.R., DGF. 13 P.

GRUBB P.J. 1977. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains, with special reference to mineral nutrition. Annual Review of Ecology and Systematics 8:83-107.

GUATEMALA. 1971. Boletín hidrológico No. 2. Guatemala, Comité Coordinador de Hidrología y Meteorología. 454 p.

GUTIERREZ C. 1988. Potencialidad hídrica y el uso de la tierra en el manejo de cuencas. *In* Curso Planificación del Uso de la Tierra en el Manejo de Cuencas. Turrialba 29/12-11/3 1998. Turrialba, C.R., CATIE. 19 p.

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

HAMILTON L.S. 1988. Minimizing the Adverse Impacts of Harvesting in Humid Tropical Forests. *In* Lugo A.E.; Clark J.R.; Dennis Ch.R. (Eds). Ecological Development in The Humid Tropics guidelines for planners. Morrilton, Arkansas, Winrock International. pp. 191-235.

HAWES R. A. 1981. Method of biophysical land classification and assessment for regional planning or tropical mountain wathersheds. *In* Conference (1, 1979, Honululu, Hawaii) Forest Land Assessment and Management for Sustainable Uses; proceedings. Ed. R. A. Carpenter; Ticooly Internation Publising, Dublin. p 69-83.

HERRERA F.; VELASCO C.; DENEN H.; RADULOVICH R. 1994. Fundamentos de análisis económico guía para investigació y extensión rural. Turrialba, C.R., CATIE. 68p. (Serie Técnica, Informe Técnico/CATIE; no. 232).

HOLDRIDGE L.R. 1953. El ciprés mexicano (*Cupressus lusitanica* Mill.) en Costa Rica. Ministerio de Agricultura. (C.R.). Boletín Técnico No. 12. 31 p.

HOSEGOOD P.H.; HOWLAND P. 1966. A preliminary study of the root distribution of some exotic tree crops evaluated by a rapid sampling method. East African Agricultural and Forestry Journal 32(1):16-18.

HUGHELL D.; CHAVEZ. E. 1990. Modelo preliminar de crecimiento y rendimiento de ciprés (*Cupressus lusitanica* Miller) en América Central. Turrialba, C.R., CATIE, Silvoenergía No. 38.

INSTITUTO NACIONAL DE GUATEMALA. 1972. Hoja cartográfica 2161I, San Jerónimo, escala 1:50,000. Guatemala. sp. Color.

INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. 1993-94. Boletín hidrológico No. 15. Año hidrológico 1983-84. Guatemala, Gua., Ministerio de Comunicaciones Transporte y Obras Públicas. p iir.

--------. s.f. Datos meteorológicos de estación No. 2.6.3P, San Rafael Chilascó. Guatemala, Observatorio Nacional. s.n.t.

JACKSON I.J. 1989. Climate, water and agriculture in the tropics 2de. Es Sex (RU), Longman. 377p.

JIMENEZ O. F. 1987. Evapotranspiración e intercepción. Documento presentado en el curso "Bases Hidrológicaspara el Manejo de Cuencas". Turrialba, C.R., CATIE. 16 p.

--------. 1995. Las radiaciones anturales, balance de energía y evapotranspiración. Documento del Curso Agrometeorología. Turrialba, C.R., CATIE. 48 p.

--------. 1995. Planificación y manejo de los recursos hidrológicos en la agricultura mediante el balance hídrico. Documento del Curso Agrometeorología. Turrialba, C.R., CATIE. 27 p.

LAMPRECHT H. 1954. Estudios silviculturales en los bosques del Valle de la Mucuy cerca de Mérida. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería Forestal, Mérida, Venezuela. 127 p.

_____. 1990. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Trad. de Antonio Carrillo. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. -Rossdorf: TZ-Verl.-Ges. 335 p.

LAUER W. 1968. Problemas de la división fitogeográfica en América Central. *In* Troll C. (Ed.) Colloquium Geographicum. Band 9. Geoecology of the Mountainous of the Tropical Americas. Proceedings of the UNESCO Mexico Symposium 1966. pp. 139-156.

LEON PEREZ C. 1994. Evaluación de tierras en la cuenca superior del río Reventazón, Costa Rica: aplicación de un sistema automatizado -ALES- y un sistema de información geográfica -IDRISI-. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 240 p.

LEOPOLDO P.R.; CONTE M.L. 1985. Repartiçao da agua de chuva en cobertura vegetal com caracteristicas tipicas de cerradao. *In* Simposio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hidricos, y Simposio Internacional de Recursos Hidricos em Regioes Metropolitanas (6, Sao Paulo, 1985) Anais Sao Paulo, Associacao Brasileira de Hidrologia en Recursos Hidricos. p. 212-220.

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.

LITTLE JUNIOR E.J.; SKOLMEN R.G. 1989. Common forest trees of Hawaii (Native and introduced). USDA, Forest Service. (EE.UU.). Agriculture Handbook No. 679. p. 68-70.

LOPEZ PAYES J.G. 1992. Determinación de índice de sitio y estudio de crecimiento de ciprés común (*Cupressus lusitanica* Miller) establecido en plantación, en tres localidades del Departamento de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 87 p.

LUNDGREN B. 1980. Land qualities and growth in the tropics. *In* International workshop of the IUFRO/ISSS (1, 1980, Wageningen, The Netherlands). Land evaluation for forestry; proceedings. Ed. P. Laban; Wageningen, The Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement, ILRI. p 237-252.

MERIDA M.T. 1996. Información sobre el programa de Incentivos Fiscales a la reforestación en Guatema. Guatemala, Guatemala, Dirección General de Bosques y Vida Silvestre, DIGEBOS. (Correspondencia personal).

MEUNIER M. 1996. La cubierta forestal y las crecidas en las pequeñas cuencas de montaña. Revista Unasylva 185(47):29-37.

MITTAK W.L.; PERRY J.P. Jr. 1979. *Pinus maximinoi*: its taxonomic status and distribution. North Carolina, Journal of the Arnold Arboretum v.60:386-395.

MONCADA SANDOVAL E. O. 1991. Desarrollo de un modelo para evaluación automatizada de tierras en Pueblo Nuevo, Estelí, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 156 p.

MONTENEGRO M.E. 1957. Posibilidades de introducir algunas coníferas de México y América Central en Colombia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., IICA. 151P.

NUÑEZ SARAVIA, O.M. 1986. Estudio de crecimiento y rendimiento de *Pinus maximinoi* H.E. Moore. en Cobán, Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 130 p.

NUÑEZ O.M. 1993. Diagnóstico de las comunidades forestales de los distritos Motagua y Chilascó, de la Reserva de la Biósfera Sierra de Las Minas. Informe Final Fase I. Guatemala, (Gua), Fundación Defensores de la Naturaleza. 27 p.

PETERS R. 1977. Tablas de volumen para las especies coníferas de Guatemala. INAFOR. Proyecto PNUD/FAO/GUA/72/006. Documento de trabajo No. 17. 167 p.

PROYECTO MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS, MICUENCA. s.f. Componente de ordenación de cuencas y monitoreo ambiental. Dirección General de Bosques y Vida Silvestre, Departamento de Recursos Naturales Renovables, Sección de Cuencas Hidrográficas, Proyecto Manejo Integrado de Cuencas. s.n.t.

PLAN MAESTRO DE RECURSOS NATURALES (SEGEPLAN). 1975). *In* DEFENSORES DE LA NATURALEZA. 1992. Reserva de la Biósfera Sierra de las Minas. Plan Maestro. Guatemala, Guatemala. 54 p.

PRICE N. W.. 1982. A comparison of water balance conponents in natural and plantation forest in El Salvador, Central America. Turrialba (C.R.) 32(9):399-416.

PRITCHETT W.L. 1986. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Trad. de José Hurtado Vega. México, D.F., Editorial LIMUSA, S.A. 634 p.

PROCAFOR. 1996. Curvas de calidad de sitio *Pinus maximinoii* H.E. Moore. Guatemala, PROCAFOR-DIGEBOS, Programa Investigación Aplicada. s.n.t. s.p.

PROYECTO MICUENCA. 1995. Comunidad Chilasco, Salamá, B.V. Informe final: diagnóstico participativo comunitario (DPC). s.n.t.

QUEZADA J. C.E. 1994. Análisis ambiental de la comunidad de Chilascó, Salamá, B.V. y propuesta de un plan de manejo. Tesis Mag. Sc. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura. p.

RAMAKRISHNA B. s.f. Capítulo IV: Métodos y técnicas de diagnóstico y planificación que facilitan la extensión para el manejo integrado de cuencas. s.n.t.

RITCHERS J. 1995. Manejo del uso de la tierra en América Central: Hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra. San José, C.R. IICA. 440 p. (Documento no. 28).

RODRIGUEZ LEIVA R. 1989. Impactos del uso de la tiera en la alteración del régimen de caudales, la erosión y sedimentación del la cuenca superior del Río Reventazón y los efectos económicos el el proyecto hidroeléctrio de Cachi, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R. CATIE. 138 p.

ROSEN K. 1984. Effect of clear-felling on runoff in two small watershed in central Sweden: Forest Ecology and Management 9:267-281.

ROSSITER D. G; VAN WAMBEKE A.R. 1991. Automated Land Evaluation System. Versión 3 User's Manual. Department of Agronomy, Cornell University, Ithaca, NY. p. irr.

ROSSITER D. G; VAN WAMBEKE A.R.; JIMENES A. 1993. Sistema Automatizado para la Evaluación de Tierras. ALES Versión en Español Manual para Usuarios. Department of Soil, Crop & Atmospheric Sciences, Cornell Univertity, Ithaca, NY. 177 p.

ROTACHER J.S.; BYRNESS C.T.; FREDRIKSEN R.L. 1967. Hidrologic and related characteristics of three small watersheds in the Oregon cascades. Pacific Northwest Forest Experiment Station/Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 34 p.

ROW C. 1987. Using costs and values in forest vegetation management analyses. *In* Walstad J.D.; Kuch P.J. Forest vegetation for conifer production. New York, John Wiley. 523 p.

SAARENMAA H. 1989. Artificial intelligence concepts, techniques, and applications for forestry. *In* Meeting of the IUFRO/Universität für Bodenkultur (1, 1989, Vienna, Austria). Artificial intelligence and growth models for forest management decisions; proceedings. Eds. Burkhart H.E.; Rauscher H.M.; Johann K.; Virginia, U.S.A., School of Forestry and Wildlife Resources Virginia Polytechnic Institute and State University. p 190-201.

SALAS G. DE LAS. 1974. Factores edáficos y climáticos en la clasificación de sitios forestales. Bosques de Colombia (Colombia) no. 1:15-30.

--------. 1987. Suelos y ecosistemas forestales; con énfasis en América Tropical. San José, C.R., IICA. 447 p. (Colección Libros y Materiales Educativos/IICA No. 80).

SALAS S. A. s.f. Manual resumido del uso de ARC/INFO. Turrialba, C.R., CATIE, 48 p.

SCSEUA. 1983. Agrupaciones hidrológicas de los suelos. *In* SHENG T.C. 1992. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: Estudio y planificación de cuencas hidrográficas. Guía FAO CONSERVACION No. 13/6. FAO, Roma, Italia. 185 p.

SECRETARIA GENERAL DE PLANIFICACION ECONOMICA -SEGEPLAN-. PROGRAMA DE DESARROLLO REGIONAL LAS VERAPACES. 1993. Base de datos geográficos, interpretación del uso de suelos y cartografía del Departamento de Baja Verapaz, Guatemala. Guatemala, APESA, Geoinformática. 121 p.

SHENG T.C. 1992. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: Estudio y planificación de cuencas hidrográficas. Guía FAO CONSERVACION No. 13/6. FAO, Roma, Italia. 185 p.

SOIL SURVEY STAFF 1992. Keys to soil taxonomy by soil survey staff. Virginia (EE.UU.), Pocahontas Press Inc. pp. 5-576.

SOLIS H. 1995. Resúmenes del curso Hidrología e Hidráulica. Turrialba, C.R., CATIE. p. irr.

SOPPER W.; LULL H.W. 1967. Forest hidrology. Proceedings of a National Science Foundation Advanced Science Seminar. Oxford 813 p.

STADMÜLLER T. 1987. Los bosques nublados en el trópico húmedo. Una revisión bibliográfica. Universidad de las Naciones Unidadas, Tokio y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica, 85 p.

--------. **1988.** Funciones climáticas e hidrológicas de los bosques con énfasis en los trópicos. Turrialba, C.R. El Chasqui 16:3-10.

_____. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medidas para mitigarlo. Una revisión bibliográfica. Turrialba, C. R.: CATIE. Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales (Serie Técnica. Informe Técnico CATIE; no. 240). 62 p.

STADTMÜLLER T.; AGUDELO N. 1990. Amount and variability of cloud moisture input in a tropical cloud forest. Hydrikigy in Mountainous Regions. I-Hydrological Measurements; the Water Cycle. IAHS Publ. No. 193:25-32.

STANDLEY P.C.; STEYERMARK J.A. 1958. Flora of Guatemala, (EE.UU) Chicago Natural History Museum. Fieldana: Botany v.24, PT.O 1, p. 27-37.

STEAD F.L.S.; STYLES B. 1984. Studies of Central American pines: a revision of the 'pseudostrobus' group (Pinaceae). London, Botanical Journal of the Linnean Society, 89:249-275.

STEIN A; WOPEREIS M.C.S.; BOUMA J. 1994. Soil sampling strategies and geostatistical techniques. *In* Wopereis *et al.* (eds.). Soil physical properties: measurement and use in rice-based cropping systems. Manila, Philippines, International Rice Research Institute. 111 p.

STORIE R.E.; WIESLANDER A.E. 1948. Rating soils for timber sites. Calif. (EE.UU.), Soil Science Society Proceedings vol. 13:499-509.

STYLES B.T.; HUGHES C.E. s.f. Taxonomía y nomenclatura de los pinos y otras gimnospermas. Siguatepeque, Honduras, ESNACIFOR, Publicación Miscelánea No. 7 pp. 1-9.

TANNER E.V.J. 1977. Four montane rain forests of Jamaica: A quantitative characterization of the floristics, the soils and the foliar mineral levels, and a discussion of the interrelation. Journal of Ecology 65:883-918.

TARRANT R.F. 1950. A preplanting forest soil survey. Seattle, Wash., Journal of Forestry pp. 104-105.

TSCHINKEL H. 1972. La clasifiación de sitios y el crecimiento del *Cupressus lusitanica* en Antioquia, Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía (Col.) 27(2):3-30.

TURCIOS CARRASCO W.R. 1995. Producción y valoración económica del componente hídrico y forestal de los robledales de altura bajo intervenciones silviculturales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 81 p.

TURVEY N.D.; SMATHURST P. 1994 . Soil types as classes for managing the nutrients status of planted *Pinus radiata* in Victoria, Australia. Australian Forestry 57(4):148-156.

UGALDE A. L. (ed.). 1995. Resultados de 10 años de investigación silvicultural del Proyecto MADELEÑA EN GUATEMALA (segundo borrador). Guatemala, Guatemala, CATIE-DIGEBOS. pp 166-185. (mimeo).

VASQUEZ C.; RAMIREZ F.; VALVERDE J.M.; MENDEZ D.; NAVARRO C. 1995. Clasificación y selección de sitios para reforestación en la región Chorotega, Guanacaste, Costa Rica. *In* Semana Científica 1995 del CATIE, Memorias. pp 69-75.

VELASQUEZ M. S. 1994. Sistemas de información geográfica. Documento preparado para el Curso de SIG en Guatemala, Junio de 1994. Turrialba, C.R., CATIE, Programa Manejo Integrado de Recursos Naturales Area de Manejo de Cuencas. 164 p.

VOGELMANN H.W. 1973. Fog precipitation in the cloud forests of eastern Mexico. Bioscience 23(2):96-100.

WALTER H. 1973. Die vegetation der Erde. Band I: Die tropischen und subtropischen Zonen.3. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena/Stuttgart. 743 p.

WEABER P.L.; BYER M.D.; BRUCK D.L. 1973. Transpiration rates in the Luqillo Mountains of Puerto Rico. Biotropica: 123-133.

WEBB D.B.; WOOD P.J.; SMITH J.P.; HENMAN G.S. 1984. A guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations. 2de. CFI Tropical Forestry Papers No. 15, Oxford.

WRIGT J.; WIGGINS L.; JAIN R.K.; KIM T.J. 1993. Expert systems in environmental planinng. Berlin, Germany, Springer-Verlag. 311 p.

YOUNG A. 1993. Land evaluation and forestry management. *In* PANCEL L. Tropical forestry handbook. Germany, Springer-Verlag. Vol. 2. P 812-845.

ZADROGA F. 1979. Some preliminary observations concerning the hydrologic importance of a montane cloud forest area in the Tilaran mountains of Costa Rica. Turrialba, C.R., CATIE

ZADROGA F. 1981. The hydrological importance of a montane cloud forest atea or Costa Rica. *In* Lal R. and Russel E.W. (Eds.) Tropical Agricultural Hydrology. John Wiley & Sons Ltd. pp. 59-73.

ZAMBRANA RIVERA H.A. 1975. Comparación y evaluación de la intercepción de lluvias en dos tipos de bosques tropicales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 61 p.

ZECH W. 1994. Metodología práctica para la identificación de sitios para reforestación en la zona norte de Costa Rica, en especial con melina y laurel. San José, C.R., COSEFORMA, Doc. del Proyecto No. 39. 53 p.

X. EXPERTOS CONSULTADOS.

Cuadro 21. Listado de expertos consultados en los diferentes usos de la tierra. Evaluación de tierras, microcuenca. R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

Nombre	Especialidad/experiencia	INSTITUCION/EMPRESA
Carlos Amado	Ingeniero Forestal, Plantaciones	Reforestadora REVESA, Guatemala.
Manuel del Valle	Ing. Agron., Plantaciones I.F.	Reforestadora REFINSA, Guatemala.
Carlos Rosales	In. Agr. Plantaciones I.F.	Reforestadora REFINSA, Guatemala
Luis F. Pereira	Ing. en RRNNRR, Manejo Bosques Nat. Coníferas	PROCAFOR-DIGEBOS, Guatemala
Rolando Escobar	Ing. Forestal, Plantaciones y Bosque Nat. coníferas.	CONFORSA, Guatemala
Manuel Aragón	Ing. en RRNNRR, Ciencias de la Tierra y Planificación Forestal	GEORECURSOS, Guatemala
Josué Morales	Ing. en RRNNRR, Inventario y Planificación Forestal	Consultor Privado Forestal, Guatemala
Oscar Nuñez	Mag Sc. Planificación Forestal y Conservación Natural	Defensores de la Naturaleza, Guatemala
Rolando Zannotti	Ing Agr., Silvicultua de Plantaciones	Programa Las Verapaces, SEGEPLAN-GTZ, Salamá, Baja Verapaz, Guatemala.
Abundio García	Agricultor, Promotor Forestal	San Rafael Chilascó, Salamá, B.V., Guatemala.
Oscar Vaides	Técnico Forestal, Plantaciones	Finca de FORESA, Santa Cruz, San Jerónimo, B.V., Guatemala
William Vázquez	Mag. Sc. Silvicultura de Plantaciones e Investigación Forestal	CATIE, Turrialba, C.R.
Curtis Holder	Mag. Sc., Geografía, Hidrología Forestal	Clark University, Worcester, MA, EE.UU.
Francisco Jiménez O.	PhD. Agrometeorología, Climatología	CATIE, Turrialba, C.R.
Hernán Solís	PhD. Hidrología	CATIE, Turrialba, C.R.
Juan A. Aguirre	PhD. Economía Forestal y Ambiental	CATIE, Turrialba, C.R.

ANEXOS

Anexo 1.

Cuadro 1a. Conceptos básicos para el esquema de evaluación de tierras.

i. *Tierra*: Todos los aspectos del ambiente natural de una parte de la superficie de la tierra, en la medida en que ellos ejerzan una influencia significativa sobre su potencial de uso por el hombre. Incluye la geología, la fisiografía, *los suelos*, el clima, la vegetación.

ii. *Uso de la tierra:* Descripción de las formas de uso de la tierra. A un nivel más específico se habla de *tipo de uso de la tierra*, el cual consiste en una serie de especificaciones técnicas dentro de un contexto físico, económico y social. Ej. un bosque comunal mejorado para producción de leña y madera para uso doméstico operado con métodos manuales.

iii. *Aptitud de la tierra:* Es la adaptabilidad de un tipo dado de tierra a un tipo específico de uso. Se hace por comparación entre los requerimientos de uso y las propiedades de la tierra. No puede existir una "aptitud de la tierra" sin referencia al tipo de uso para el cual es apta.

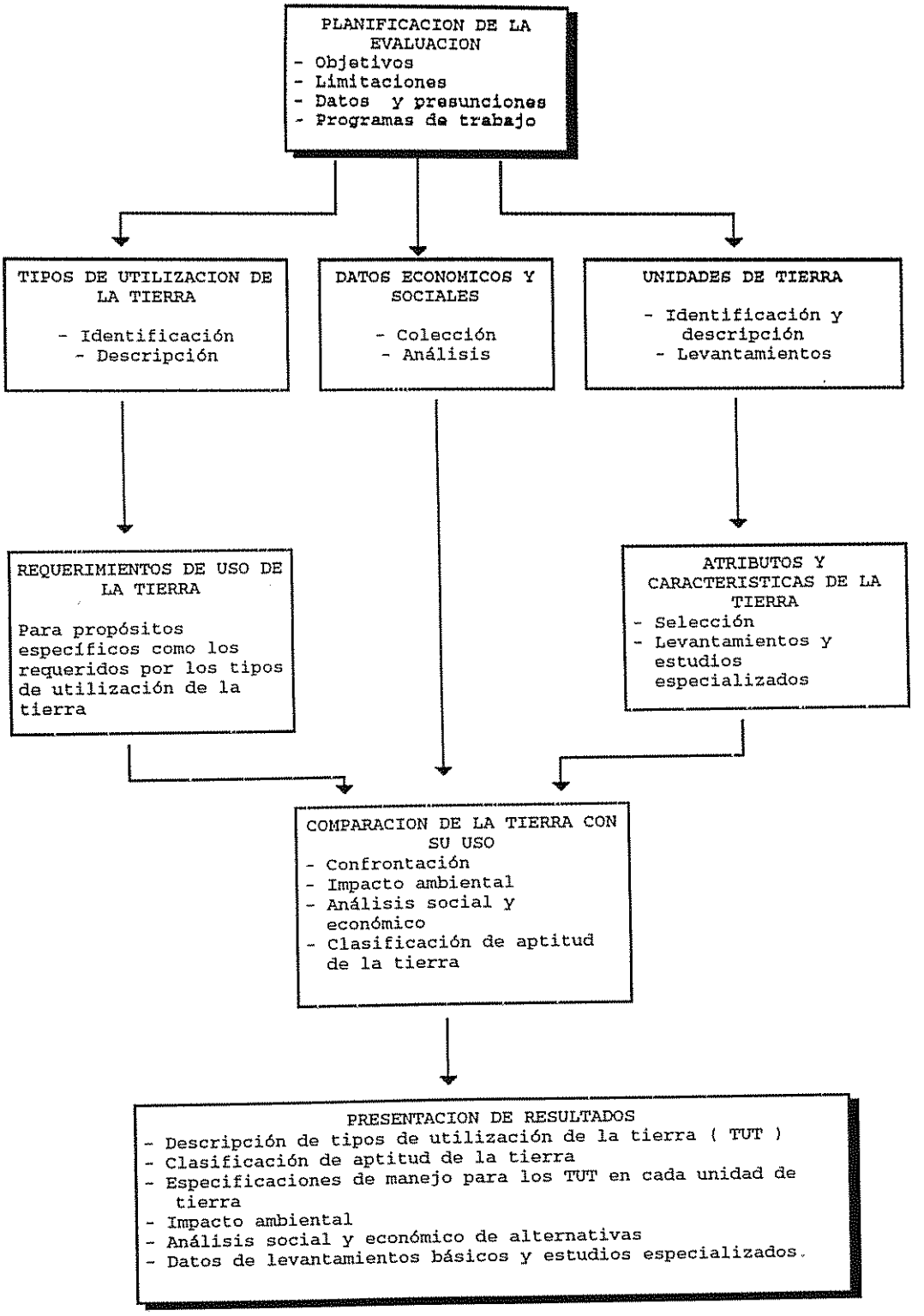
iv. *Características y cualidades de la tierra:* Una *característica de la tierra,* es un atributo de ésta que puede medirse o estimarse, ejemplo textura del suelo, ángulo de inclinación. Una *cualidad de la tierra,* es un atributo complejo de ésta que actúa de manera distintiva en su influencia sobre la adaptabilidad de la tierra para una clase concreta de uso. Ejemplo, la humedad disponible, la resistencia a la erosión, los peligros de inundación, la accesibilidad.

Anexo 2.

Cuadro 2a. Clasificación hidrológica de suelos, según el SCS de los EE.UU (1983).

Clase	Descripción
A.	(Escaso potencial de escorrentía). Suelos que tienen unas tasas elevadas de infiltración, aunque estén completamente empapados y que consisten principalmente en arenas o gravas profundas, de bien drenadas a excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B.	Suelos que tienen unas tasas moderadas de infiltración cuando están completamente mojados y que consisten sobre todo en suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados, a bien drenados con texturas finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua.
C.	Suelos que tienen tasas lentas de infiltración cuando están completamente empapados y que consisten sobre todo en suelos con un lecho que impide el movimiento descendente del agua, o suelos con textura de moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una tasa lenta de transmisión de agua.
D.	(Elevado potencial de escorrentía). Suelos que tienen tasas muy bajas de infiltración cuando están completamente empapados y que consisten sobre todo en suelos arcillosos con una alto potencial de esponjamiento, suelos con una capa freática permanentemente elevada, suelos con una capa de arcilla compacta o un lecho de arcilla en la superficie o cerca de ella, y suelos someros sobre un material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy lenta de transmisión de agua.

Anexo 3. **Procedimiento general de la evaluación de tierras con fines forestales, según el esquema metodológico de la FAO (FAO 1976, 1985, 1994).**



Anexo 4.

Formato para descripción de los tipos de uso de la tierra.

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA - CATIE-

TESIS: EVALUACION AUTOMATIZADA DE TIERRAS CON FINES DE PRODUCCION FORESTAL Y CONSERVACION HIDROLOGICA. ESTUDIO DE CASO MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, BAJA VERAPAZ, GUATEMALA[1].

TIPOS DE USO DE LA TIERRA -TUT-
CONSULTA A EXPERTOS.

DESCRIPCION GENERAL DEL TUT. FORMA3.DOC

1.Nombre del Tipo de uso de la tierra:_____

2. Naturaleza del tipo de uso (tipo de sistema):

Agrícola _____
Pecuario_____
Agroforestal _____
- Agrosilvicola_____
- Silvopastoril_____
- Agrosilvopastoril____

Forestal:
- Producción_____
- Protección/servicios____

Recuperación (Matorral):_____
Otro: _____
_____

3. Arreglo espacial (para TUT de naturaleza forestal/agroforestal) del componente arboreo:

Regular (homogéneo) Puro_____
Mixto (con otros árboles):_____
En hileras_____
Irregular (heterogéneo) Dispersos _____
Otro_____

---

11 Tesis de grado de Ogden Antonio Rodas C., 1996.

4. Arreglo espacial del cultivo agrícola:
   Denso_____
   Mixto_____
   En surcos_____
   En posturas_____
5. Arreglo temporal: Temporal_____
   Permanente_____
6. Función del árbol: Sombra para el cultivo ó pasto_____
   Forraje para ganado_____
   Madera: - Leña_____
   - Postes_____
   - Aserrío_____
   Alimentación (frutales)_____
   Delimitación de linderos y mojones_____
   Conservación de suelos_____
   Producción de agua_____
   Mejoramiento de la fertilidad del suelo_____

   Otra (s)_____

7. Función del cultivo: Alimentación local_____
   Alimentación regional_____
   Exportación (alimento)_____

8. Producto a valorar en el TUT y unidad de medida (grano, fruto, madera, leña, forraje,agua):_____.

9. Mercado/destino de la producción del TUT (local, regional, nacional, internacional):_____.

10. Calificación cualitativa de la intensidad de trabajo requerido: Alta_____
    Media_____
    Baja_____

11. Calificación cualitativa del capital requerido: Alto_____
    Medio_____
    Bajo_____

12. Tecnología:
    12.1 Agroproductiva/agroforestal/silvicultural

_____
_____
_____
_____

12.2 De aprovechamiento:

12.3 Medidas de protección y conservación:

13. Infraestructura requerida para el tipo de uso (caminos, centros de acopio, centros de procesamiento).

14. Sistema organizacional/empresarial y crediticio requerido (individual, empresa familiar, comite comunal, cooperativa, sociedad civil, sociedad anónima, intermediarios, agencia de gobierno, ONG, organización múltiple):

15. Escala de operaciones:
    15.1 Extensión del uso en la unidad de estudio (cuenca)_____has. _____% de área.
    15.2 Extensión promedio en las fincas ocupada con este TUT _____has. % de la finca _____.
    15.3 Extensión mínima recomendable para una producción sostenible del TUT: _____has.
16. Requerimientos y niveles de severidad para el TUT (ver forma forma4.xls)

17. Lista de insumos requeridos por el TUT (ver forma5.doc)

18. Referencias (locales, bibliográficas, personales, correo electronico) aplicables al TUT en la evaluación de tierras en Chilascó.

Anexo 5. Formato de criterios para calificar los requisitos de uso de la tierra.

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA -CATIE-
TESIS: EVALUACION AUTOMATIZADA DE TIERRAS CON FINES DE PRODUCCION FORESTAL Y CONSERVACION HIDROLOGICA. ESTUDIO DE CASO MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, BAJA VERAPAZ, GUATEMALA[2].

TIPOS DE USO DE LA TIERRA -TUT-
CONSULTA A EXPERTOS.

CRITERIOS PARA CALIFICAR LOS REQUISITOS DE LOS TUT.

NIVELES DE CALIFICACION DE LA APTITUD FISICA y ECONOMICA DE UNA UNIDAD DE TIERRA FRENTE A UN TUT PARA CONDICIONES DE CHILASCO (PREMONTANO HUMEDO).

APTA	**NO APTA**
Niveles	
1. Sumamente Apta = Optima	4. No apta temporalmente = Mala
2. Moderadamente Apta = Buena	5. No apta permanentemente = Muy mala
3. Marginalmente Apta = Regular	

---

1. TEMPERATURA ó ALTITUD: Escriba los rangos de temperatura en °C para cada nivel de calificación. En su defecto escriba la altitud en msnm, correspondiente a cada nivel de calificación.

2. PRECIPITACION: Escriba el rango de promedio anual de precipitación en mm, de acuerdo a la demanda del cultivo ó tipo de uso.

3. PROFUNDIDAD EFECTIVA: En cms. requeridos por el cultivo para un buen desarrollo, de acuerdo a las categorias siguientes:
   - Muy profundo: + 150 cm
   - Profundo: 90-50 cm
   - Moderadamente profundo: 60-90 cm
   - Poco profundo: 40-60 cm
   - Superficial: 20-40 cm
   - Muy superficial: < 20 cm

4. TEXTURA DEL SUELO: Escriba en cada casilla la clase textural correspondiente con el nivel de calificación.

5. DRENAJE: Se refiere a drenaje interno del suelo de acuerdo al requerimiento de cada TUT, dentro de las categorías siguientes:

   - Excesivo: La evacuación del agua se hace muy rápidamente.

---

[22] Tesis de grado de Ogden Antonio Rodas C., 1996.

- Moderadamente excesivo. La evacuación del agua se hace con rapidez.
- Bien (Bueno). El agua del suelo se evacúa con facilidad pero no con rapidez.
- Moderadamente bueno. La evacuación del agua es relativamente lenta.
- Imperfecto. La evacuación del agua es suficientemente lenta en relación al aporte.
- Escasamente drenado. La evacuación del agua es muy lenta de tal manera que el suelo permanece mojado la mayor parte del año.

6. PENDIENTE (%). Escribir en cada nivel de calificación el rango en pendiente en %, sin considerar la presencia de prácticas de conservación de suelos.

7. PEDREGOSIDAD (clase). Califique la clase de pedregosidad segun las categorias siguientes basadas en el cubrimiento del suelo (% de área):
   - Sin piedras ó muy escasas, menos que el 1%,
   - Poco pedregoso, 2- 5%,
   - Moderadamente pedregoso, interfiere labores, 5- 20%,
   - Muy pedregoso, interfiere maquinaria, 20- 50%,
   - Excesivamente pedregoso, mas del 50%.

8. EROSION OBSERVADA. Califique la exigencia del TUT con base en la siguiente categoría:
   - Leve: alguna evidencia de daño en la superficie del horizonte. Normal en la mayoría de suelos (erosión laminar -hídrica ó eólica- leve
   - Moderada: Clara evidencia de remoción en el horizonte superficial (erosió laminar-surcos).
   - Fuerte: Horizonte superficial completamente removido (erisión en surcos fuerte).
   - Severa: Horizonte superficial completamente removido y horizonte subsuperficial expuesto. Funciones bióticas originales altamente destruídas (erosión en surcos-cárcavas)
   - Muy severa: remoción sustancial de los horizontes subsuperficiales profundos. Funciones bióticas originales completamente destruídas (presencia de cárcavas).

9. RELIEVE RELATIVO: Diferencia de altitud entre las zonas más altas y más bajas de una unidad de tierra, expresada en metros; calificadas de acuerdo a su grado de afectación sobre el TUT.

10. PROFUNDIDAD DE LA HOJARASCA. Califique la condición hidrológica en función del espesor (en cm) de la capa de hojarasca para cada TUT.

11. TIPO DE USO: Califique la influencia de cada tipo de uso de la tierra sobre la condición hidrológica, basado en las siguientes categorías de uso mayor:
    - Bosque natural (maduro)
    - Plantación (adulta)
    - Matorral
    - Pasto
    - Sistema agroforestal
    - Cultivo limpio (hortalizas, granos básicos).

12. PROFUNDIDAD DEL HUMUS. Califique la profundidad del humus en cm, a partir de la superficie, relativa a cada TUT.

13. PRACTICA DE CONSERVACION: Califique la presencia y tipo de prácticas de conservación de acuerdo a la exigencia de cada TUT.

14. CUBRIMIENTO DEL SUELO. Califique el cubrimiento del suelo por la cobertura vegetal (viva ó muerta), relativa a cada uso, con base en su influencia sobre la condición hidrológica (especialmente en lo que se refiere a la facilidad para el esurrimiento y/o infiltración).

15. DENSIDAD DEL BOSQUE (COBERTURA VEGETAL): Califique la clase de densidad en función de su influencia sobre el escurrimiento superficial. Pueden considerarse las siguientes categorías:
   - Muy denso: 100%
   - Denso: 80-100%
   - Moderadamente denso: 50-80%
   - Ralo: 20-50%
   - Muy ralo: < 20%

16. MATERIA ORGANICA DEL SUELO (%). Indique dentro de cada nivel el rango de m.o. del suelo en %.

17. pH DEL SUELO. Indique para cada nivel los rangos de unidades pH, medido en agua, relativo a cada TUT.

18. FOSFORO DISPONIBLE (ppm ó mg/ml). Indique en cada nivel los rangos de fósforo disponible de acuerdo a las exigencias del TUT.

19. NIVELES DE FERTILIDAD (POTASIO, CALCIO, MAGNESIO en meq/100 gr). Indique para cada nivel los rangos de cada elemento (en meq/100 gr.) con base en las exigencias de cada TUT.

20. TOXICIDAD POR ALUMINIO (ACIDEZ INTERCAMBIABLE). Califique cada nivel en rangos de acidez intercambiable en meq/100gr con base en la susceptibilidad de cada TUT.

21. CAPACIDAD TOTAL DE INTERCAMBIO (meq/100 gr). Califique la CIC en meq/100 gr. relativo a a cada TUT.

22. TOLERANCIA A LA SEQUIA: Indique el rango en días con que califica cada nivel con base en su influencia sobre cada TUT.

23. FRECUENCA DE PLAGAS Y ENFERMEDADES: Califique el nivel de frecuencia de aparición de plagas y enfermedades que afectan económicamente la producción, en función de la tolerancia del TUT a las mismas. Puede utilizar las categorías siguentes:
   - Poca frecuencia
   - Muy poca frecuencia
   - Moderada frecuencia
   - Alta frecuencia
   - Muy alta frecuencia

24. ACCESIBILIDAD DE CAMINOS. Califique con base en las categorías siguientes, el requerimiento de cada TUT.
   - Muy accesible (sin limitaciones en cualquier época del año ó distancias cortas a pueblos y/o centros de acopio)
   - Accesible (reducidas limitaciones, por calidad del camino ó por la densidad pero con distancias mayores a pueblos ó centros de acopio).
   - Poco accesible (por calidad de caminos ó densidad de los mismos. Poco acceso a trasnporte y distancias muy largas).
   - Accesible temporalmente (carreteras de mala calidad, necesita reparaciones, ó en alguna época del año resulta inaccesible.
   - No accesible (no hay caminos, los existentes son de muy mala calidad, con cárcavas ó muy pedregosos).

25. VOLUMEN DE MADERA PRESENTE (m^3/ha). Para el caso específico de usos forestales, califique cada condición según el volúmen de madera en pie (susceptible de utilizarse).

26. INDICE DE SITIO Ó CLASE DE SITIO: Califique la aptitud en función del índice de sitio ó clase de sitio

27. INTERCEPCION DE AGUA DE LLUVIA POR LA COBERTURA VEGETAL. Califique la intercepción de agua de lluvia según el tipo de cobertura vegetal sobre la tierra, dentro de las siguientes categorias cualitativas:
- Excesiva (20-30 % de la precipitación incidente)
- Mucha (10-20 % de la precipitación incidente)
- Moderada (5-10 % de la precipitación incidente)
- Poca (0-5 % de la precipitación incidente)
- Ninguna

28. CENTROS DE ACOPIO/PROCESO (ó PRESENCIA DE INTERMEDIARIOS). Califique la necesidad relativa de centros de acopio ó de procesamento, relativas a cada TUT. En su defecto la necesidad relativa de intermediarios. Se sugieren las siguientes categorías:
- Muy alta presencia: > de 5 ó los que existen absorven toda la producción.
- Alta presencia: 3-5 ó los que existen absorven alrededor del 80% de la producción.
- Moderada presencia: 2-3 ó los que existen absorven entre el 50-80% de la producción.
- Poca presencia: 1 ó los existentes absorven entre el 20-50% de la producción.
- Ninguna presencia: Ninguno o los existentes absorven menos del 20% de la producción.

29. DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA. Califique la necesidad de mano de obra relativa a cada TUT.
- Muy alta (mano de obra en exceso en cualquier época del año).
- Alta (mano de obra satisface la demanda en cualquier epoca del año.
- Moderadamente alta (mano de obra no es suficiente en estados críticos del cultivo).
- Baja (mano de obra no esta disponible en diferentes etapas del cultivo).
- Escasa (mano de obra local es mínima).

30. DISPONIBILIDAD DE CAPITAL. Califique cada nivel de acuerdo a las exigencias de cada TUT.
- Adecuado
- Moderado
- Moderadamente bajo
- Bajo

31. AREA DISPONIBLE PARA EL TUT. Califique para cada nivel el rango de área necesaria en Has.

32. INTENSIDAD EN EL USO DE CONTAMINANTES. Califique cada nivel relativo a cada TUT, según las siguientes categorías. Debe basarse únicamente en aplicaciones de pesticidas cuya naturaleza es susceptible de contaminar el suelo, fuentes de agua ó ponen en riesgo la salud animal y humana.
- Muy frecuente: > de 5/semana, durante el ciclo de cultivo.
- Frecuente: 3-4/semana, durante el ciclo de cultivo.
- Moderada: 2/semana, durante el ciclo del cultivo
- Baja : 1-2/cada 2 semanas, durante el ciclo de cultivo.
- Muy bajo: 1 a cada tres semanas durante el ciclo de cultivo.

33. TIPO DE CONTAMINANTES. Califique cada nivel para cada TUT según la naturaleza del contaminante (insumo para la producción).
- Químico

- Químico-orgánico
- Orgánico
- Biológico
- No usa

34. DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL: Califique la disponibilidad de agua superficial (en época seca), en función del número de fuentes:

35. DENSIDAD DE CAUCES: Califique la densidad de cauces en No./ha y el grado de afectación a la accesibilidad (manejo).

36. REGENERACION NATURAL. Califique la regeneración natural de la especie arbórea representada en el TUT, en rangos de % de regeneración.

37. AGUA RETENIDA POR EL SUELO: Califique cada nivel de retención de agua por el suelo en función de rangos de %. puede utilizar las siguientes categorías:

- Muy alta retención:	% de humedad
- Alta retención:	" "
- Moderada retención:	" "
- Baja retención:	" "
- Muy baja retención	" "

Anexo 6. Determinaciones analíticas realizadas a muestras de suelos de Mic. Río Chilascó, B.V. Evaluación de tierras, 1996 (Lab. Salvador Castillo, FAUSAC de Guatemala).

No.	Identificación		mg/kg	%	cm(+) kg-1						%				%		
LAB	HORIZONTE	pH	P	M.O	C.I.C	Ca	Mg	Na	k	Al+H	S.B	g/cc	33KP	1500kp	ARCILLA	LIMO	ARENA
1	01 A 0-15	3.7	3.09	24.78	37.84	0.50	0.29	0.37	0.18	6.10	3.52	0.66	122.40	89.03	13.15	18.52	68.33
2	01 AB 15-28	4.6	1.84	12.91	26.08	0.25	0.08	0.23	0.08	2.30	2.45	0.59	68.54	54.79	10.00	12.22	77.78
3	01 AB2 28-40	5.0	1.22	10.83	23.32	0.25	0.08	0.23	0.06	0.90	2.66	0.48	58.65	46.85	15.25	14.32	70.43
4	01 Bw +40	5.3	1.84	3.78	12.76	0.25	0.04	0.20	0.04	0.40	4.13	0.63	39.92	31.86	15.28	14.36	70.36
5	02 AP 0-10	4.7	2.47	17.94	29.92	0.25	0.12	0.25	0.23	3.60	2.86	0.59	53.10	41.56	19.45	20.62	59.93
6	02 Bw 10-40	5.1	1.84	6.78	15.40	0.25	0.04	0.22	0.07	1.20	3.73	0.86	38.43	31.33	32.05	16.42	51.53
7	02 BC +40	5.2	1.22	2.79	9.68	0.25	0.04	0.29	0.04	1.10	6.39		34.08	29.56	37.97	14.70	47.33
8	03 AP 0-20	5.5	1.22	18.91	52.80	6.99	1.36	0.25	0.31	0.10	16.86	0.56	103.34	66.77	8.95	27.97	63.08
9	03 2A 20-35	5.8	0.60	16.63	52.36	5.99	0.95	0.35	0.18	0.10	14.25	0.48	86.70	61.46	6.85	29.02	64.13
10	03 Bw 35-50	6.2	1.84	9.13	39.60	3.24	0.41	0.30	0.09	0.00	10.20	0.53	99.22	74.07	3.70	27.97	68.33
11	03 BC +50																
12	04 AP 0-20	5.1	3.71	26.74	56.76	4.49	0.45	0.24	0.72	0.80	10.41	0.57	69.75	50.34	3.70	27.97	68.33
13	05 AP 0-20	5.3	1.84	12.39	23.32	2.25	0.29	0.23	0.32	1.10	13.22	0.79	47.80	36.74	17.35	22.72	59.93
14	05 AB 20-40	5.6	1.22	3.60	14.08	1.25	0.16	0.20	0.21	0.70	12.94	0.76	30.79	25.86	17.35	19.57	63.08
15	05 Bw 40-55											1.10			26.80	17.47	55.73
16	05 BC +55														29.95	12.22	57.83
17	06 O 0-12	3.8	1.84	59.02	81.84	1.00	0.53	0.62	0.49	5.40	3.23		161.72	122.95			
18	06 A 12-20	3.8	1.84	31.31	44.88	0.50	0.16	0.34	0.15	6.30	2.59	0.63	69.15	53.72			
19	06 B/C 20-30											0.83			17.35	26.92	55.73
20	06 2BC +30														24.32	27.30	48.38
21	07 A 0-20											0.43			10.00	23.77	66.23
22	07 AB 20-30											0.30			7.90	20.62	71.48
23	07 Bw 30-50																
24	07 2BC +50																
25	08 A 0-20	5.4	1.22	14.35	36.08	4.74	1.27	0.32	0.58	0.70	19.18	0.71	58.41	42.07	15.25	43.72	41.03
26	08 2A 20-40	5.7	0.60	9.26	32.12	2.99	0.29	0.29	0.16	0.40	11.62	0.61	55.25	42.61	27.85	36.37	35.78
27	08 Bw 40-55	6.0	1.22	6.65	26.40	3.24	0.29	0.24	0.23	0.10	15.15		57.39	39.07	27.85	1.51	70.64
28	08 BC +55														12.10	12.22	75.68
29	09 AP 0-10	5.9	1.22	25.44	49.72	9.48	1.60	0.30	0.35	0.20	23.62		109.93	67.34	7.90	29.02	63.08
30	09 Bw 10-25	5.9	0.60	10.83	32.12	1.25	0.21	0.23	0.14	0.00	5.69		96.30	70.21	13.15	32.17	54.68
31	09 2BC 25-55																

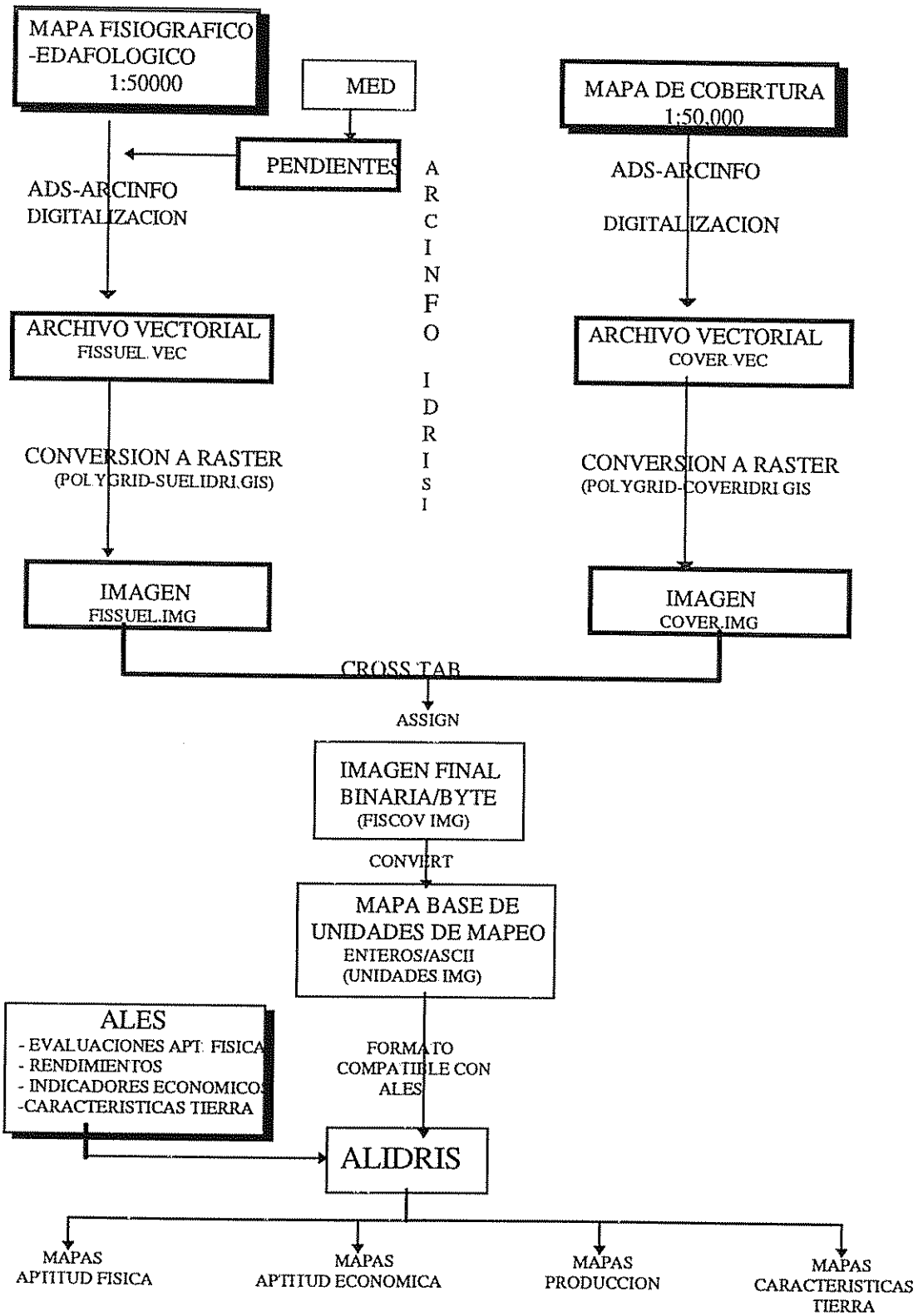
Continua Anexo 6...

No.			mg/kg	%	cm(+) kg-1						%				%		
LAB	HORIZONTE	pH	P	M.O	C.I.C	Ca	Mg	Na	k	Al+H	S.B	g/cc	33KP	1500kp	ARCILLA	LIMO	ARENA
32	10 A 10-22	4.1	15.53	24.78	43.56	0.75	0.16	0.45	0.26	5.60	3.73	0.32	166.67	117.44	6.85	12.22	80.93
33	10 AB 22-40	4.8	7.44	17.94	35.20	0.75	0.12	0.38	0.12	1.70	3.90	0.42	155.91	115.91	15.25	14.32	70.43
34	10 2Bw 40-55	5.5	1.84	5.37	32.56	0.50	0.12	0.33	0.07	0.10	3.15	0.56	140.24	104.41	19.45	10.12	70.43
35	10 2BC +55	5.9	1.22	11.09	26.84	0.25	0.04	0.37	0.05	0.00	2.63		148.69	113.19			
36	11 A 0-10	5.7	0.60	22.83	79.12	12.72	2.34	0.03	0.58	0.10	19.82	0.34	98.44	59.89	12.10	27.97	59.93
37	11 Bw 10-30	6.0	1.84	14.02	41.80	6.49	1.56	0.34	0.12	0.10	20.35	0.37	108.68	69.74	6.85	25.87	67.28
38	11 BC 30-60	6.5	1.22	6.13	28.60	2.25	0.62	0.24	0.07	0.10	11.09	0.35	100.13	70.47			
39	12 AP 0-15	6.0	1.84	10.91	33.47	13.87	2.08	0.29	0.87	0.00	52.31	0.76	47.45	28.64	16.97	35.70	47.33
40	12 2A 15-40	5.9	1.22	6.29	21.56	3.49	0.62	0.22	0.36	0.20	21.76	1.03	38.25	24.86	25.37	27.30	47.33
41	12 Bw 40-65														22.22	32.55	45.23
42	13 O 0-15	4.1	3.71	42.93	58.52	2.25	0.53	0.50	0.43	7.10	6.33	0.09	141.34	109.57	6.47	18.90	74.63
43	13 A 15-30	4.7	3.08	22.18	45.76	0.75	0.21	0.23	0.12	1.50	2.85	0.42	120.69	79.85	13.82	16.80	69.38
44	13 Bw 30-65	5.4	1.22	12.72	38.28	0.75	0.16	0.21	0.06	0.10	3.08	0.33	107.42	81.33	13.82	13.65	72.53
45	14 A 0-5/10	6.1	1.22	17.28	51.04	20.46	4.81	0.29	0.48	0.10	51.02		87.43	42.78	22.22	35.70	42.08
46	14 Bw 5/10-30	5.9	0.60	8.48	40.48	12.23	2.59	0.27	0.19	0.10	37.75		67.57	42.26	23.27	36.75	39.98
47	14 BC 30-60	5.8	0.60	5.12	34.32	4.24	1.36	0.29	0.14	0.00	17.55		83.25	43.00	21.17	36.75	42.08
48	15 A 0-10														14.87	33.60	51.53
49	15 AB 10-35														14.87	37.80	47.33
50	15 Bw 35-65														23.27	31.50	45.23
51	16 A 5/10-20	5.8	1.22	16.96	40.48	22.70	4.40	0.20	0.68	0.10	69.12		49.89	33.62	33.77	32.55	33.68
52	16 AC 20-60	5.9	1.22	27.07	59.80	32.44	8.31	0.23	1.24	0.10	70.60		78.82	49.74	22.22	31.50	46.28
53	CH 22 A 0-20														23.27	29.40	47.33
54	CH B22 AC +20														26.42	31.50	42.08
55	17 AP 0-10	6.6	2.50	17.61	48.30	9.23	1.44	0.33	0.58	0.10	23.99		93.84	44.69	8.57	26.25	65.18
56	17 BC 10-30	6.4	1.83	9.26	43.24	2.25	0.49	0.25	0.13	0.00	7.21		95.28	75.31	16.97	28.35	54.68
58	18 AP 0-12/18	6.1	2.50	16.31	51.52	1.50	1.73	0.32	0.74	0.00	8.32		116.90	79.66	13.82	15.75	70.43
59	18 2A 12/18-35	6.2	0.10	11.41	51.98	9.23	0.90	0.29	0.56	0.50	21.14		102.12	78.20	21.17	14.70	64.13
60	18 Bw 35-55/50	6.5	0.10	7.83	52.90	6.74	0.74	0.25	0.78	0.00	16.08		86.26	63.40	31.25	17.85	50.90

Continua Anexo 6 ...

No.			mg/kg	%	cm(+) kg-1						%				%		
LAB	HORIZONTE	pH	P	M.O	C.I.C	Ca	Mg	Na	k	Al+H	S.B	g/cc	33KP	1500kp	ARCILLA	LIMO	ARENA
61	20 AP 0-15	6.5	0.20	20.22	72.68	19.96	2.34	0.27	0.65	0.00	31.95		85.64	51.07	11.30	36.75	51.95
62	20 AB 15-30	6.4	0.10	12.39	61.64	9.98	1.32	0.70	0.16	0.00	19.72		92.73	59.20	19.70	29.40	50.90
63	20 Bw 30-45	5.5	0.10	9.00	60.72	8.23	0.95	0.28	0.09	0.00	15.73		90.50	58.99	17.60	34.65	47.75
64	21 O 0-10	6.1	5.86	60.66	118.00	17.96	3.21	0.66	1.31	0.90	19.61				18.65	26.25	55.10
65	21 A 10-25	5.6	0.10	17.46	60.72	1.75	0.41	0.26	0.81	0.50	5.32		83.75	69.95	18.65	24.15	57.20
66	21 Bw1 25-45	5.8	2.50	10.04	64.40	1.00	0.66	0.19	0.46	0.00	3.59		103.81	88.68			
67	Bw2 +45	6.6											90.85	90.66	12.35	21.00	66.65
68	CH A11 A 10-18	4.4		33.92									134.41	95.02	19.32	21.38	59.30
69	CH A11 Bw 18-30	4.8		16.14									86.69	70.02	14.45	16.80	68.75
70	CH 18A A 5-10	4.1		31.96									159.65	134.82	21.80	16.80	61.40
71	CH 18A Bw1 10-22	4.9		17.13									121.36	96.51	15.50	24.15	60.35
72	CH 18A Bw2 22-45	5.3		16.14									98.75	87.06	16.55	21.00	62.45
73	CH B22 A 0-25	5.0		16.96									127.18	94.80	20.75	22.05	57.20
74	CH B22 Bw1 25-50	5.2		10.83									117.08	94.11	21.80	26.25	51.95
75	CH B22 Bw2 +50	5.6		8.48									75.77	58.60	28.10	36.75	35.15
76	CH 3A A 0-5	5.4		18.26									71.04	45.85	33.35	38.85	27.80
77	CH A AB 8-25	5.3		11.74									53.97	33.53	20.75	39.90	39.35

Anexo 7. Procesos de SIG para elaborar el mapa base de la evaluación de tierras. Microcuenca del Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.



Anexo 8.

Cuadro 8a. Referencias de estudios sobre precipitación horizontal en bosques nubosos o de condiciones similares.

Autor	País	Vegetación circundante	Condiciones específicas	PP horizontal mm/a	Phorizontal en % de lluvia
Baynton (1969)[1]	Puerto Rico	'bosque enano nuboso'	1050 msnm; clima muy lluvioso	325 390	7.2 8.6
Vogelman (1973)[1]	México, Sierra Madre	'bosque nuboso de roble'	1330 msnm, est. lluviosa (14 semanas)		18.0
			Est. seca (39 semanas)		85.5
			Total	941	31.3
			1361 msnm; Est. lluviosa (13 semanas)		17.5
			Est. seca (40 semanas)		60.5
			Total	512	30.9
			1898 msnm; est. lluviosa (21 semanas)		14.0
			Est. seca (32 semanas)		102.9
			Total	462	22.3
Juvik and Ekern (1978) [1]	Hawaii,	'bosque cerrado'	barlovento, 1580 msnm	770	30.0
	Kulani Camp	'arbustos alpinos' (lava)	barlovento, 2530 msnm	706	68.0
	Honuaula	Praderas	sotabento, 1905 msnm	226	25.9
	Honulalai	'arbustos subalpinos'	2496 msnm	569	158.5
Cáceres (1981)	Costa Rica; Atlántico	Bosque muy húmedo premontano	1300 msnm	aprox. 550	15.3
Cavelier and Goldstein (1989)[2]	Colombia		865 msnm, est. seca		63
Stadmüller y Agudelo (1990)	Honduras	Cyathaceas y epífitas	1720-1870 msnm		24

[1] Citado por Stadmüller (1987).
[2] Citado por Holder (1995).

9a. Balance hidrico por Unidad de Tierra, Microcuenca del Rio Chilasco, B.V., Guatemala, 1996.

Unidad 9

Componente	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	ANUAL
Precipitacion media	165	198	156	121	102	86	60	33	59	121	210	176	1487
Humedad inicial (reserva)	139	139	139	139	139	139	139	139	123	117	139	139	1630
Humedad total disponible	304	337	295	260	241	225	199	172	182	238	349	315	3117
ETo	56	53	46.2	42	39.9	33.6	31.5	44.1	56	56	58.1	60.9	577
Intercepcion	25	30	23	18	15	13	9	5	9	18	32	26	223
Humedad disp remanente	223	255	225	200	186	179	159	123	117	164	259	228	2317
Humedad final en suelo	139	139	139	139	139	139	139	123	117	139	139	139	1630
Escurrimiento	84	116	86	61	47	40	20	0	0	25	120	89	687

Unidad 10

Precipitacion media	165	198	156	121	102	86	60	33	59	121	210	176	1487
Humedad total disponible	341	374	332	297	278	262	236	209	227	297	386	352	3591
ETo	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	448
Intercepcion	17	20	16	12	10	9	6	3	6	12	21	18	149
Humedad disp remanente	287	317	279	248	230	216	193	168	184	248	328	297	2995
Humedad final en suelo	176	176	176	176	176	176	176	168	176	176	176	176	2104
Escurrimiento	111	141	103	72	54	40	17	0	8	72	152	121	891

Unidad 11

Componente	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	ANUAL
Precipitacion media	165	198	156	121	102	86	60	33	59	121	210	176	1487
Humedad inicial (reserva)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	1080
Humedad total disponible	255	288	246	211	192	176	150	123	149	211	300	266	2567
ETo	36	33	29	27	26	21	20	28	35	35	37	38	365
Intercepcion	17	20	16	12	10	9	6	3	6	12	21	18	149
Humedad disp remanente	203	235	201	172	156	146	124	92	108	164	242	210	2053
Humedad final en suelo	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	1080
Escurrimiento	113	145	111	82	66	56	34	2	18	74	152	120	973

Supuestos del Balance Hídrico.

La Etp esta sacada por el metodo de Thorntwhaite, reducida en 0.7 y 0.5 segun la altitud (por referencias de que la ETp en b. nuboso es +/- 308 a 392 mm anuales

La intercepcion esta sacada en base a referencia bibliograficas y a la experiencia de un ano en la zona (mediciones ano 1995-96.

La humedad inicial (reserva) esta sacada con base en la capacidad de almacenamiento del suelo (constantes de humedad). (Humedad volumetrica)

Se inicia en el mes de Julio por ser esta la epoca en la cual el suelo esta completamente a capacidad de campo.

El escurrimiento para este caso considera los flujos superficiales y subsuperficial (que constituye el flujo base que en algun momento del ano sale de la cuenca).

Continua anexo 9...

9b. Calculo de % escurrimiento por cada unidad

Unidad	P.incid.	Phoriz.	Pbruta	Intercep	Ppneta	Esc	%Esc1	%Esc2
B. El Armado	1487	263	1750	223	1527	950	62	54
L. San Jorge	1487	470	1957	149	1808	1361	75	70
B. San Jorge	1487	263	1750	223	1527	950	62	54
P.m. Norte	1487	263	1750	223	1527	950	62	54
P. m. Oeste	1487	263	1750	223	1527	950	62	54
P. m. no eros.	1487	263	1750	223	1527	950	62	54
Ladera Norte	1487	470	1957	149	1808	1361	75	70
El Volcán	1487	470	1957	149	1808	1361	75	70
Valle	1487	263	1750	223	1527	950	62	54
B. Zanjón-Rosal	1487	470	1957	149	1808	1361	75	70
La Cumbre	1487	470	1957	149	1808	1443	80	74
C. Miranda	1487	470	1957	149	1808	1443	80	74
C. San Antonio	1487	470	1957	149	1808	1361	75	70
L. El Rosal	1487	263	1750	223	1527	950	62	54
L. San José	1487	263	1750	223	1527	950	62	54
L. El Bellota	1487	263	1750	223	1527	950	62	54
Poblados	No considerada							

Esc pesado m3/ha	Esc promedio registro medido
11729	11587

Este es el balance mas aproximado a los registros de INSIVUMEH, que en la realidad se supone son mayores porque generalmente los caudales pico no se registran en una estacion limnimetrica (Solís, 1996). (comunic. personal)

La contribucion por precipitacion horizontal es entre 15 y 24% de la lluvia total, segun altitud de la unidad.
Esc1 = Escurrimiento sin considerar pp horizontal
Esc2 = Escurrimiento sumando el aporte de precipitacion horizontal
%Esc1 = Porcentaje de escurrimiento en relacion a la precipitacion neta.
%Esc2 = Porcentaje de escurrimiento en relacion a precipitacion bruta (Este fue el considerado para trabajar en ALES)

Anexo 10

10 a. Tablas de rendimiento preliminar *P. maximinoii*, sitios altos, medios y bajos. Evaluacion de tierras, Mic. R. Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

Manteniendo fija la edad de cada intervencion (5, 12, 17 y 24 anos)
Espaciamiento inicial 2000 arb/ha. Sobrevivencia de 90%.
Se utilizan curvas de indice de sitio generadas p/ Alta y Baja Verapaz en bosques naturales.

Sitio alto: IMA en dap: 1.5 (0-12), 1.3 (12-17) y 1.1 (17-24) cm/ano cc
A la Hdom. se le resta 2 mts para estimar la Hm del rodal.

Vol= 0.000017256733 * D^1.815051260851 * H^1.367481729522 (PROCAFOR 1996)

Edad del raleo	5	12	17	24	
DAP (cm)	7.5	18	24.5	32.2	
h (m)	5	14.5	21	25	
Vol/arbol (m3/cc)	0.0060	0.1269	0.3685	0.7682	(formula)
	0.0060	0.1269	0.3685	0.7682	(valores)

Intensidad de raleo utilizado:
50%, 50% y 40%.

Intervenciones		Arboles remanentes					Arboles extraidos				Todos los arboles		Producto	
Raleo	Edad	N	D	H	G	V	N	G	D	V	Vcum	IMA	V	Tipo
		N/ha	cm	m	m^2/ha	m^3/ha	N/ha	m^2/ha	cm	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	
1	5	900	7.5	5	3.98	5.44	900	3.98	7.5	5.44	10.87	2.17	5.44	Le
2	12	450	18	14.5	11.45	57.11	450	11.45	18	57.11	119.65	9.97	37.12	Tr
													19.99	Le
3	17	270	24.5	21	12.73	34.27	180	8.49	24.5	66.34	163.15	9.60	13.27	Tz
													41.79	Tr
													11.28	Le
CF	24	25 (1)	32.2	25	2.04	19.20	245	19.95	32.2	188.20	336.28	14.01	122.33	Tz
													48.93	Tr
													16.94	Le
								Total		317.08				

(1) Dejados como arboles protagranos para propiciar la regeneracion natural del sitio
NOTAS: Para la estimacion del tipo de producto se utilizo una tabla generada para *P. oocarpa,* la cual es utilizada por PROCAFOR en bosques naturales de coniferas.
El diametro de los arboles remanentes se supone igual al de los extraidos.
CF: Corta final.
Le: Leña; Tr: Trocilla; Tz: Troza

Continua anexo 10a.

Sitio medio: IMA en dap: 1.3 (0-5), 1.1 (6-12) y .9 (12-24 cm/ano cc
A la Hdom. se le resta 2 mts para estimar la Hm del rodal.

Vol= 0.000017256733 * D^1.815051260851 * H^1.367481729522 (PROCAFOR 1996)

Edad del raleo	5	12	17	24
DAP (cm)	6.5	14.2	18.7	25
h (m)	4	12	14	20
Vol/arbol (m3/cc)	0.0034	0.0637	0.1296	0.3576
	0.0034	0.0637	0.1296	0.3576

Intensidad de raleo utilizado:
50%, 50% y 40%.

Intervenciones		Arboles remanentes					Arboles extraidos				Todos los arboles		Producto	
Raleo	Edad	N	D	H	G	V	N	G	D	V	Vcum	IMA	V	Tipo
		N/ha	cm	m	m^2/ha	m^3/ha	N/ha	m^2/ha	cm	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	
1	5	900	6.5	4	2.99	3.09	900	2.99	6.5	3.09	6.18	1.24	3.09	Le
2	12	450	14.2	12	7.13	28.67	450	7.13	14.2	28.67	60.43	5.04	11.47	Tr
													17.20	Le
3	17	270	18.7	14	7.42	35.00	180	4.94	18.7	23.33	90.09	5.30	0.00	Tz
													15.17	Tr
													8.17	Le
CF	24	25 (1)	25	20	1.23	8.94	245	12.03	25	87.62	151.65	6.32	17.52	Tz
													55.20	Tr
													14.90	Le
								Total		142.71				

(1) Dejados como arboles protagranos para propiciar la regeneracion natural del sitio

NOTAS: Para la estimacion del tipo de producto se utilizo una tabla generada para *P. oocarpa,* la cual es utilizada por PROCAFOR en bosques naturales de coniferas.
El diametro de los arboles remanentes se supone igual al de los extraidos.
CF: Corta final.
Le: Leña; Tr: Trocilla; Tz: Troza

Continua anexo 10a.

Sitio pobre: IMA en dap: 0.9 (0-5), 0.7 (5-12), 0.5 (12-24) cm/ano cc.
A la Hdom. se le resta 2 mts para estimar la Hm del rodal.

Vol= 0.000017256733 * D^1.815051260851 * H^1.367481729522 (PROCAFOR 1996)

Edad (anos)	5	12	17	24
DAP (cm)	4.5	9.4	11.9	15.4
h (m)	5	11	13.5	17
Vol/arbol (m3/cc)	0.0024	0.0267	0.0543	0.1188
	0.0024	0.0267	0.0543	0.1188

Intensidad de raleo utilizado:
50%, 50% y 40%.

Intervenciones		Arboles remanentes					Arboles extraidos				Todos los arboles		Producto	
Raleo	Edad	N	D	H	G	V	N	G	D	V	Vcum	IMA	V	Tipo
		N/ha	cm	m	m^2/ha	m^3/ha	N/ha	m^2/ha	cm	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	
1	5	900	4.5	5	1.43	2.15	900	1.43	4.5	2.15	4.30	0.86	2.15	Le
2	12	450	9.4	11	3.12	12.04	450	3.12	9.4	12.04	26.23	2.19	0.00	Tr
													12.04	Le
3	17	270	11.9	13.5	3.00	14.66	180	2.00	11.9	9.77	38.63	2.27	0.00	Tz
													2.35	Tr
													7.43	Le
CF	24	25 (1)	15.4	17	0.47	2.97	245	4.56	15.4	29.12	56.05	2.34	0.00	Tz
													11.65	Tr
													17.47	Le
								Total		53.08				

(1) Dejados como arboles protagranos para propiciar la regeneracion natural del sitio

NOTAS: Para la estimacion del tipo de producto se utilizo una tabla generada para *P. oocarpa,* la cual es utilizada por PROCAFOR en bosques naturales de coniferas.
El diametro de los arboles remanentes se supone igual al de los extraidos.
CF: Corta final.
Le: Leña; Tr: Trocilla; Tz: Troza

Anexo 10b. Datos de crecimiento y rendimiento para *P. maximinoi*, en Guatemala. Evaluación de tierras, Microcuenca del Río Chilascó, 1996.

Localidad	Tipo	Clase sitio	Pend %	Exp Pend	Edad años	hmed m	Dap.cc cm	Densidad arb/ha	Densidad m2/ha	Vcc m3/ha	IMA dapcc	IMA h	IMA Vcc	Fte
Coban	Bs	I			23	24.57	33.2	268*	22.7	201.78	1.8	1.09	9.6	1
FORESA	Pl										1.95	1.17		2
Jalapa	Bs	III			22	18.66	20.21	500	16	154.12	1.2	0.95	7	3
Chicochom, Coban	Pl				13	17	21.8	642	24.1	205.78	1.7	1.3	15.8	4
Saquichaj, Coban	Pl				16	18.5	24.1	518	23.7	177	1.5	1.2	11	5
Saquichaj, Coban	Pl				16	18.5	22.4	468	18.5	137.1	1.4	1.2	8.5	5
Saquichaj, Coban	Pl				16	21.1	22.3	571	22.41	190	1.4	1.3	11.8	5
Salamá	Bs		17			30.9	41.6	180	24.4	303				8
Chilascó, Salamá	Bs		35			22.3	29.5	580	39.6	379				8
San Jeronimo, B.V.	Bs		35			24.9	37.3	350	38.2	376				8
Chuacús, Salamá	Bs		25			28.8	54.6	140	32.7	358				8
Chilasco	Pl	II	30		17	20	21	1333	38	236	1.2	1.17	13.8	6
Chilasco	Pl	I	40		12	18	20	1100	35	190	1.7	1.5	15.8	6
Chilasco	Pl	I	35		17	24	23	800	35	286	1.3	1.4	16.8	6
Chilasco	Pl	I	15	Sur	12	15	31	350	16	90	2.58	1.25	7.50	7
Chilasco	Pl	I	38	Sur	12	18	29	300	16	117	2.42	1.50	9.75	7
Chilasco	Pl	I	40	Sur	12	19	30	300	15	120	2.50	1.58	10.0	7
Chilasco	Pl	I	45	Sur	11	18	24	400	17	140	2.18	1.64	12.7	7
Chilasco	Pl	I	50	SW	11	18	22	600	21	143	2.00	1.64	13.0	7
Chilasco	Pl	II	55	NE	9	10	15	1150	12	44	1.67	1.11	4.89	7
Observaciones en plantaciones mixtas de *P. maximinoi* y *C. lusitanica*, en Chilasco (7)														
		I	34	Norte	10	11	20	550	17	60	2.00	1.10	6.00	
		II	10	Oeste	12	14	19	50	4	41	1.58	1.17	3.42	
		III	5	Norte	11	12	23	350	8	41	2.09	1.09	3.73	
		III	8	Sureste	11	12	24	50	1	5	2.18	1.09	0.45	

*Solo *P. maximinoi; con Quercus* presenta 352 arb/ha y un G de 35.7. El G del *Quercus* es 17.9 m^2/ha

Pl: Plantación; Bs: Bosque natural.

FUENTE: 1. Nuñez 1986; 2. FORESA 1996; 3. Escobar, 1987; 4. Curzos especializados, FAUSAC, 1993
5. Tzirin *et al* 1994.; 6. Plan de manejo plantación comunit;aria, Chilascó, 1996.
7. Mediciones propias; 8. AID-MAGA 1995.

Anexo 10.

10c. Tablas de rendimiento preliminar *Cupressus lusitanica* en sitios altos, medios y pobres. Evaluación de tierras, Microcuenca del Río Chilascó, B.V., Guatemala, 1996.

Sitio alto: IMA en dap: 2.2 (0-8), 1.1 (8-16), 1.0(16-30) cm/ano cc
IMA en h: 1.7 (0-8), 1(8-16), 0.8 (16-24) y 0.5 (24-30).
Los árboles a extraer se suponen con diametros medios 14% menores a los de árboles remanentes (similar a Hughell y Chávez 1990, en sitios medios)

Vol= 0.0134651922 + 0.0000289134 (d^2*h) Fuente: Peters (1977).(Volumen/arbol sin corteza)

	Arboles remanentes:				Arboles extraidos:				
Edad (anos)	8	16	24	30	8	16	24	30	Intensidad de raleo utilizado:
DAP (cm)	17.6	26.4	34.4	40.4	15.136	22.7	29.584	40.4	40%, 60% y 60%
h total (m)	13.6	21.6	28	31	13.6	21.6	28	31	
Vol/arbol (m3/sc)	0.1353	0.4487	0.9715	1.4764	0.1036	0.3354	0.7220	1.4764 (formula)	
	0.1353	0.4487	0.9715	1.4764	0.1036	0.3354	0.7220	1.4764 (valores)	

Intervenciones		Arboles remanentes					Arboles extraidos				Todos los arboles		Producto	
Raleo	Edad	N	D	H	G	V	N	G	D	V	Vcum	IMA	V	Tipo
		N/ha	cm	m	m^2/ha	m^3/ha	N/ha	m^2/ha	cm	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	
1	8	637	17.6	13.6	15.5	86.2	430	10.5	15.1	44.5	130.7	16.3	44.5	Le
2	16	387	26.4	21.6	21.2	173.7	250	13.7	21.6	83.8	302.0	18.9	0.0	Tz
													20.1	Tr
													63.7	Le
3	24	237	34.4	28	22.0	230.2	150	13.9	29.6	108.3	466.9	19.5	54.2	Tz
													41.2	Tr
													13.0	Le
CF	30	237	40.4	31	30.4	349.9					586.6	19.6	272.9	Tz
													56.0	Tr
													21.0	Le

NOTAS: Para la estimacion del tipo de producto se utilizo una tabla generada para *P. oocarpa*, la cual es utilizada por PROCAFOR en bosques naturales de coniferas. No existe una específica para *C. lusitanica*.
CF: Corta final.
Le: Leña; Tr: Trocilla; Tz: Troza

Continua anexo 10c.

Sitio medio: Modelo de Hughell y Chavez. IMA en dap: 2.1 (0-8), 1.0 (8-16), .89(16-24) y 1.0 (24-30) cm/ano cc
IMA en h: 1.1 (0-8), 0.82(8-16), 0.52 (16-24) y 0.33 (24-30).

Vol= 0.0134651922 + 0.0000289134 (d^2*h) Fuente: Peters (1977).(Volumen/arbol sin corteza)

	Arboles remanentes:				Arboles extraidos:				
Edad (anos)	8	16	24	30	8	16	24	30	
DAP (cm)	16.8	24.5	31.6	37.8	14.6	21.1	27.2	37.8	
h total (m)	8.7	15.3	19.5	21.5	8.7	15.3	19.5	21.5	
Vol/arbol (m3/sc)	0.0845	0.2790	0.5765	0.9017	0.0671	0.2104	0.4306	0.9017	(formulas)
	0.0845	0.2790	0.5765	0.9017	0.0671	0.2104	0.4306	0.9017	(valores)

Intensidad de raleo utilizado:
40%, 60% y 60%

Intervenciones		Arboles remanentes					Arboles extraidos				Todos los arboles		Producto	
Raleo	Edad	N	D	H	G	V	N	G	D	V	Vcum	IMA	V	Tipo
		N/ha	cm	m	m^2/ha	m^3/ha	N/ha	m^2/ha	cm	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	
1	8	637	16.8	8.7	14.1	53.9	430	7.2	14.6	28.8	82.7	10.3	28.8	Le
2	16	387	24.5	15.3	18.2	107.5	250	8.8	21.1	52.7	189.1	11.8	0.0	Tz
													38.5	Tr
													14.2	Le
3	24	237	31.6	19.5	18.6	136	150	8.7	27.2	64.6	282.1	11.8	22.6	Tz
													32.9	Tr
													9.0	Le
CF	30	237	37.8	21.5	26.6	215.1					361.2	12	159.2	Tz
													40.9	Tr
													15.1	Le

NOTAS: Para la estimacion del tipo de producto se utilizó una tabla generada para *P. oocarpa*, la cual PROCAFOR aplica en bosques naturales de coniferas. No existe una específica para *C. lusitanica*.
CF: Corta final.
Le: Leña; Tr: Trocilla; Tz: Troza

Continua anexo 10c.

Sitio pobre: IMA en dap: 1.2 (0-8), .9 (8-16), .8(16-24) y .7 (24-30) cm/ano cc
IMA en h: 0.7 (0-8), 0.7(8-16), 0.6 (16-24) y 0.3 (24-30).
Los árboles a extraer se suponen con diametros medios 14% menores a los de árboles remanentes

Vol= 0.0134651922 + 0.0000289134 (d^2*h) Fuente: Peters (1977).(Volumen/arbol sin corteza)

	Arboles remanentes:				Arboles extraidos:				
Edad (anos)	8	16	24	30	8	16	24	30	
DAP (cm)	9.6	17.2	23.6	27.8	8.3	14.8	20.3	27.8	
h total (m)	5.6	11.2	16	17.8	5.6	11.2	16	17.8	
Vol/arbol (m3/cc)	0.0284	0.1093	0.2711	0.4112	0.0245	0.0843	0.2040	0.4112	(formulas)
	0.0284	0.1093	0.2711	0.4112	0.0245	0.0843	0.2040	0.4112	(valores)

Intensidad de raleo utilizado:
40%, 60% y 60%

Intervenciones		Arboles remanentes					Arboles extraidos				Todos los arboles		Producto	
Raleo	Edad	N	D	H	G	V	N	G	D	V	Vcum	IMA	V	Tipo
		N/ha	cm	m	m^2/ha	m^3/ha	N/ha	m^2/ha	cm	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	
1	8	637	9.6	5.6	4.6	18.1	430	3.1	8.3	10.5	28.6	3.6	10.5	Le
2	16	387	17.2	11.2	9.0	42.3	250	5.8	11.2	21.1	73.9	4.6	0.0	Tz
													1.1	Tr
													20.0	Le
3	24	237	23.6	16	10.4	64.3	150	6.6	16	30.6	126.5	5.3	0.0	Tz
													16.2	Tr
													14.4	Le
CF	30	237	27.8	17.8	14.4	97.5					159.7	5.3	34.1	Tz
													49.7	Tr
													13.6	Le

NOTAS: Para la estimación del tipo de producto se utilizó una tabla generada para *P. oocarpa,* la cual PROCAFOR aplica en bosques naturales de coniferas. No existe una específica para *C. lusitanica.*
CF: Corta final.
Le: Leña; Tr: Trocilla; Tz: Troza

Anexo 10.

Cuadro 10d. Observaciones utilizadas como referencia para construir tablas de rendimiento preliminar en *C. lusitanica*, en Guatemala. Eval. de tierras, Mic. Río Chilascó, B.V., 1996.

a) Observaciones de experimentos, sitios y tratamientos de MADELEÑA (Ugalde 1995)

COEX$	COSI$	COTR$	DCM	hmed/ medida (m)	Edad años	hmed/ Hughell (m)	IMA hmed (m)	IMA DCM (cm)	Densidad arb/ha	G medida m^2/ha	G Hughell m^2/ha	dap Hughell (cm)
003L	501	C001	18	21.8	20	18	1.1	0.9	2500	66.48	27.54	11.84
005L	502	C008	21	20.8	20	18	1.0	1.0	2125 *	72.20	27.51	12.80
016T	502	C001	22	20	22	19	0.9	1.0	2500	97.64	27.60	11.86
005L	502	C009	23	18.7	20	18	0.9	1.2	1475 *	61.20	27.51	15.40
001T	527	C002	17	17.4	12	12	1.5	1.4	2500	55.42	25.23	11.34
005L	502	C002	19	16.6	20	18	0.8	1.0	2500	73.90	27.51	11.84
005L	502	C004	19	16.2	20	18	0.8	0.9	2500	68.66	27.51	11.84
002T	107	C001	19	16.1	8	9	2.1	2.4	2500	70.88	19.17	9.88
005L	502	C001	20	16	20	18	0.8	1.0	2500	78.54	27.51	11.84
005L	502	C003	24	15.9	20	18	0.8	1.2	2500	115.94	27.51	11.84
003T	108	C001	18	15.5	10	10	1.6	1.8	2500	64.33	23.03	10.83
005L	502	C006	17	15.1	20	18	0.8	0.8	2500	56.08	27.51	11.84
005L	502	C007	20	15	20	18	0.8	1.0	2125 *	66.80	27.51	12.80
001T	527	C001	17	14.4	12	12	1.2	1.4	2500	53.46	25.23	11.34
004T	528	C001	16	14.1	12	12	1.2	1.4	2500	52.81	25.36	11.36
003T	108	C002	17	14	10	10	1.4	1.7	2500	56.75	23.03	10.83
002T	107	C002	17	13.8	8	9	1.8	2.1	2125 *	46.00	19.17	10.70
005L	502	C005	19	13.2	20	18	0.7	0.9	2025 *	56.80	27.51	13.20
186L	802	C001	11.8	12.7	7	8	1.7	1.6	2500	27.34	17.86	13.20
135L	522	C017	16.2	11.28	8	8	1.5	2.1	2500	51.53	18.96	9.83
186L	802	C001	11.6	10.8	6	7	1.7	1.8	2500	26.42	14.81	8.69
135L	522	C005	19.7	10.7	8	8	1.4	2.5	2500	76.20	18.96	9.83
135L	522	C026	17.6	10.52	8	8	1.4	2.3	2500	61.10	18.96	9.83
135L	522	C022	17.2	10.52	8	8	1.4	2.2	2500	58.22	18.96	9.83
135L	522	C025	18.1	10.46	8	8	1.3	2.3	2500	64.18	18.96	9.83
135L	522	C023	16.4	10.42	8	8	1.3	2.1	2500	52.81	18.96	9.83
135L	522	C024	17.2	10.2	8	8	1.3	2.2	2500	57.82	18.96	9.83
135L	522	C015	18.1	9.98	8	8	1.3	2.3	2500	64.33	18.96	9.83
135L	522	C007	18.7	9.9	8	8	1.3	2.4	2500	68.66	18.96	9.83
135L	522	C008	15.4	9.8	8	8	1.3	2.0	2500	46.81	18.96	9.83
135L	522	C006	17.5	9.8	8	8	1.3	2.3	2500	60.13	18.96	9.83
135L	522	C020	15.8	9.72	8	8	1.3	2.0	2500	49.02	18.96	9.83
135L	522	C011	16.7	9.7	8	8	1.3	2.2	2500	54.76	18.96	9.83
135L	522	C004	14.7	9.6	8	8	1.2	1.9	2500	42.43	18.96	9.83
135L	522	C021	16	9.6	8	8	1.2	2.1	2500	50.14	18.96	9.83
135L	522	C019	17.4	9.56	8	8	1.2	2.2	2500	59.58	18.96	9.83
135L	522	C001	17	9.5	8	8	1.2	2.2	2500	56.75	18.96	9.83
135L	522	C002	16.4	9.3	8	8	1.2	2.1	2500	52.81	18.96	9.83

Continua anexo 10d.

135L	522	C009	14.7	9.2	8	8	1.2	1.9	2500	42.43	18.96	9.83
135L	522	C018	15.8	9.2	8	8	1.2	2.0	2500	48.77	18.96	9.83
135L	522	C012	15.8	9.2	8	8	1.2	2.0	2500	49.02	18.96	9.83
135L	522	C016	13.9	9.14	8	8	1.2	1.8	2500	37.94	18.96	9.83
135L	522	C013	15.2	9.1	8	8	1.2	2.0	2500	45.36	18.96	9.83
135L	522	C010	16.7	8.9	8	8	1.1	2.2	2500	54.76	18.96	9.83
135L	522	C003	13.6	8	8	8	1.0	1.8	2500	36.32	18.96	9.83
135L	522	C014	14.9	7.68	8	8	1.0	1.9	2500	43.71	18.96	9.83

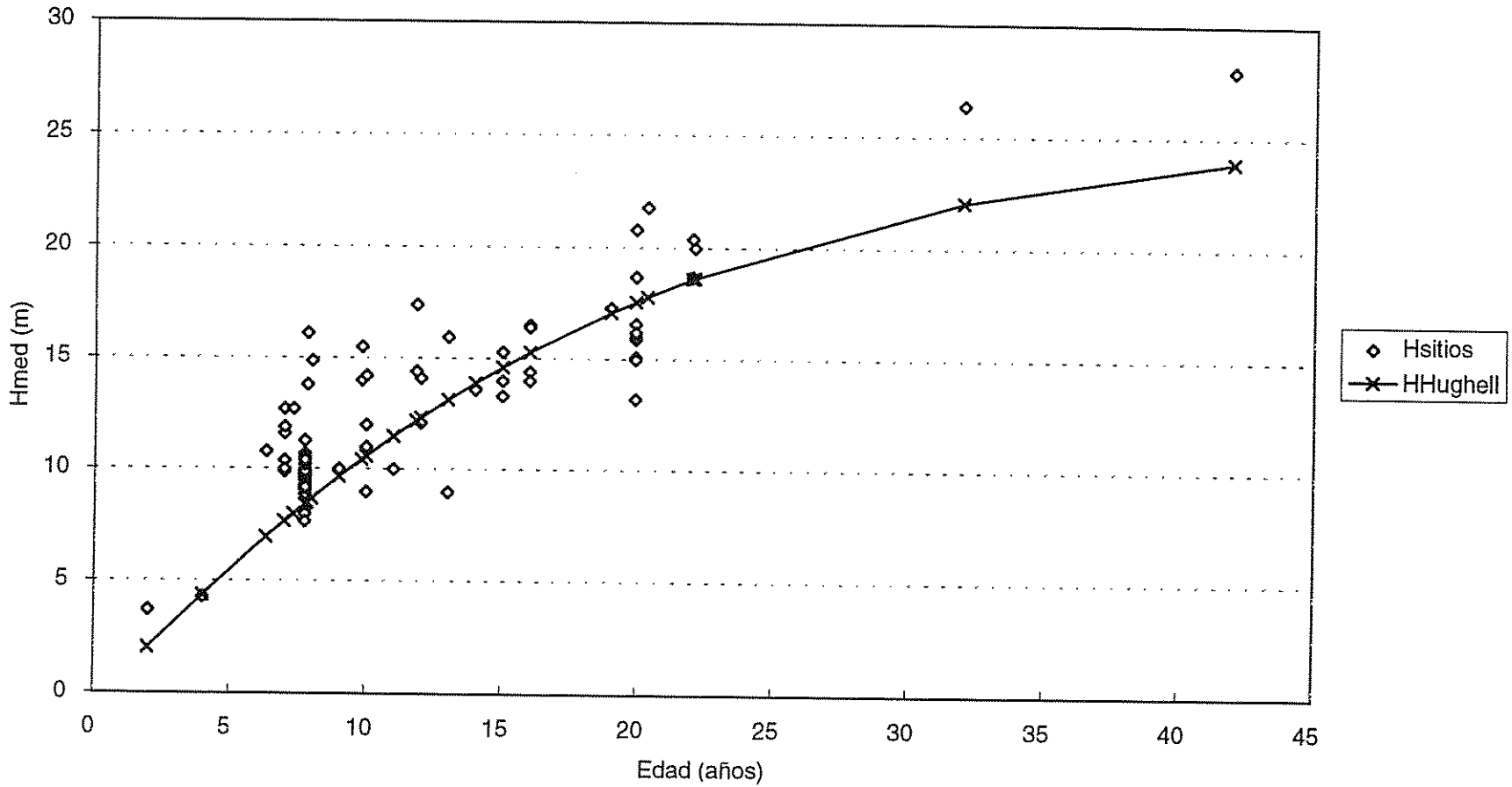
b) Observaciones en otros sitios en Guatemala

Pal	37	26.4	32	22	0.8	1.2	400	43.01	27.68	29.68
Pat	21.5	20.4	22	19	0.9	1.0	?	?	27.60	
SJP	24	18.7	22	19	0.9	1.1	640	28.95	27.60	23.43
ATP	26.7	17.3	19	17	0.9	1.4	800	44.79	27.45	20.90
MAC	16.4	15.94	13	13	1.2	1.3	?	?	26.01	
ATP	18.2	15.3	15	15	1.0	1.2	1084	28.20	26.82	17.75
SM	18.9	14.85	8	9	1.9	2.4		0.00	19.57	
Flo	12.5	14.2	10	11	1.4	1.3	400	4.91	23.27	27.22
SMP	15.7	14	15	15	0.9	1.0		0.00	26.82	
ATP	15.7	13.6	14	14	1.0	1.1	1117	21.62	26.48	17.37
ATP	16.2	13.3	15	15	0.9	1.1	984	20.28	26.82	18.63
?Gu	11.2	12.7	7	8	1.8	1.6	2231	21.98	16.91	9.82
Fra	11.4	12.1	12	12	1.0	1.0	210	2.14	25.36	39.21
?Gu	13.8	11.9	7	8	1.7	2.0	1699	25.41	16.91	11.26
?Gu	8.4	11.6	7	8	1.7	1.2	2029	11.24	16.91	10.30
Chi	18	11	10	11	1.1	1.8	250	6.36	23.27	34.43
?Gu	13.2	10.4	7	8	1.5	1.9	1598	21.87	16.91	11.61
ATP	10.9	10	7	8	1.4	1.6	2516	23.48	16.91	9.25
?Gu	11.2	9.9	7	8	1.4	1.6	1584	15.61	16.91	11.66
Chi	15	9	13	13	0.7	1.2	850	15.02	26.01	19.74
Fra	6.2	4.3	4	4	1.1	1.6		0.00	6.21	
Pas	3.7	3.7	2	2	1.9	1.9		0.00	0.80	
ChC	18		13	13	0.0	1.4	835	21.25	26.01	19.91
Saq	27		16	15	0.0	1.7	230	13.17	27.06	38.71
Saq	21		16	15	0.0	1.3	397	13.75	27.06	29.46
Saq	19.6		16	15	0.0	1.2	792	23.90	27.06	20.86
Saq	21		16	15	0.0	1.3	510	17.66	27.06	25.99

Pat: Patzicia
Pal: Palencia
Fra: Fraijanes
SJP: San Jose Pinula
ATP: Aguas Tibias, Palenca
Chi: Chilasco
SM: San Marcos
Flo: Florencia
Pas: Pastores, Sac.
SMP: San Miguel Petapa
?Gu: Depto Guatemala
ChC: Chicochom, Coban
Saq: Saquichaj, Coban
? No reportada

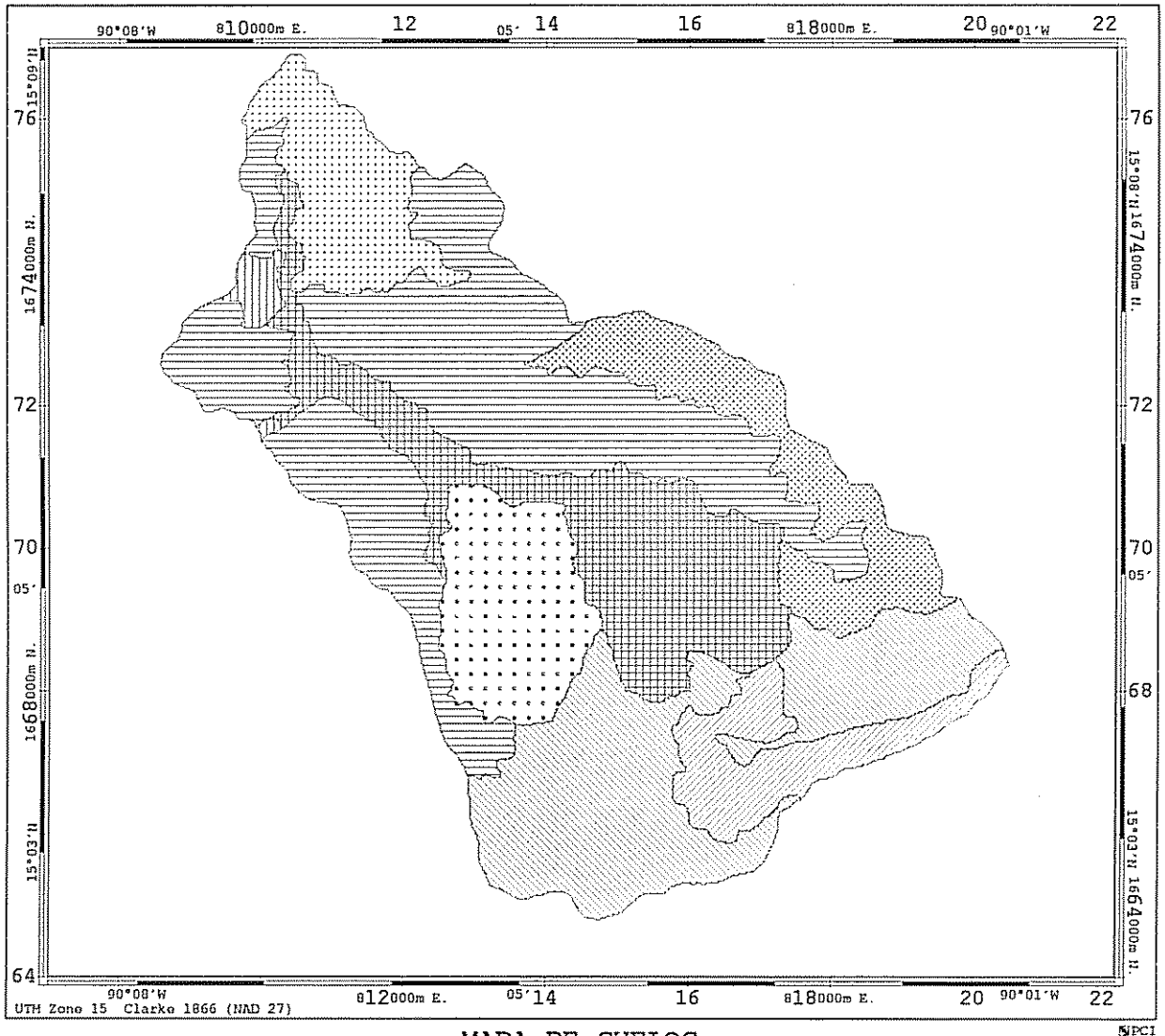
501: NNUU, Amatitlan
108: San Marcos
522: Fraijanes
502: Patzicia
528: San Marcos
527: St. Lucia, M.A., Sac.
802:
107:

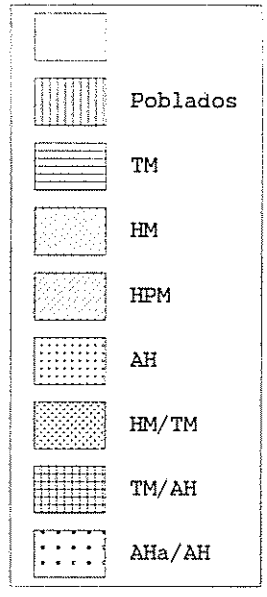
*: Densidad a la edad de la plantacion, corregida solo en estas parcelas de control.



Anexo 10.

Figura 10a. h_{med} observada vrs. h_{med} estimada (ecuación de Hughell y Chávez (1990). Sitios con *C. lusitanica* en Guatemala. Eval. tierras, Mic. Río Chilascó, 1996.





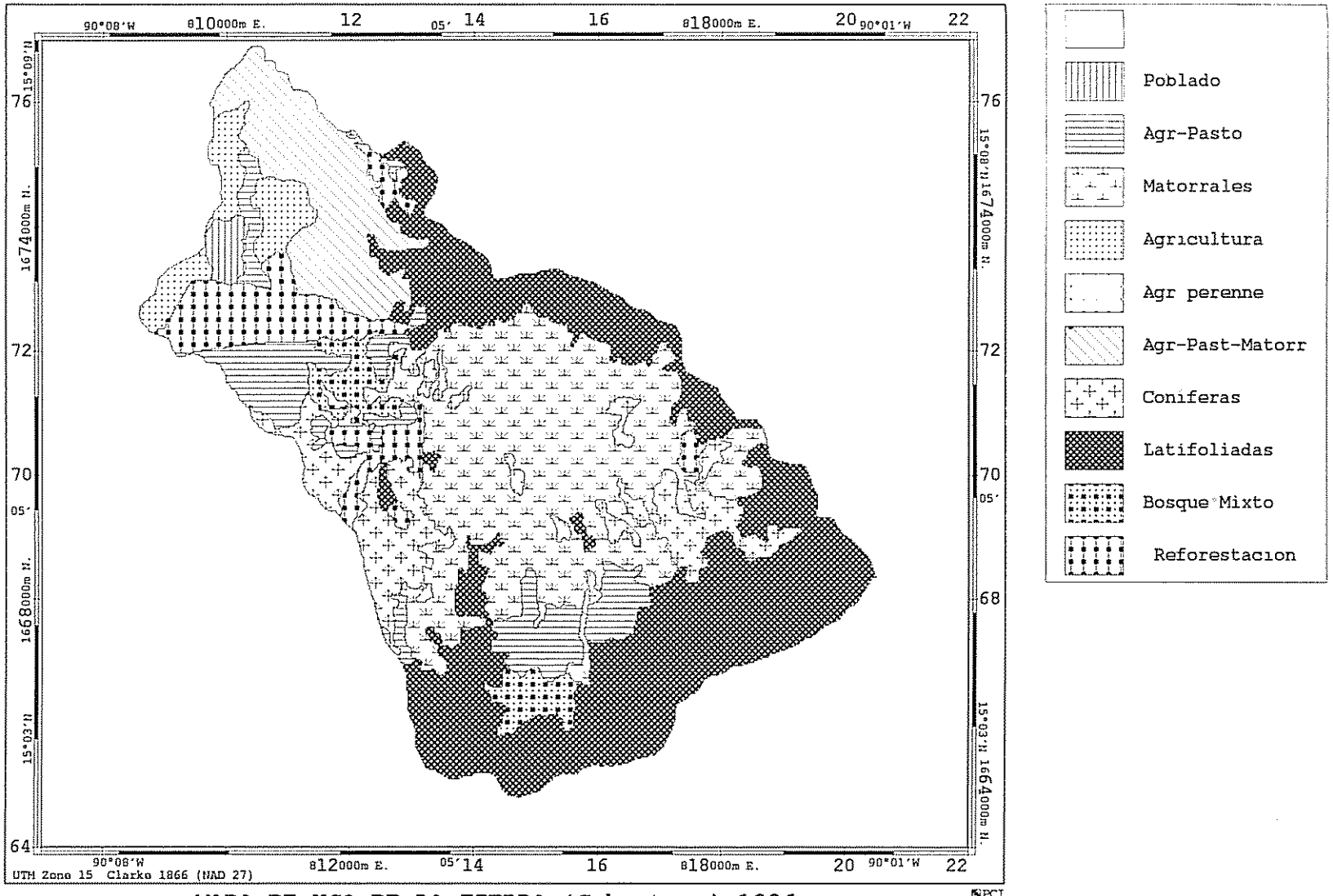
MAPA DE SUELOS

MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, B.V. -GUATEMALA-

1:100 000 Scale

Kilometers 1 0 1 2 3 4 5 6 7

Miles 1 0 1 2 3 4 5



MAPA DE USO DE LA TIERRA (Cobertura) 1996.

MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, B.V. -GUATEMALA-

1:100 000 Scale

Kilometers 1 0 1 2 3 4 5 6 7

Miles 1 0 1 2 3 4 5

Anexo 13.

Caracteristicas de las unidades de tierra, Mic. del R. Chilasco, Guatemala, 1996.

13a. Factores de Conservacion

Codigo Unidad	Erosion Observada	Cubrimiento del Suelo	Textura Superficial	Grupo Hidrol. de Suelo	Uso Act. Predominante	Pendiente Promedio
	clase	%	Clase	Clase de Escorrentia	clse	%
ch1	leve	> 80	FrArenoso	B (Moderada)	Plant for+Matorral	25
ch2	leve	> 80	FrArenoso	B (Moderada)	Bosque	29
ch3	moderada	60-80	FrArenoso	B (Moderada)	Matorral	21
ch4	moderada	40-60	FrArenoso	B (Moderada)	Cult.Anual Export	16
ch5	moderada	40-60	FrArenoso	B (Moderada)	Cult.Anual Export	19
ch6	leve	> 80	FrArenoso	B (Moderada)	Plant. forest	15
ch7	leve	> 80	FrArenoso	B (Moderada)	Matorral	32
ch8	leve	> 80	FrArcArenoso	C (Alta)	Bosque	40
ch9	leve	> 80	Franca	C (Alta)	Cult.Anual+Matorral	12
ch10	moderada	40-60	FrArenoso	B (Moderada)	Cult.Anual+Matorral	32
ch11	leve	> 80	ArenaFranca	B (Moderada)	Bosque	37
ch12	leve	> 80	ArenaFranca	B (Moderada)	Bosque	32
ch13	leve	> 80	FrArenoso	B (Moderada)	Bosque	31
ch14	moderada	> 80	Franca	B (Moderada)	Bosque+Matorral	35
ch15	moderada	> 80	FrArcillosa	C (Alta)	Bosque+Matorral	35
ch16	leve	60-80	Franca	B (Moderada)	Bosque+Matorral	28
ch17	Poblados					

13b. Factores de crecimiento

Codigo Unidad	Drenaje	Textura interna	Prof efec	Altitud pino	Posicion Fisiografica	Grupo de Suelo	Escurrimiento
	clase	clase	cm	msnm	Paisaje	Clase	mm
ch1	Bien Drenado	FrAren	> 90	1900	Ladera Ondulada	Melanudands	950
ch2	Bien Drenado	FrAren	60-80	2100	Ladera Ondulada	Melanudands	1361
ch3	Bien Drenado	FrArcill	> 90	1940	Ladera Ondulada	Humitropepts	950
ch4	Bien Drenado	FrAren	> 90	1920	Pie de Monte	Melanudands	950
ch5	Bien Drenado	FrAren	> 90	1920	Pie de Monte	Melanudands	950
ch6	Bien Drenado	FrAren	> 90	1880	Pie de Monte	Melanudands	950
ch7	Bien Drenado	FrAren	> 90	2100	Ladera Ondulada	Melanudands	1361
ch8	Bien Drenado	FrAren	> 90	2040	Ladera Ondulada	Melanudands	1361
ch9	Moderado	Franca	> 90	1880	Valle Intercolinar	Humitropepts	950
ch10	Bien Drenado	FrArcAren	60-80	2080	Ladera Ondulada	Melanudands	1361
ch11	Bien Drenado	FrAren	> 90	2340	Ladera Ondulada	Melanudands	1443
ch12	Bien Drenado	FrAren	> 90	2100	Ladera Ondulada	Melanudands	1443
ch13	Bien Drenado	FrAren	> 90	1830	Ladera Ondulada	Melanudands	1361
ch14	Bien Drenado	Franca	> 90	1870	Ladera Ondulada	Humitropepts	950
ch15	Bien Drenado	FrArcill	60-80	2000	Ladera Ondulada	Hapludolls	950
ch16	Bien Drenado	Franca	> 90	1840	Ladera Ondulada	Melanudands	950
ch17	Poblados						

NOTAS: La precipitacion anual media es la misma para todas las unidades:
1565 mm (Promedio de 20 anos. (APESA Geoinformatica 1993)

13c. Factores de Manejo-Comercio

Codigo Unidad	Accesibilidad	Area Comunal Dispobile	Zona de Reserva Biosfera	Grupo Textural (Bosque)	Area con Bosque Comunal	Area Privada Disp.
	clase	Has	Zona	clase	Has	Has
ch1	Muy Accesible	278	Uso Sostenido	FrAren	0	0
ch2	Poco Accesible	< 5	Uso Sostenido	FrAren	10-25	345
ch3	Muy Accesible	490	Amortiguamiento	FrAren	0	0
ch4	Muy Accesible	76	Amortiguamiento	FrAren	0	0
ch5	Muy Accesible	61	Amortiguamiento	FrAren	0	0
ch6	Muy Accesible	30	Amortiguamiento	FrAren	0	126
ch7	Acc. temporalmente	247	Uso Sostenido	FrAren	25-35	447
ch8	Acc. temporalmente	0	Uso Sostenido	FraArcillosa	0	626
ch9	Accesible	252	Uso Sostenido	Franco	10-25	244
ch10	Acc. temporalmente	0	Uso Sostenido	FrAren	10-25	232
ch11	No Accesible	0	Recarga Hidrica	ArenaFr	0	424
ch12	No Accesible	0	Nucleo	ArenaFr	0	413
ch13	No Accesible	0	Recarga Hidrica	FrAren	10-25	684
ch14	Poco Accesible	348	Uso Sostenido	Franca	60	208
ch15	Poco Accesible	318	Uso Sostenido	FraArcillosa	10-25	263
ch16	Accesible	0	Amortiguamiento	Franca	< 10	494
ch17						

Notas:

Las superficies de areas comunitarias y privadas son aproximaciones determinadas sobre la Informacion Catastral Preliminar (Defensores de la Nat. 1996)

Las zonas denominadas de 'Recarga Hidrica' con respecto a la Reserva estan en Zona de Uso Sostenido; sin embargo, son importantes para Recarga Hidrica. En el modelo de evaluacion esta categoria se asigna a un nivel de severidad similar a la zona Nucleo

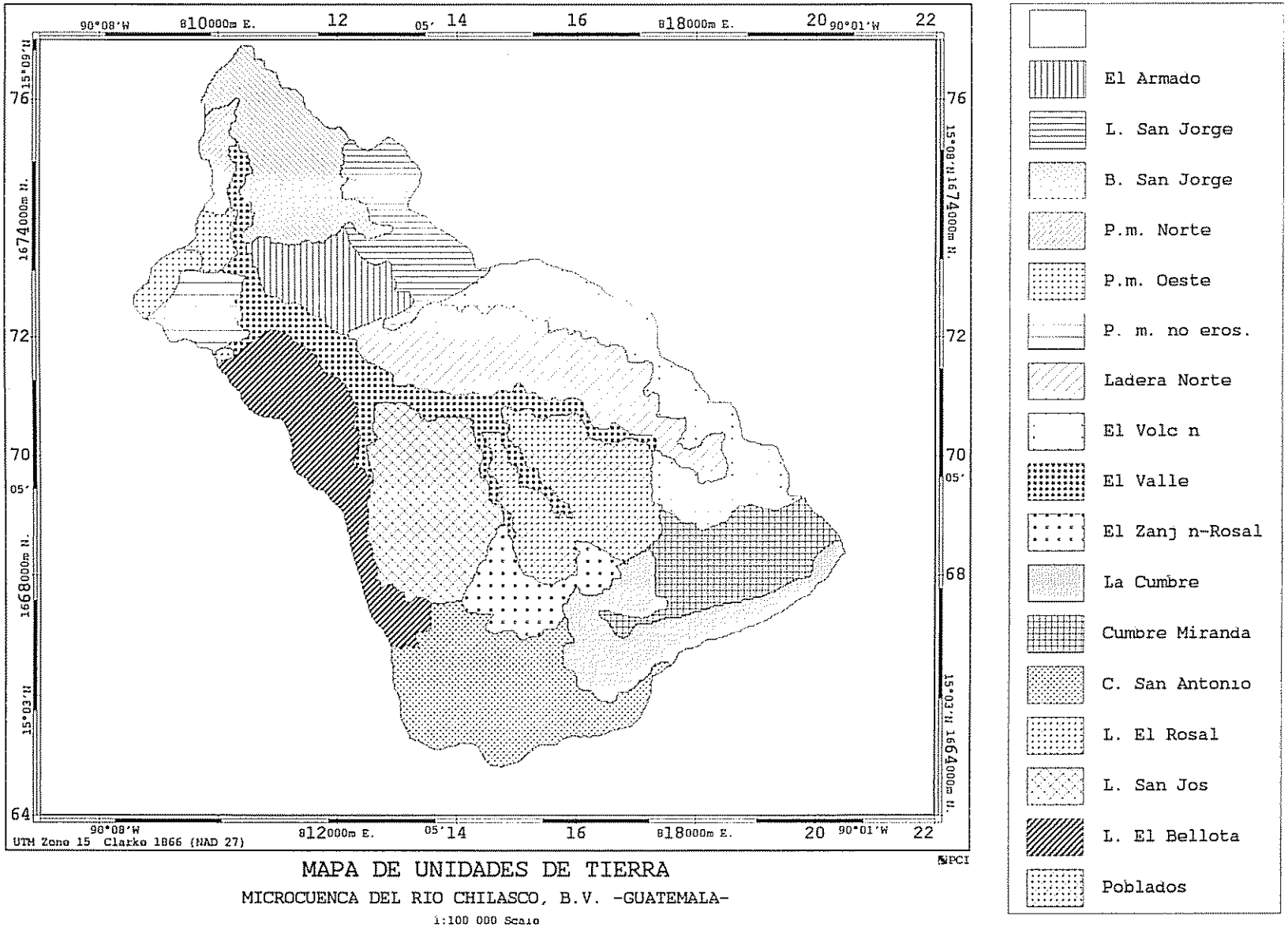
13d. Factores de Volumen

Codigo Unidad	Potencial Sitio Cipres	Volumen Presente Pino nat.	Dap medio Pino nat.	Potencial Sitio Pino
	clase	m3/ha	cm	clase
ch1	Medio	NR	NR	Alto
ch2	Productivo	NR	NR	Medio
ch3	Medio	NR	NR	Alto
ch4	Productivo	NR	NR	Alto
ch5	Productivo	NR	NR	Alto
ch6	Productivo	NR	NR	Alto
ch7	Productivo	214	42	Alto
ch8	Productivo	n/e	n/e	Alto
ch9	Medio	n/e	n/e	Alto
ch10	Medio	NR	NR	Medio
ch11	Medio	NR	NR	Pobre
ch12	Medio	NR	NR	Pobre
ch13	Medio	NR	NR	Alto
ch14	Productivo	282	26	Alto
ch15	Productivo	n/e	n/e	Medio
ch16	Medio	n/e	n/e	Alto
ch17	Poblados			

NR: No relevante o no existe en la Unidad

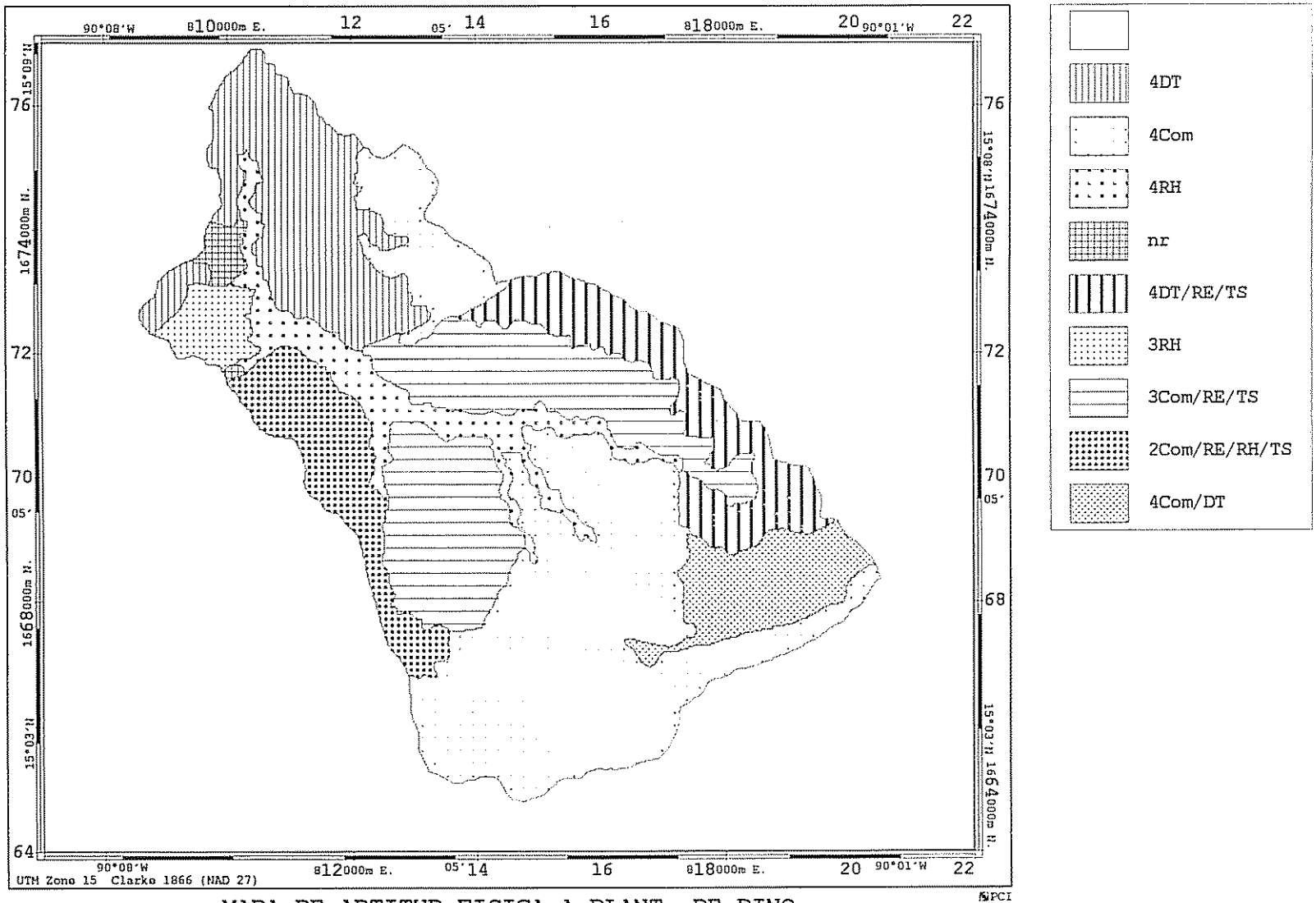
n/e: No evaluado por el tipo de regimen de propiedad

El potencial productivo para pino ALES lo calcula internamente con arbol de decision. Para el cipres se ingreso via teclado.



MAPA DE UNIDADES DE TIERRA

MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, B.V. -GUATEMALA-



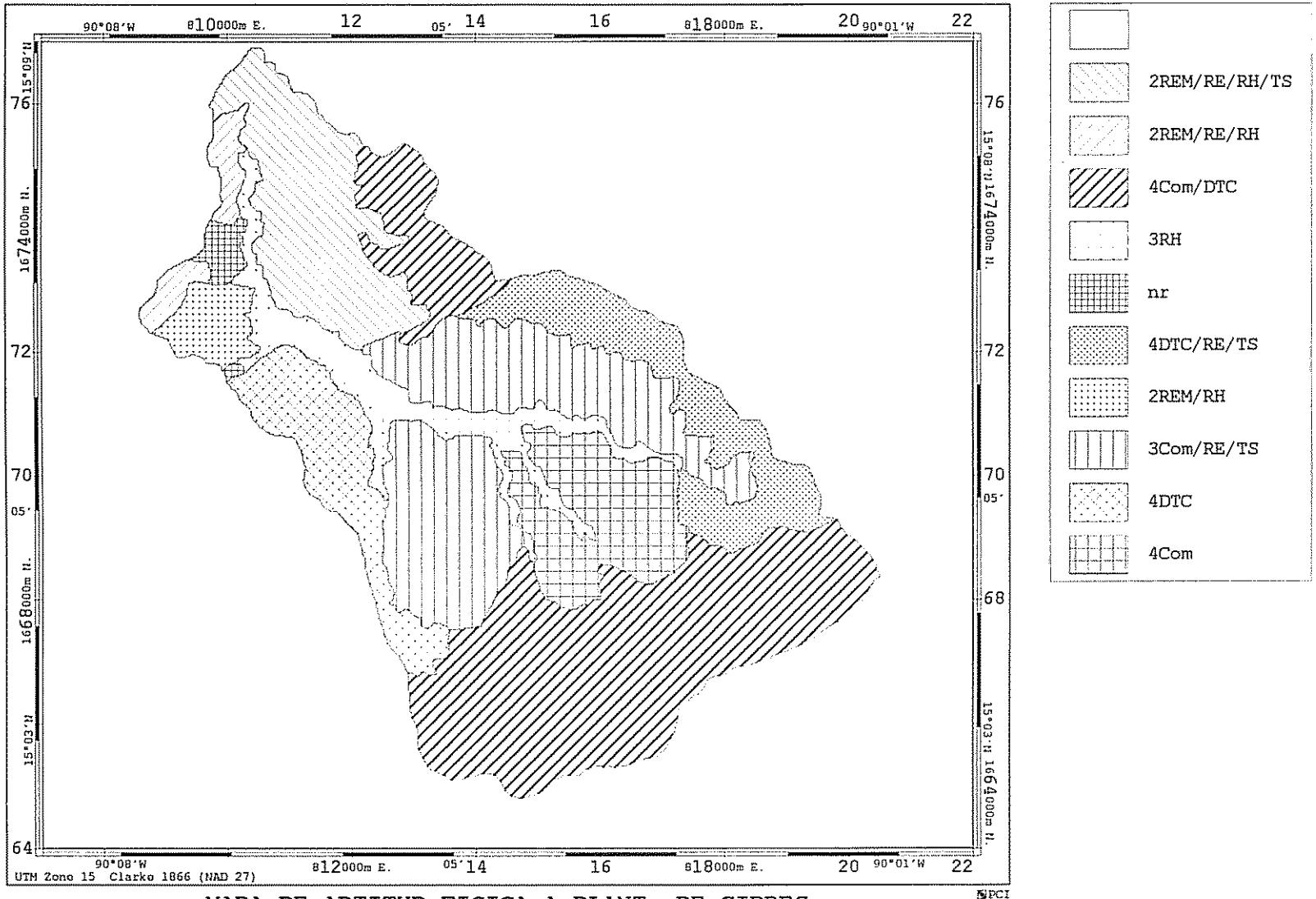
MAPA DE APTITUD FISICA A PLANT. DE PINO

MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, B.V. -GUATEMALA-

1:100 000 Scale

Kilometers 1 0 1 2 3 4 5 6 7

Miles 1 0 1 2 3 4 5



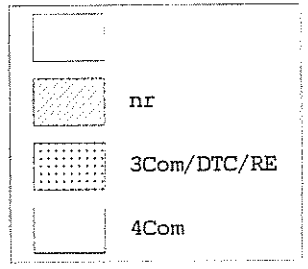
MAPA DE APTITUD FISICA A PLANT. DE CIPRES

MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, B.V. -GUATEMALA-

1:100 000 Scale

Kilometers 1 0 1 2 3 4 5 6 7

Miles 1 0 1 2 3 4 5



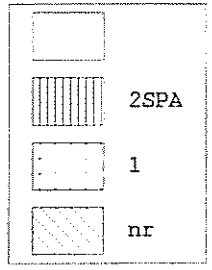
MAPA DE APTITUD A BOSQUES DE CONIFERAS

MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, B.V. - GUATEMALA

1:100 000 Scale

Kilometers 1 0 1 2 3 4 5 6 7

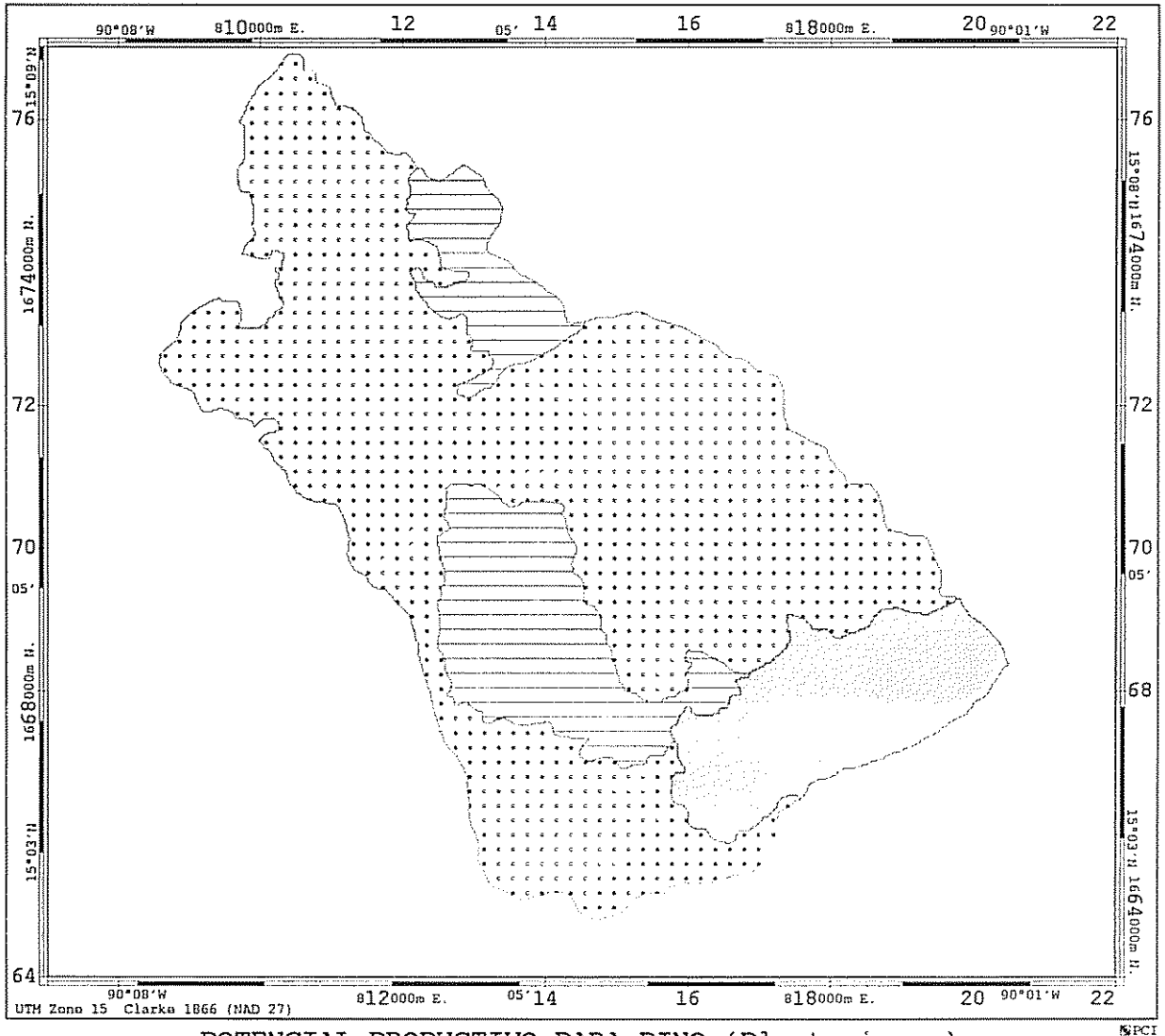
Miles 1 0 1 2 3 4 5

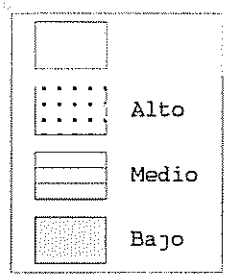


MAPA DE APTITUD A BOSQUE NUBOSO

MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, B.V. - GUATEMALA

1:100 000 Scale





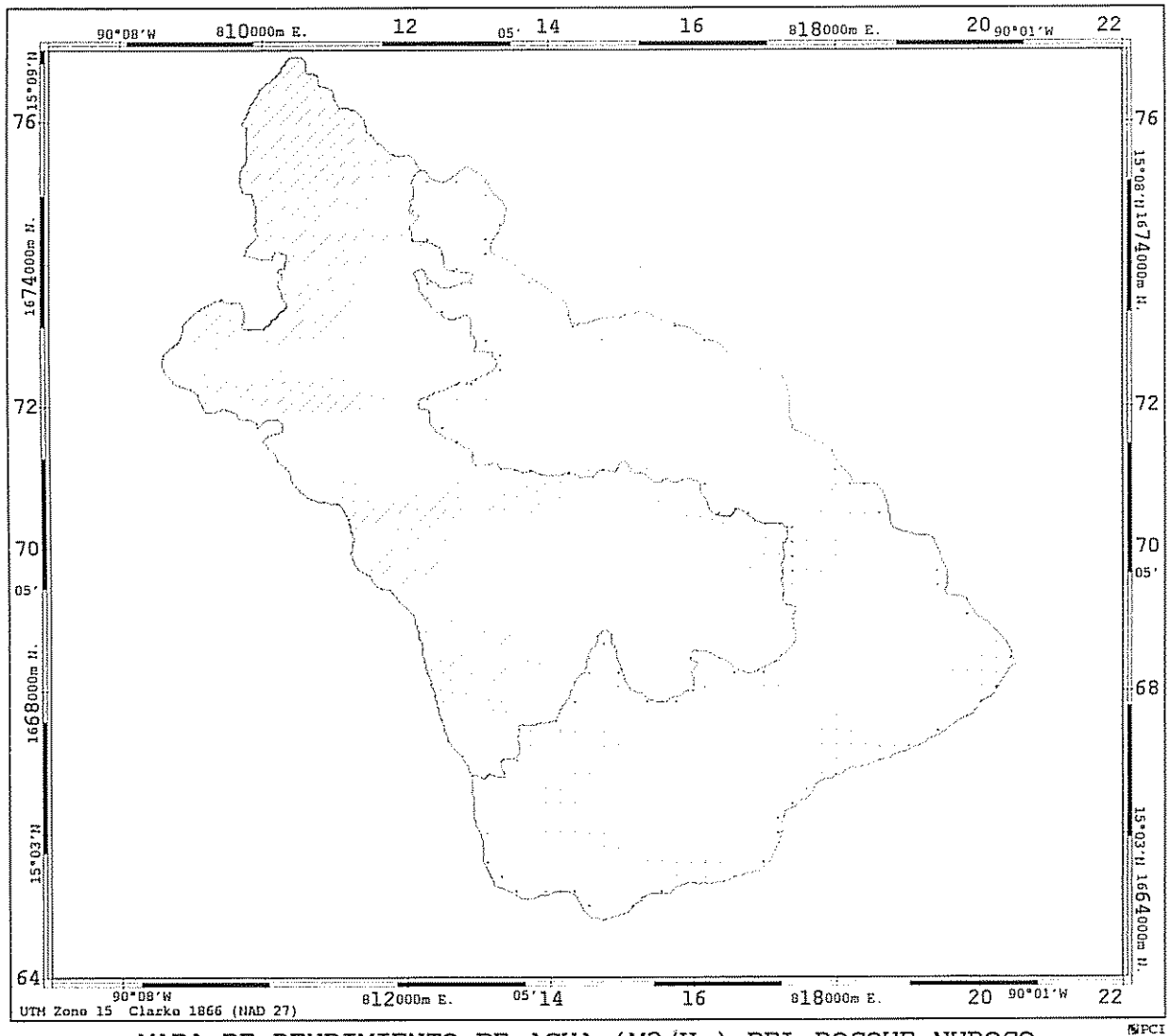
POTENCIAL PRODUCTIVO PARA PINO (Plantaciones)

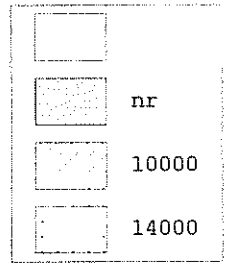
MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, B.V. -GUATEMALA-

1:100 000 Scale

Kilometers 1 0 1 2 3 4 5 6 7

Miles 1 0 1 2 3 4 5





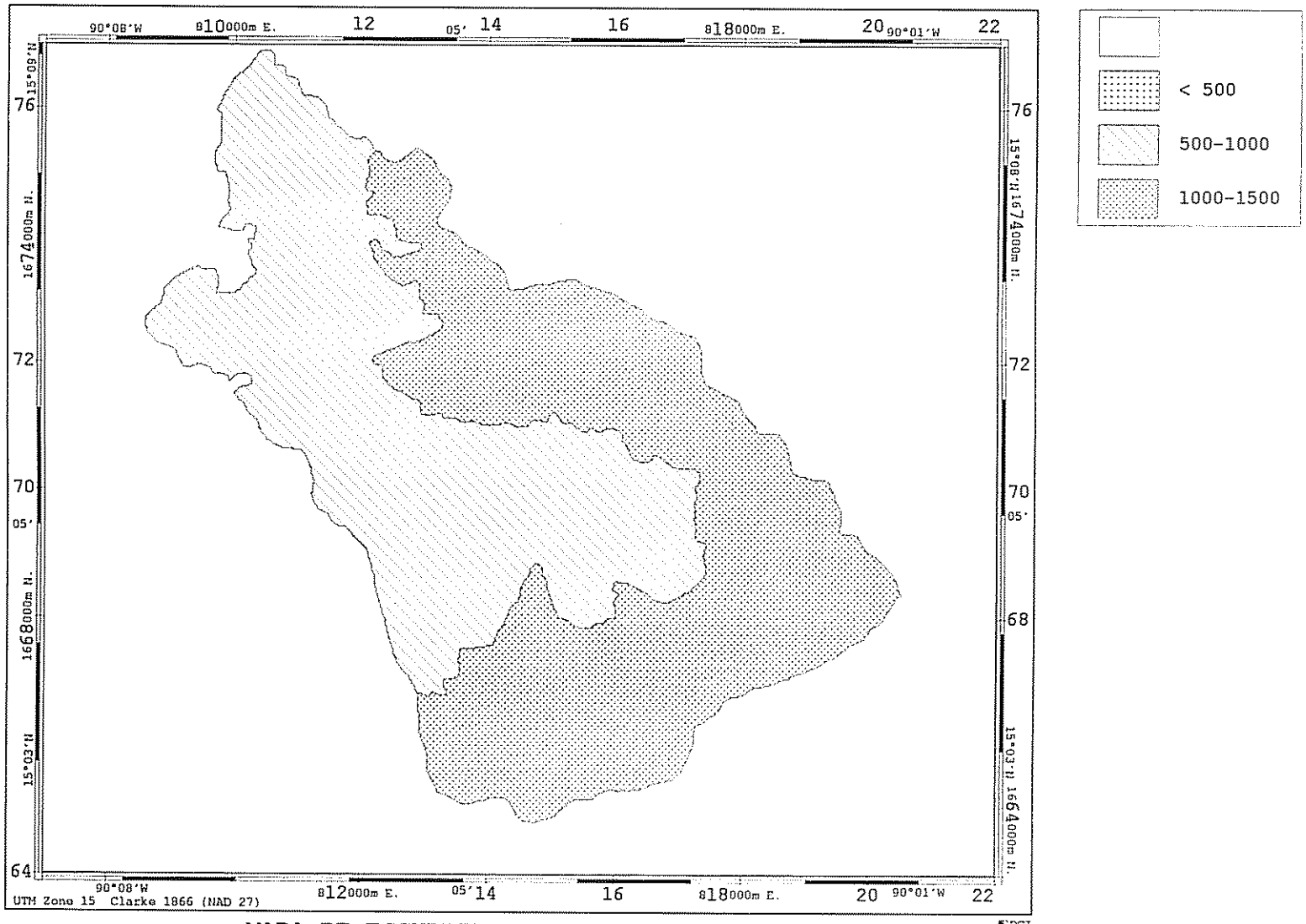
MAPA DE RENDIMIENTO DE AGUA (M3/Ha) DEL BOSQUE NUBOSO

MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, B.V. -GUATEMALA-

1:100 000 Scale

Kilometers 1 0 1 2 3 4 5 6 7

Miles 1 0 1 2 3 4 5



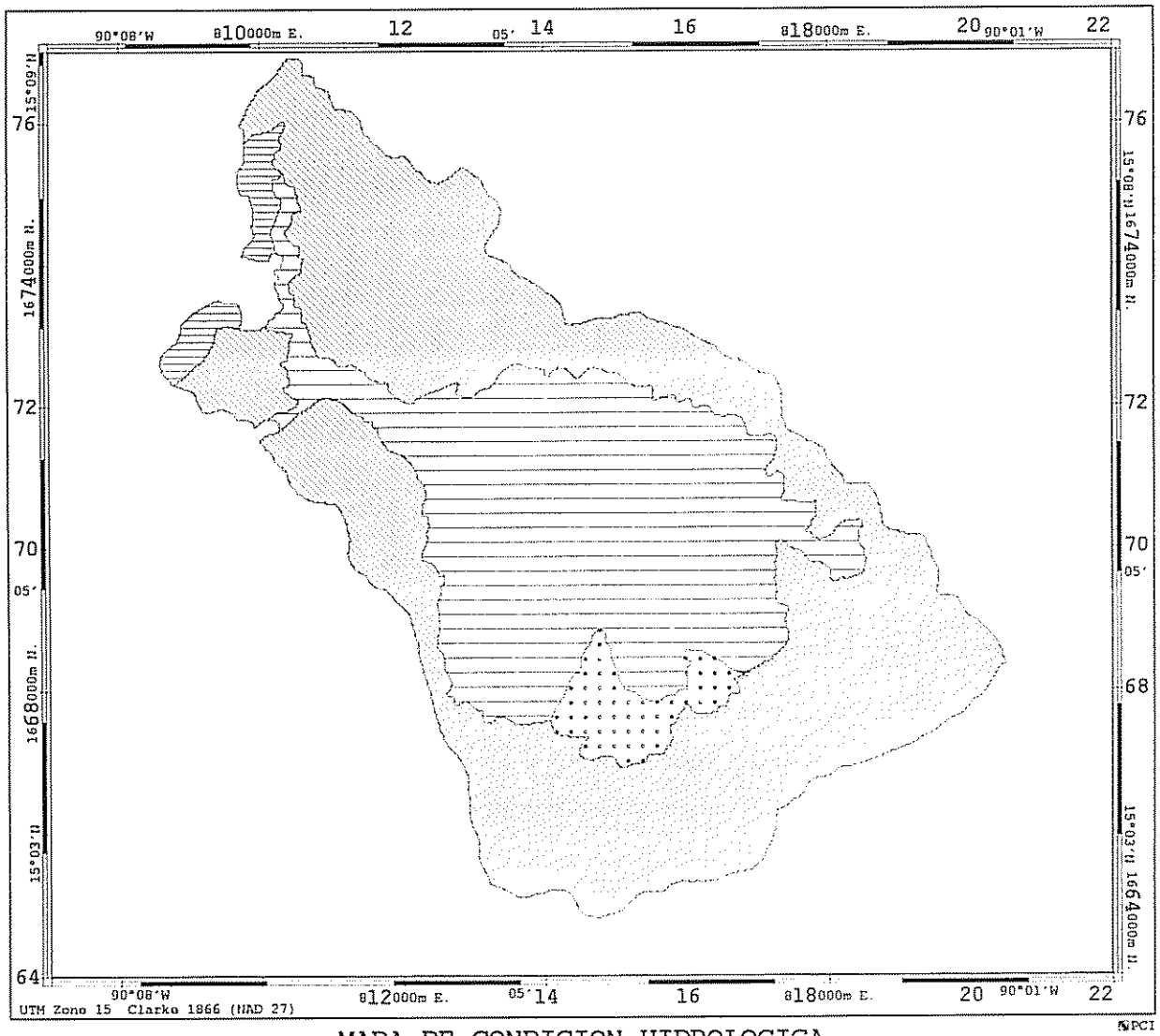
MAPA DE ESCURRIMIENTO POTENCIAL (mm)

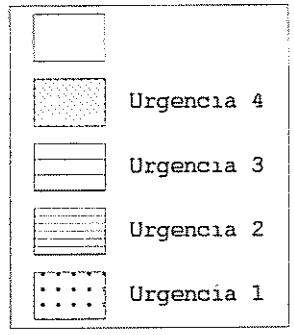
MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, B.V. -GUATEMALA-

1:100 000 Scale

Kilometers 1 0 1 2 3 4 5 6 7

Miles 1 0 1 2 3 4 5





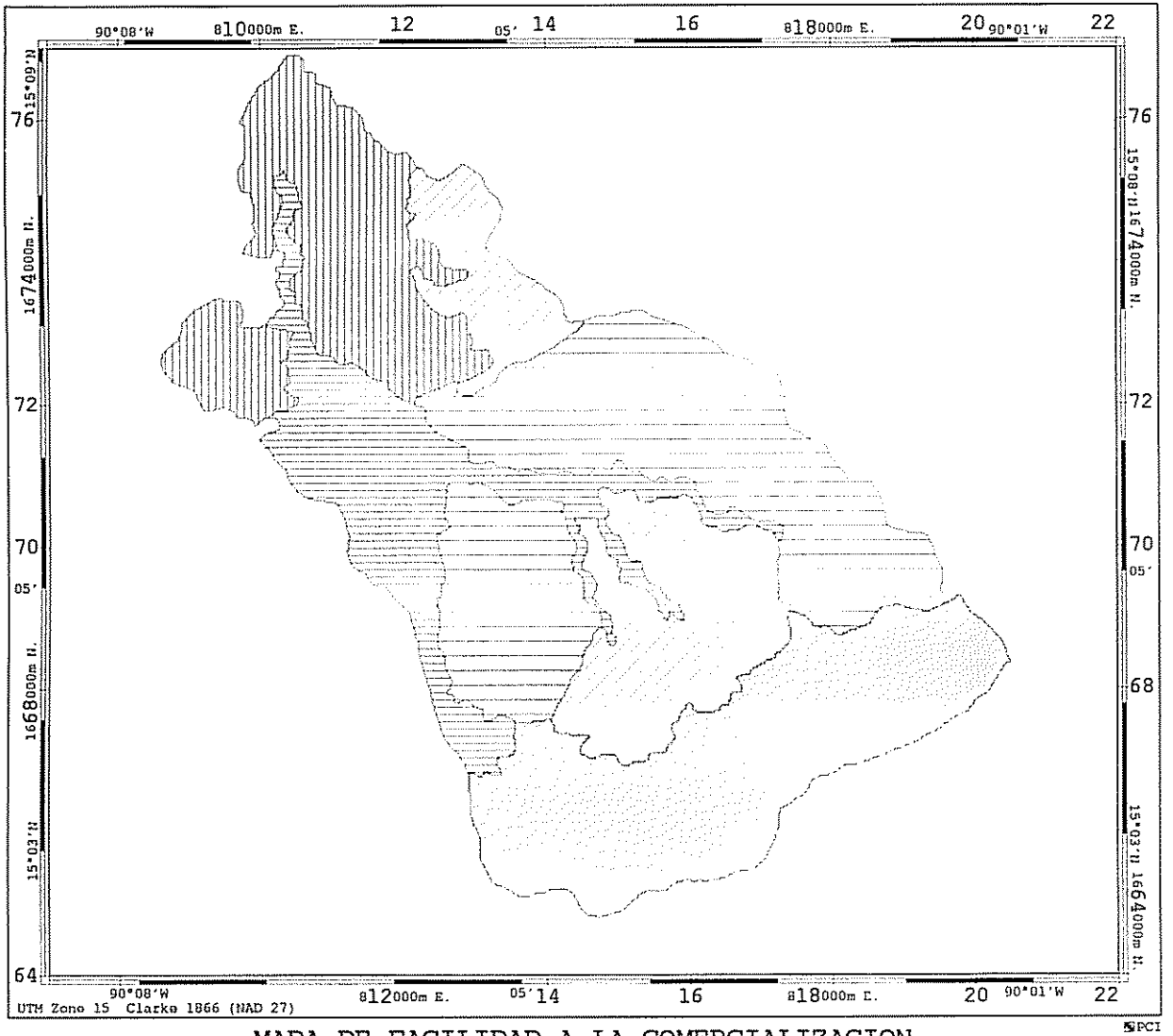
MAPA DE CONDICION HIDROLOGICA

MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, B.V. -GUATEMALA-

1:100 000 Scale

Kilometers 1 0 1 2 3 4 5 6 7

Miles 1 0 1 2 3 4 5



Sin Limitacion

Poca Limitacion

Mant. leve caminos

Reconst. caminos

No const. caminos

MAPA DE FACILIDAD A LA COMERCIALIZACION

MICROCUENCA DEL RIO CHILASCO, B.V. -GUATEMALA-

1:100 000 Scale

Kilometers 1 0 1 2 3 4 5 6 7

Miles 1 0 1 2 3 4 5