

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA CIENCIAS AGROPECUARIAS-IASA
“GRAD. CARLOMAGNO ANDRADE PAREDES”

CARACTERIZACIÓN DEL BOSQUE DE *Eucalyptus globulus* DE LA
HACIENDA EL PRADO

HENRRY EDDY LEÓN ORTEGA

INFORME DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
AGROPECUARIO

SANGOLQUÍ - ECUADOR
2006

RESUMEN

Se caracterizó la parte alta del bosque de *Eucalyptus globulus* de la hacienda el prado con la finalidad de diseñar un plan de manejo forestal sostenible y sustentable complementario al realizado en la parte baja por Rivera 2005. El área total del bosque fue de 90,02 ha; de las cuales 37,48 ha fueron de bosque joven (árboles con una edad no superior a 5 años) y 52,54 ha de bosque maduro o adulto, este último se constituyó en el área de estudio y de el 26,70 ha correspondió a zonas con pendiente fuerte, 14 ha zonas con pendiente leve y 11,84 ha zonas con pendiente moderada.

Para inventariar la cobertura arbórea presente se realizó un muestreo aleatorio estratificado. El tamaño de la población fue de 523 parcelas y se muestrearon 25 parcelas (13 en zonas con pendiente fuerte, 6 en zonas con pendiente moderada y 6 en zonas con pendiente leve), con un nivel de confiabilidad del 95 % y un error de muestreo del 20 %.

En total se encontraron 2608 árboles (1065 brinzales, 291 latizales y 1252 fustales). Los árboles fustales se caracterizaron por tener un DAP promedio de 24,16 cm, una altura total promedio de 23,65 m, un área basal promedio de 0,644 m² y un volumen total promedio de 6,16 m³. El área basal total de los árboles fustales en las 25 parcelas inventariadas fue de 67,58 m² y el volumen total fue de 1155,69 m³ en las 25 parcelas.

Los árboles ubicados en zonas con pendiente fuerte presentaron menor DAP, menor altura y menor volumen que los árboles ubicados en zonas con pendiente moderada y leve, debido a que presentaron una mayor densidad de individuos, pero con una edad no mayor a 20 años.

Si se considera la cobertura arbórea como plantación forestal se recomienda ralea 126,78 árboles ha⁻¹, en zonas con pendiente leve, 107,27 árboles ha⁻¹, en zonas con pendiente fuerte y 68,18 árboles ha⁻¹ en zonas con pendiente moderada. Posteriormente se debe realizar un manejo de rebrotes con cinco intervenciones desde el primer año después de la corta hasta que el árbol alcance su diámetro mínimo de corta (18 años o más) para obtener productos forestales en el corto y mediano plazo.

Si se considera la cobertura arbórea como bosque secundario se debe realizar un plan de aprovechamiento forestal policíclico. Con una intensidad de corta del 60 %, se puede obtener 93,44 m³ de madera en las 14 ha cada año, en zonas con pendiente leve; en zonas con pendiente moderada se puede obtener 93,49 m³ de madera en las 11,84 ha cada año. Mientras que con una intensidad de corta del 90 %, se puede extraer un volumen de madera de 174,89 m³ en las 26,70 ha año⁻¹ en zonas con pendiente fuerte.

SUMMARY

The upper part of the *Eucalyptus globulus* forest of the El Prado farm was studied with the purpose of designing a sustainable forest management plan to complement the one carried out in the lower part by Rivera 2005. The total area of the forest was 90,02 ha, of which 37,48 ha was a young forest (no older than 5 years) and 52,54 ha of adult forest. This last part was subject of study. Of this; 26,70 ha correspond to areas with a strong slope; 14 ha to areas with a slight slope and 11,84 ha to areas with a medium slope.

In order to make an inventory of the trees, a stratified aleatory sampling was made. The total population size was 523 plots, and 25 plots were sampled (13 in areas with a strong slope, 6 in areas with a moderate slope, and 6 in areas with slight slope) with a reliability level of 95% and a sampling error of 20%.

The trees found were 2608 (1065 seedling; 291 shrubs, and 1252 trees) The *fustales* had an average diameter at shoulder level of 24,16 cm with a height of 23,65 m, an average basal area of 0,644 m², a total average volume 6,16 m³ The total basal area of the *fustales* in the 25 lots inventoried was 67,58 m² and the total volume 1155,69 m³ in the 25 lots.

The trees located in areas with a strong slope presented a lower diameter at chest height, were shorter and with a lower volume than those located in areas with a moderate and slight slope as they showed a larger density of individuals; they were no more than 20 years old.

If the tree coverage is considered as a forest plantation, cutting 126,78 trees ha⁻¹ is recommended in areas with a slight slope; 107,27 trees ha⁻¹ in areas with a strong slope and 68,18 trees ha⁻¹ in areas with moderate slope. Later, sprouts must be handled with five interventions starting at one year after the cutting until the tree reaches a minimum cutting diameter (18 years or more) to obtain forestry products at short and medium term.

If the tree coverage is considered as a secondary forest, a poly-cycle plan of forest produce must be carried out. With a felling intensity of 60%; 93,44 m³ of wood may be obtained in the 14 ha each year, in areas with a slight slope; in areas with a moderate slope 93,49m³ of wood may be obtained in 11,84 ha each year, while with a felling intensity of 90% a volume of 174,89 m³ of wood may be obtained in 26,70 ha year⁻¹ may be obtained in areas with a strong slope.

CERTIFICACIÓN

**CARACTERIZACION DEL BOSQUE DE *Eucalyptus globulus* DE LA
HACIENDA EL PRADO**

HENRRY EDDY LEÓN ORTEGA

REVISADO Y APROBADO

**Ing. MSc. NORMAN SORIA
COORDINADOR DE CARRERA**

**Ing. JAIME VILLACIS
DIRECTOR**

**Ing. MARCO LUNA
COORDIRECTOR**

**Ing. JAIME VILLACIS
BIOMETRISTA**

**CERTIFICO QUE ESTE TRABAJO FUE PRESENTADO EN ORIGINAL
(ELECTRONICAMENTE) E IMPRESO EN DOS EJEMPLARES**

**Abg. CARLOS OROZCO B.
SECRETARIO ACADEMICO**

**CARACTERIZACION DEL BOSQUE DE *Eucalyptus globulus* DE LA
HACIENDA EL PRADO**

HENRRY EDDY LEÓN ORTEGA

**APROBADO POR LOS SEÑORES MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE
CALIFICACIÓN DEL INFORME TÉCNICO**

	CALIFICACIÓN	FECHA
Ing. MSc. Jaime Villacís DIRECTOR INVESTIGACIÓN	_____	_____
Ing. Marco Luna CODIRECTOR INVESTIGACIÓN	_____	_____

**CERTIFICO QUE ESTAS CALIFICACIONES FUERON PRESENTADAS EN
ESTA SECRETARÍA.**

**ABG. CARLOS OROZCO B
SECRETARIO ACADEMICO**

CERTIFICACION

Director de Tesis:

Ing. Jaime Villacís

Codirector de Tesis:

Ing. Marco Luna

CERTIFICAN:

Que el trabajo de investigación titulado “CARACTERIZACION DEL BOSQUE DE *Eucalyptus globulus* DE LA HACIENDA EL PRADO” y realizado por el señor León Ortega Henry Eddy, ha sido elaborado prolijamente y cumple con los requerimientos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la ESPE, por lo que nos permitimos acreditarlo y autorizar al señor León Ortega Henry Eddy para que lo sustente públicamente.

DIRECTOR
Ing. Jaime Villacís

CODIRECTOR
Ing. Marco Luna

Sangolquí, Octubre 2006

CERTIFICACION

Director de Tesis:

Ing. Jaime Villacís

Codirector de Tesis:

Ing. Marco Luna

CERTIFICAN:

Que el trabajo de investigación titulado “CARACTERIZACION DEL BOSQUE DE *Eucalyptus globulus* DE LA HACIENDA EL PRADO” ha sido realizado por el señor León Ortega Henry Eddy, se ha incluido en cinco CDs los documentos completos y anexos necesarios.

DIRECTOR
Ing. Jaime Villacís

CODIRECTOR
Ing. Marco Luna

Sangolquí, Octubre 2006

AUTORIZACIÓN

Todo el contenido, cuadros y figuras, que constan en el presente documento podrán ser publicados y reproducidos en beneficio de la ESPE, por la página Web.

LEÓN ORTEGA HENRRY EDDY

Sangolquí, Octubre, 2006

DEDICATORIA

A mis tres mujeres: Mariana, Fanny y Leslie

A mis familiares; y,

A la memoria de mi padre Daniel

AGRADECIMIENTO

Al todopoderoso.

Al Ing. Jaime Villacís por su acertada dirección y apoyo incondicional en el desarrollo del presente trabajo.

Al Ing. Marco Luna por su generosa colaboración durante el proceso investigativo.

Al Ing. Freddy Dueñas por su apoyo y asesoramiento incondicional en el desarrollo de la tesis.

Y a todas las personas que directa o indirectamente ayudaron en la recolección de la información para el cumplimiento de los objetivos planteados.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I. INTRODUCCION.....	1
1. Definición del problema	1
2. Justificación e Importancia	2
II. OBJETIVOS	4
1. GENERAL	4
2. ESPECÍFICOS	4
III. HIPOTESIS.....	5
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	6
1. El bosque.....	6
1.1 Definición.....	6
1.2 Situación mundial de los bosques.....	7
1.3 Análisis de la situación de los bosques en el Ecuador.....	7
1.4 La industria forestal.....	8
2. Regimen Forestal Vigente en el Ecuador.....	10
2.1 Generalidades.....	10
2.2 Bases Legales.....	10
2.3 Sustentación Técnica.....	12
2.3.1 Objetivo de la actividad forestal.....	12
2.3.2 La producción y el aprovechamiento forestal.....	12
3. El cultivo de <i>Eucalyptus Globulus</i>	13
3.1 Características Generales.....	13
3.2 El eucalipto en el Ecuador.....	15
4. Manejo Forestal.....	15
4.1 Limpieza	16
4.2 Fertilización	17
4.3 Raleo.....	17
4.4 Poda.....	20
4.5 Aprovechamiento	21
4.5.1 Edad de Corta.....	21
4.5.2 Cosecha.....	21
4.6 Manejo de rebrotes.....	23
4.7 Incendios forestales.....	24
4.8 Manejo sostenible y sustentable del bosque.....	26
5. Comercio Forestal.....	27
5.1 Uso del Eucalipto	27
5.2 Certificación.....	28
5.3 Servicios económicos-ambientales del bosque.....	29
5.4 Comercio maderero y exportación del eucalipto	30
6. Inventario Forestal.....	31
6.1 Definición	32
6.2 Planificación	32
6.3 Problemas y errores.....	33
6.4 Información Cartográfica.....	34
6.5 Elementos de Muestreo	35
6.5.1 Bases Estadísticas.....	35
6.5.1.1 Distribución de variables aleatorias.....	36
6.5.1.2 Inferencias Estadísticas.....	36
6.5.1.3 Terminología en Muestreo.....	37
6.5.2 Muestreo simple al azar.....	38

6.5.3 Muestreo estratificado al azar.....	38
6.5.4 Métodos de muestreo no aleatorio.....	39
6.5.4.1 Muestreo Sistemático.....	39
6.5.4.2 Muestreo Selectivo.....	40
6.5.5 Otras técnicas de muestreo.....	40
6.6 Tipos de inventarios forestales.....	40
6.6.1 Inventario exploratorio.....	41
6.6.2 Inventario para manejo de bosques naturales.....	41
6.6.3 Inventario para aprovechamiento forestal.....	41
6.6.4 Inventario para manejo de plantaciones.....	42
6.7 Medición Forestal.....	42
6.7.1 Medición de características individuales.....	43
6.7.1.1 Medición de diámetros.....	43
6.7.1.2 Medición de altura.....	44
6.7.1.3 Medición de área basal.....	45
6.7.1.4 Medición de copas.....	45
6.7.2 Medición de variables en el tiempo.....	46
6.7.3 Parcelas de muestreo permanente.....	47
6.7.3.1 Parcelas de monitoreo.....	47
6.7.3.2 Parcelas experimentales.....	48
6.7.3.3 Remediaciones.....	48
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
1. MATERIALES Y EQUIPOS.....	49
2. MÉTODOS.....	49
2.1. Descripción del área en estudio.....	49
3. METODOLOGÍA Y OPERACIONALIZACIÓN DE OBJETIVOS.....	49
3.1. Calculo de la superficie (área) que ocupa la parte alta del bosque de <i>Eucalyptus globulus</i>	49
3.2. Inventario forestal de la parte alta del bosque de <i>Eucalyptus globulus</i>	51
3.3. Diferencias entre los árboles presentes en zonas con pendiente leve, moderada y fuerte.....	56
3.4. Diseño de un plan de manejo forestal.....	56
3.4.1. Plan de raleo.....	57
3.4.2. Plan de manejo de rebrotes.....	58
3.4.3. Plan de aprovechamiento forestal de bajo impacto.....	58
VI. RESULTADOS.....	60
1. Área que ocupa el bosque de <i>Eucalyptus globulus</i>	60
2. Inventario de la parte alta del bosque de <i>Eucalyptus globulus</i> de la Hacienda El Prado.....	60
2.1 Distribución de diámetros a la altura de pecho y alturas en árboles con dap > a 10 cm en 25 parcelas inventariadas.....	64
2.2 Distribución del área basal y volumen total por clases diamétricas en árboles de eucalipto presentes en 25 parcelas.....	65
3. Diferencias entre los árboles presentes en zonas con pendiente leve, moderada y fuerte.....	66
3.1 Distribución de diámetros a la altura de pecho y alturas.....	66
3.2 Distribución del área basal y volumen total por clases diamétricas.....	68
3.3 Diferencias entre los árboles presentes en parcelas por calidad de fuste.....	69
4. Plan de manejo forestal sostenible y sustentable.....	71
4.1 Raleo.....	71

4.2 Plan de manejo de rebrotes.....	73
4.3 Plan de aprovechamiento forestal de bajo impacto.....	73
VII. DISCUSIÓN.....	79
1. Diferencias entre la cobertura arbórea presente en los diferentes estratos del bosque.....	80
2. Plan de manejo forestal.....	82
3. Aprovechamiento forestal de bajo impacto.....	84
VIII. CONCLUSIONES	87
IX. RECOMENDACIONES	89
X. BIBLIOGRAFÍA	90

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Resultados de inventario forestal preliminar de la parte alta de la Hacienda El Prado.	53
Cuadro 2.	Número total de árboles, brinzales, latizales, área basal/ parcela, volumen total / parcela, IASA, Ecuador, 2006.....	63
Cuadro 3.	Promedio (+ Se) de dap (cm), altura total, área basal total, volumen total, de acuerdo al tipo de pendiente de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006 (letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas).....	66
Cuadro 4.	Promedio (+ Se) de dap (cm), altura total (m), área basal (m), volumen total (m), de árboles con calidad 1, en parcelas con pendientes fuerte, moderada y leve.....	70
Cuadro 5.	Promedio (+ Se) de dap (cm), altura total (m), área basal (m), volumen total (m), de árboles con calidad 2, en parcelas con pendientes tipo fuerte, moderada y leve.....	70
Cuadro 6.	Promedio (+ Se) de dap (cm), altura total (m), área basal (m), volumen total (m), de árboles con calidad 3, en parcelas con pendientes fuerte, moderada y leve.....	71
Cuadro 7.	Espaciamiento promedio, índice de espaciamiento relativo, vuelo original, vuelo en pie, vuelo eliminado y porcentaje de raleo en 25 parcelas inventariadas en el bosque Eucalipto de la hacienda El prado, IASA, 2006.....	72
Cuadro 8.	Número de intervenciones que se propone para el manejo de rebrotes en la hacienda El Prado IASA 2006	73
Cuadro 9.	Número de árboles, área basal y volumen de árboles de <i>Eucalyptus globulus</i> , según la clase diamétrica en el estrato con pendiente leve, IASA, 2006	74
Cuadro 10.	Número de árboles, área basal y volumen de árboles de <i>Eucalyptus globulus</i> , según la clase diamétrica en el estrato con pendiente moderada, IASA, 2006	74
Cuadro 11	Número de árboles, área basal y volumen de árboles de <i>Eucalyptus globulus</i> , según la clase diamétrica en el estrato con pendiente moderad, IASA, 2006.....	74
Cuadro 12.	Volumen por ha por clase diamétrica (m ³ /ha) de <i>Eucalyptus globulus</i> y volumen de corta permisible aplicando la IC del 60%, en zonas con pendiente leve, IASA, 2006.	77
Cuadro 13.	Volumen por ha por clase diamétrica (m ³ /ha) de <i>Eucalyptus globulus</i> y volumen de corta permisible aplicando la IC del 60 %, en zonas con pendiente moderada, IASA,2006.	77
Cuadro 14	Volumen por ha por clase diamétrica (m ³ /ha) de <i>Eucalyptus globulus</i> y volumen de corta permisible aplicando la IC del 90%, en zonas con pendiente fuerte, IASA,2006.....	77
Cuadro 15.	Distribución diamétrica del número de árboles de Eucalipto en zonas con pendiente leve antes y después del aprovechamiento y proyectada hacia el final de un ciclo de corta de 30 años, IASA, 2006. (Tasa de crecimiento de 0.5 cm año ⁻¹ y una mortalidad de 1.5 % año ⁻¹).....	78
Cuadro 16.	Distribución diamétrica del número de árboles de Eucalipto en zonas con pendiente moderada antes y después del aprovechamiento y proyectada hacia el final de un ciclo de corta de 30 años, IASA, 2006 (Tasa de crecimiento de 0.5 cm año ⁻¹ y una mortalidad de 1.5 % año ⁻¹). ...	78

Cuadro 17	Distribución diamétrica del número de árboles de Eucalipto en zonas con pendiente fuerte antes y después del aprovechamiento y proyectada hacia el final de un ciclo de corta de 30 años, IASA,2006 (Tasa de crecimiento de 0.5 cm año ⁻¹ y una mortalidad de 1.5% año ⁻¹)	78
-----------	---	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa base de la hacienda El Prado	50
Figura 2.	Mapa por estratos de la hacienda El Prado	52
Figura 3.	Mapa por tipo de bosque de la hacienda El Prado.....	61
Figura 4.	Mapa del área de estudio de la hacienda El Prado.....	62
Figura 5.	Distribución de clases diamétricas de árboles presentes en 25 parcelas inventariadas en el bosque de eucalipto de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.....	64
Figura 6.	Distribución de clases de altura de árboles presentes en 25 parcelas inventariadas en el bosque de eucalipto de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.....	64
Figura 7.	Distribución del área basal ($m^2 ha^{-1}$) por clase diamétrica en el bosque de eucalipto de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.....	65
Figura 8.	Distribución del volumen ($m^3 ha^{-1}$) por clase diamétrica en el bosque de eucalipto de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.....	65
Figura 9.	Distribución de clases diamétricas de árboles presentes en 25 parcelas inventariadas en el bosque de eucalipto en base al tipo de pendiente de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.	67
Figura 10.	Distribución de clases de alturas de árboles presentes en 25 parcelas inventariadas en el bosque de eucalipto en base al tipo de pendiente de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.	67
Figura 11.	Distribución del área basal ($m^2 ha^{-1}$) por clase diamétrica en el bosque de eucalipto en base al tipo de pendiente de en la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.....	68
Figura 12.	Distribución del volumen ($m^3 ha^{-1}$) por clase diamétrica en el bosque de eucalipto en base al tipo de pendiente, de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.....	69
Figura 13.	Sistema de raleo sistemático o mecánico por fajas o líneas.....	84

I. INTRODUCCIÓN

1. Definición del problema

En la actualidad, la atención del mundo está centrada en la perspectiva de la necesidad de un desarrollo sostenible y sustentable, por lo que es necesario tener una idea cabal de los recursos disponibles para una población en constante aumento. La evaluación mundial del recurso forestal es requisito indispensable para su aprovechamiento racional. Las tierras forestales representan en extensión cerca de un tercio de las tierras del globo, pero su distribución es muy desigual y las posibilidades de aprovechamiento varían mucho de unos casos a otros. Para un aprovechamiento óptimo de una riqueza tan grande y de aplicaciones tan variadas es necesario disponer de datos precisos sobre los recursos forestales del mundo, sobre la extensión de los montes y sobre el volumen de material en crecimiento, sobre composición y productividad y sobre las normas vigentes en materia de propiedad y explotación (FAO, 2000).

1 El Ecuador ha desarrollado poca experiencia en inventarios forestales. No ha descrito ni ha evaluado en forma específica la totalidad de los recursos forestales disponibles. Además existen diferencias entre épocas y metodologías empleadas en los inventarios realizados en los bosques naturales, lo que no ha permitido realizar una evaluación precisa del área forestal. Tampoco existe un sistema de inventario forestal nacional continuo que permita el monitoreo de la explotación y de la disponibilidad de los bosques naturales (INEFAN- ITTO, 1995). Los estudios gubernamentales de la FAO e INEFAN (1995) indican que la superficie forestal asciende a 11.5 millones de ha de bosque nativo. De ese total, el Oriente o Amazonía tiene 9.2 millones de ha, la Costa posee 1.5 millones de ha y la Sierra o Región Andina 795 mil ha. En tanto que, el área de plantaciones forestales alcanza aproximadamente las 143 mil hectáreas (INEFAN,

1995). Las plantaciones están conformadas por eucalipto (50%), pino (40%) y por otras especies (10%). La especie *Eucalyptus globulus* representa el 95% de las plantaciones de eucalipto, y es una especie potencial para el desarrollo del sector forestal.

El implementar un plan de manejo forestal sostenible y sustentable permite proporcionar productos y servicios de manera indefinida, propiciando sostenibilidad del bosque y de los otros recursos que tiene este ecosistema. En la hacienda El Prado se complementa las acciones del plan de manejo forestal existente para la parte baja, a todo el bosque. Esto permitirá además incrementar las áreas bajo manejo de aquellas tierras con vocación forestal.

2. Justificación e Importancia

2 La ubicación geográfica del bosque ha impedido optimizar el potencial productivo de la hacienda El Prado, en productos maderables y sus colaterales beneficios económicos, así como asegurar el hábitat para el desarrollo de la flora y la fauna silvestre, incrementar las reservas acuíferas de los mantos freáticos, proteger el suelo contra la erosión, proteger la calidad del aire y de los microclimas, así como generar beneficios recreativos diversos, que en su conjunto contribuyan al mejoramiento del bienestar de la comunidad.

La caracterización de la parte baja del bosque de Eucalipto de la hacienda El Prado, se constituye en el inicio de una nueva alternativa para incrementar la productividad y conservar la biodiversidad ahí presente. Sin embargo, para complementar el estudio se continuó con la realización del inventario forestal, en la parte alta del bosque de eucalipto, con la finalidad de realizar el aprovechamiento integral del recurso forestal disponible.

Consecuentemente y por las razones expuestas, se caracterizó el bosque de eucalipto en la hacienda El Prado, se generó la información sobre el área de los rodales que conforman el bosque, la estructura del bosque, distribución diamétrica de los árboles, área basal, área de copa y volumen de madera. Además se elaboró un plan de manejo forestal sostenible y sustentable que complementa el plan diseñado para la parte baja del mismo bosque, esto permitirá realizar un aprovechamiento racional del bosque sin dañar su frágil ecosistema.

II. OBJETIVOS

1. GENERAL

Caracterizar el bosque de *Eucalyptus globulus* de la parte alta de la hacienda El Prado con el fin de realizar un plan de manejo forestal sostenible y sustentable.

2. ESPECÍFICOS

Determinar el área que ocupa la parte alta del bosque de *Eucalyptus globulus* mediante la utilización de un mapa base.

Realizar un inventario forestal de la parte alta del bosque de *Eucalyptus globulus*.

Comparar la cobertura arbórea presente en los diferentes estratos del bosque en cuanto a diámetro promedio, altura total y volumen total.

Elaborar un plan de manejo forestal que permita la sostenibilidad de los productos y servicios del bosque.

III. HIPÓTESIS

La Caracterización del bosque de *Eucalyptus globulus* en la hacienda el Prado generará información necesaria para la elaboración de un plan de manejo forestal sostenible y sustentable.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

1. El Bosque

1.1. Definición

Al término “bosque” se lo describe como un conjunto de árboles que se establecen en armonía con organismos bióticos y abióticos formando un ecosistema. Sin embargo, debido a la gran cantidad de autores que han recopilado información y puntos de vista, a continuación se detallaran algunas definiciones:

Bosque es un grupo de árboles que en sincronía con un sinnúmero de elementos naturales, minerales, agua, vegetación, bacterias, hongos y animales más complejos forman un ecosistema (La Dirección Nacional de Recursos Forestales de Puerto Rico 2006).

Otro autor define que, un bosque es una superficie con gran densidad de árboles y arbustos, en su forma natural, es el hogar de muchas especies animales y vegetales, y el peso de su biomasa en un kilómetro cuadrado dado es alto, comparado con otros ecosistemas (Wikipedia 2006).

También, un bosque es la superficie mínima de tierras de (0,05-1,0 ha) con una cubierta de copas (o una densidad de población equivalente) de 10–30% y con árboles que pueden alcanzar una altura mínima de 2–5m a su madurez *in situ* (SERNA 2005).

Además, se considera que los bosques son tierras de más de 0,5 ha, con una cubierta de copa de más del 10 por ciento, que no son utilizadas como tierra para fines agrícolas o urbanos (FAO 2000).

1.2. Situación mundial de los bosques.

Los bosques constituyen un elemento esencial en la producción y el suministro de alimentos, agua, energía, alojamiento y medicinas para la población mundial (FAO 2000).

La Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FAO 2000), concluyó que la cubierta forestal mundial hasta el año 2000 fue de 3.9 mil millones de ha. La deforestación neta a nivel mundial se estimó en una tasa anual de aproximadamente 9 millones de ha, con una tasa de deforestación mundial bruta de 13.5 millones de ha. Al mismo tiempo, la tasa anual de 4.5 millones de ha de nuevas plantaciones sembradas, fue acentuadamente superior a las anteriores, y los rodales sembrados con éxito (estimados en 3 millones de ha año⁻¹ para todo el decenio de 1990) compensó las pérdidas de los bosques naturales.

Además la FAO (2000) concluye que las iniciativas relacionadas con la ordenación sostenible de los bosques han estimulado a muchos países a desarrollar planes de manejo para sus bosques. Cerca del 6 por ciento de los bosques tropicales se encuentran sometidos actualmente a dichos planes, al igual que el 88 por ciento de los bosques en los países industrializados. Todavía sigue siendo necesario vigilar a fin de evaluar la ejecución de los planes. Además, el diez por ciento de los bosques del mundo se encuentran actualmente bajo alguna forma de protección formal o informal, tales como los parques nacionales o las reservas forestales.

1.3. Análisis de la situación de los bosques en el Ecuador

La administración del Patrimonio Forestal del Estado Ecuatoriano esta bajo la responsabilidad del Ministerio del Ambiente. La superficie de bosque natural en el país

tiene entre 10.9 a 11.4 millones ha (aproximadamente el 42% de la superficie total). Del total de la superficie con cobertura forestal, solo 4'000.000 ha pueden ser utilizadas como bosques productores (DNF 2000).

En Ecuador la tasa “media” del crecimiento de la masa forestal del bosque natural se ha fijado en un metro cúbico por ha año⁻¹. En lo que respecta a las plantaciones forestales, el pino y eucalipto tendrían un crecimiento hasta de 15 m³ ha⁻¹ año⁻¹, mientras que los incrementos medios de las demás especies esta en alrededor de los 10 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

Aproximadamente 2'938.000 ha (10,8%), de la superficie del país son tierras de uso con potencial forestal, las mismas que pueden ser cubiertas con árboles ya sea con fines de producción o protección.

En cuanto a las plantaciones forestales, los esfuerzos realizados por el Estado y el sector privado para la reforestación son mínimos. Se tiene una superficie de plantaciones de 163.000 hectáreas (AIMA, 2001, citado por Rivera 2005) principalmente con *Pinus* y *Eucalyptus*, que representan aproximadamente el 75% de la población total, alrededor del 90% de las plantaciones se encuentran en la Sierra y el restante 10% se localiza en la Costa y región Amazónica; en esta última, lo más notorio es la presencia de árboles en cultivos (sistemas agroforestales), productos de la plantación o del manejo de la regeneración natural.

1.4. La industria forestal

En casi todos los países del mundo que tienen recursos forestales importantes, las industrias forestales (tanto madereras como no madereras) desempeñan una función esencial para el desarrollo socioeconómico general. Las empresas grandes y pequeñas que producen productos forestales, tanto para el consumo interno como para la

exportación, constituyen una parte importante de la base económica de casi todos los países. El valor anual de la leña y los productos forestales a base de madera en la economía mundial se estiman en más de 400.000 millones de dólares, es decir un 2 % aproximadamente del PIB (Schmincke, citado por Orea y Cordero 2004).

El valor real de la contribución del sector forestal a la economía mundial ha aumentado en los últimos decenios a un promedio anual del 2,5 %. La producción, extracción, elaboración y comercio de madera y otros productos forestales, junto con las industrias secundarias asociadas, son fuentes importantes de empleo e ingresos, especialmente en zonas rurales donde las otras opciones son limitadas. La madera es la más utilizada de las materias primas cuyo suministro es renovable; para muchas de las aplicaciones a las que se presta, no existen alternativas potencialmente inocuas para el medio ambiente y eficaces en función de los costos. La industria forestal convierte este recurso en un valor económico, social y lo pone a disposición de la sociedad, lo que explica que los bosques constituyen una alternativa de aprovechamiento de la tierra capaz de competir con otras.

El problema decisivo con que se enfrentará en el futuro la industria forestal será cubrir la creciente demanda de productos forestales a partir de una base de recursos limitada y a menudo frágil (Orea y Cordero 2004).

Durante el período comprendido entre 1980 y 1990, la demanda mundial de madera industrial (con exclusión de la leña y el carbón) aumentó de 800 millones a 1600 millones de m³, y se prevé que llegará a 2700 millones de m³ en el año 2010. En los países industrializados, el aumento previsto de la demanda durante este período de 20 años será del 53 % (de 1224 a 1875 millones de m³), mientras que en los países en desarrollo será del 111 % (de 378 a 799 millones de m³). Por tanto, el objetivo prioritario a largo plazo es el de avanzar hacia un aprovechamiento sostenible de los

bosques para obtener productos forestales madereros y no madereros, aumentando al mismo tiempo y al máximo los beneficios para la población local y para las economías nacionales, respetando el equilibrio entre conservación y desarrollo (Schmincke, citado por Orea y Cordero 2004) .

2. Régimen forestal vigente en el Ecuador

2.1. Generalidades

El Régimen Forestal está definido por la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre y por el Libro III del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria. Sus regulaciones rigen para: a) Actividades relativas a la tenencia, conservación, aprovechamiento, protección y manejo de las tierras forestales (según la clasificación agrológica las tierras forestales son los bosques naturales o cultivados y la vegetación protectora); b) Manejo de bosques naturales y cultivados, existentes en tierras de otras categorías agrológicas y de las áreas naturales y de la flora y la fauna silvestres.

2.2. Bases legales

La legislación forestal vigente en el Ecuador se fundamenta en la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, expedida el 24 de agosto de 1981; en el Libro Tres del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS); y en la Normativa para el manejo forestal sustentable para el aprovechamiento de madera (Norma 131), expedida en enero del 2001. Esta última contiene 83 artículos, en los cuales se especifica la reglamentación correspondiente para el aprovechamiento de áreas forestales de diferentes condiciones, así como los planes y programas de manejo, el

control forestal, la aplicación de tasas por aprovechamiento y circulación de productos forestales.

La Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre contiene 107 artículos y constituye la base normativa sobre la administración, el manejo, el aprovechamiento y la conservación de los recursos forestales del Ecuador.

Esta ley define los recursos forestales como patrimonio del Estado, por un lado, y como propiedad privada por otro. El patrimonio del Estado comprende las tierras de su propiedad, los bosques naturales y los cultivados por su cuenta, así como la flora y fauna silvestres (Ley Forestal, Art. 1).

Las tierras forestales en los bosques de propiedad privada se refieren a aquellas de aptitud forestal (no aptas para la explotación agropecuaria), que deben destinarse al cultivo de especies maderables y arbustivas, y a la conservación de la vegetación protectora, inclusive la herbácea (Ley Forestal, Art. 8).

Respecto del aprovechamiento comercial de los recursos forestales, establece la adjudicación de áreas que conforman el patrimonio forestal del Estado, cuyas maderas puedan emplearse como materia prima para la industria maderera, a la cual asigna básicamente la obligación de reforestarlas y de mantener el uso forestal permanente (Ley Forestal, Art. 22).

La adjudicación a favor de cooperativas y otras organizaciones de agricultores directos las obliga a realizar un aprovechamiento asociativo de los recursos forestales, así como a la reforestación y conservación (Ley Forestal, Art. 37).

El sistema de regencia forestal es uno de los mecanismos de control forestal establecidos en la Legislación Ambiental Secundaria, a través del cual el Ministerio del Ambiente delega a ingenieros forestales las labores de asistencia técnica para el manejo sustentable del recurso forestal, y control en la ejecución de planes y programas de manejo y aprovechamiento, corta, forestación, reforestación, pago por servicios ambientales, etc.

Dentro de lo que comprende la legislación forestal ecuatoriana, debe incluirse el Proyecto de Ley para la conservación y manejo sustentable de la biodiversidad, el mismo que se encuentra en discusión en el Congreso, en lo sustancial, esta ley dejaría sin efecto algunas disposiciones establecidas en la actual Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, en lo concerniente al manejo del patrimonio nacional de áreas naturales (definiría diferentes categorías para la administración de las mismas).

2.3. Sustentación técnica

2.3.1. Objetivos de la actividad forestal

En el Régimen Forestal vigente se coloca a la actividad forestal como un mecanismo para reducir la pobreza, mejorar las condiciones ambientales y fomentar el crecimiento económico, en el contexto del desarrollo sostenible; para lo cual procura impulsarla en todas sus fases (TULAS, Art. 1).

2.3.2. La producción y el aprovechamiento forestal.

Existen tres categorías de bosque factibles para el aprovechamiento forestal: bosques y vegetación protectores, bosques de producción permanente; y bosques especiales, experimentales y áreas especiales.

Estas categorías pueden sujetarse a diferentes modalidades de aprovechamiento; si el Estado no está en posibilidad de ejercer la administración directa, puede delegarla en principio a entidades públicas, pero también a personas naturales o jurídicas.

Otro mecanismo dispuesto en la ley para efectuar el aprovechamiento forestal son las licencias de aprovechamiento forestal, para bosques naturales o plantados de producción permanente, estatales o privados, con vigencia de un año. Los requisitos son: Título de propiedad, legítima posesión del predio, plan de manejo integral, programa de aprovechamiento forestal sustentable o simplificado (bosques naturales), programa de corta (plantaciones), certificado de cumplimiento de obligaciones forestales anteriores y pago del precio de la madera en pie (Falconi *et al* s.f.).

3. El cultivo de *Eucalyptus globulus*

3.1. Características generales.

Las especies de eucaliptos reconocidas en el mundo son más de 600. Éstas se ubican particularmente en Australia, al sureste del continente y en la isla de Tasmania.

El Eucalipto pertenece al reino Vegetal, a la clase Angiospermae, subclase Dicotiledónea, orden Myrtiflorae y a la Familia Myrtaceae (Producción Agrícola, citado por Rivera 2005).

El eucalipto blanco o albar (*Eucalyptus globulus*, Labill) es la especie más frecuente. Su descripción se debe a J. S. Labillardiere a partir de un espécimen recolectado en el sudeste de Tasmania en 1792.

El eucalipto aparece de forma natural en el sur de Australia (Victoria), Tasmania y las islas del estrecho de Bass. Se extiende entre las latitudes 38° 26' a 43° 30' Sur. Crece en

gran variedad de substratos pero en general no se presenta en suelos calcáreos o fuertemente alcalinos ni en zonas mal drenadas.

Estos árboles pueden alcanzar hasta 60 metros de altura, con la corteza que se desprende fácilmente en tiras en los ejemplares adultos. Sus frutos son como una cápsula campaniforme de color blanco, cubierta de un polvo blanquecino de 1,4 a 2,4 cm de diámetro. Se multiplica por semillas, es algo sensible a las sequías prolongadas y prefiere suelos ligeramente ácidos y frescos. Este árbol es también medicinal, ya que sus hojas contienen aceites que al ser destilados se destinan a las industrias químico-farmacéuticas y de confitería. En medicina popular se utilizan sus hojas en infusiones y vapores (Papelnet.cl s.f.).

La madera de eucalipto tiene cualidades técnicas que la hacen muy requerida en la industria de la celulosa y como madera propiamente. Se caracteriza por su fibra corta, cualidad que la hace atractiva en el rubro de la celulosa, donde se la utiliza en la fabricación de papeles finos. Su madera es utilizada en la producción de muebles para hogares y oficinas, y su hermosa chapa se destina al forrado (o enchapado) de tableros (Papelnet.cl s.f.).

En cuanto al volumen de producción es variable y depende de las condiciones de suelo y clima donde se haga la plantación (Papelnet. cl s.f.).

Se calcula que plantar y mantener por 7 años una ha de eucalipto cuesta 400 dólares para obtener $126 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (a 15 dólares m^3) de lo cual se obtiene $1980 \text{ dólares ha}^{-1}$, en los siete años iniciales (Washington 1997).

Una de las ventajas que existen en la utilización del cultivo del eucalipto es la escasa presencia de enfermedades y plagas que mermen su productividad. Entre las plagas que

afectan se citan el goníptero (*Gonipterus scutellatus* Gyll) y algunas enfermedades provocadas por hongos (*Botrytis cinerea*).

3.2. El Eucalipto en el Ecuador

En la mitad de siglo XIX se introdujo el *Eucalyptus globulus* en los Andes, un hecho que cambió radicalmente la actividad forestal en la región. En el Ecuador fue introducido en 1875. Y fue adoptada y adaptada a los predios campesinos de la sierra para cercos y linderos y luego se formaron bosquetes en los terrenos de las haciendas. Las plantaciones de eucalipto se extendieron cuando se cerró la importación de madera durante la segunda guerra mundial y se inició la forma industrial y comercial de explotación de eucalipto en la región andina. Desde mediados de la década de 1960 el eucalipto empezó a plantarse en terrenos sin riego, y como parte de planes de manejo silvicultural promovidos por la cooperación internacional, por ejemplo, la protección de laderas y partes altas de las cuencas hidrográficas.

La principal concentración de plantaciones se encuentra entre Quito y Latacunga, pero las plantaciones se extienden a las provincias de Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura, Loja, Pichincha y Tungurahua (FAO 2004).

4. Manejo Forestal

El manejo forestal es el conjunto de intervenciones silviculturales que se realizan en el bosque, para realizar un manejo forestal, se debe tener la idea de organizar al bosque con el fin de lograr el máximo rendimiento sostenido (Mendoza 1993, citado por Rivera 2005). El eucalipto con un manejo forestal adecuado tiene efectos positivos para el suelo y el entorno, liberando oxígeno y fijando anhídrido carbónico (MERCOSUR 1999).

Al implementar un plan de manejo forestal a todas las hectáreas de eucalipto presentes en el Ecuador las fuentes de empleo aumentarían en un número notable y sin duda alguna se evitaría con esto parte de la inmigración de los ciudadanos a otros países (Añazco 2000).

Las principales labores que se realizan en el manejo forestal son limpieza, fertilización, poda, raleo, cortas de cosecha, manejo de rebrotes y el control de incendios forestales.

4.1. Limpieza

Todos los trabajos que conlleva la plantación (limpieza previa, preparación del terreno, plantación, abonado, reposición de plántulas) pueden resultar infructuosos si no se realizan trabajos periódicos de limpieza. Estas tareas de mantenimiento deben ser planificadas adecuadamente. La plantación debe ser limpiada una o varias veces hasta que los eucaliptos dominen al matorral.

La limpieza es aconsejable realizarla por lo menos durante los 2 primeros años. Es importante saber que en los primeros años del establecimiento, las actividades agropecuarias tienen que ser enfocadas a posibilitar la sobrevivencia y crecimiento adecuado de los árboles (Carlson y Añaces 1990, citados por Rivera 2005).

El motivo primordial de efectuar limpiezas de mantenimiento es ayudar al eucalipto a competir por el espacio físico del suelo que está ocupado por las raíces de otras plantas. Las especies como escobas, gramíneas o cenizos, están preparadas para aprovechar las condiciones que se dan después de finalizar los trabajos de plantación. Tanto la planta adulta como la semilla de estas especies, compiten ventajosamente por la luz y los nutrientes del suelo con las plantas jóvenes de eucalipto (González *et al* s.f.).

La limpieza de la plantación es tanto más eficaz y económica cuanto antes se realice. En ocasiones puede ser necesario efectuarla inmediatamente al terminar de plantar, dependiendo de la época de plantación y el desarrollo de la competencia.

4.2. Fertilización

Se recomienda que la fertilización para eucalipto en los suelos ecuatorianos sea de 50 g de 18-46-0 mezclando con el suelo el momento de plantarlo, después se pueden hacer aplicaciones en hoyos en los cuatro puntos cardinales. Además, es importante tomar en cuenta que para una fertilización óptima se debe basar en el análisis de suelo (CORMADERA 2002).

4.3. Raleo

Los raleos son tratamientos de gran importancia, debiéndose realizar oportunamente, caso contrario se perjudica de sobremanera el desarrollo de la plantación o rodal. Si una masa boscosa no es raleada, o se raleó muy tardíamente, la competencia entre sus integrantes (árbol) es tal, que la mayor parte de los individuos se afectan en cuanto a su crecimiento en altura y diámetro y a veces jamás logran rehabilitarse.

Existen varios métodos para seleccionar árboles para la corta y los árboles que se quedan, siendo estos los siguientes: raleo por bajo completo, raleo por bajo incompleto, raleo por alto y raleo sistemático.

En los tres primeros casos, la base de la selección del árbol individual es el desarrollo y tamaño relativo de la copa y el cuarto caso se basa en la distribución de los árboles.

Aparte de los diferentes métodos, hay distintos grados de raleos, esto es, diferentes intensidades en la aplicación del método de raleo. Los grados son definidos por el

número de árboles cortados en el raleo o la correspondiente área basal, así: grado A: raleo muy débil; grado B: raleo débil; grado C: raleo mediano; y, grado D: raleo fuerte (Zambrano 2002).

El primer método es el raleo por bajo completo, con este tipo de raleo, se sacan los árboles pertenecientes a las clases de capas bajas. En el grado más débil se saca solamente los dominados; en el grado mediano se sacan también los intermedios y en el más fuerte solamente se quedan los dominantes y los codominantes más vigorosos.

El segundo método es el raleo por bajo incompleto, método en el cual se cortan los árboles en el nivel medio o alto de las clases de copas y diámetros. La mayor parte de los árboles cortados son intermedios y codominantes o también dominantes que interfieren en el desarrollo de los árboles prometedores, estos son los normalmente árboles dominantes y, cuando es necesario, codominantes. Este tipo de raleo favorece esencialmente los mismos árboles que el tipo anterior, pero hay dos diferencias importantes: primera, la corta es efectuada principalmente entre árboles de las clases altas, también cuando la corta es muy débil; segunda, la mayor parte de los árboles intermedios y los sanos de los árboles dominados se quedan después de cada raleo.

El tercer método es el raleo por alto, este método es completamente diferente a los dos anteriores. Con un raleo por lo alto se estimula el crecimiento de los árboles en las clases bajas, los mismos árboles que son favorecidos con raleos por lo bajo son los que se cortan en un raleo por lo alto. Es evidente, que este tipo de raleo tiene un uso limitado y si es exagerado, resulta un bosque degenerado.

El cuarto método es el raleo sistemático o mecánico, los árboles para cortar o retener en este método no son los seleccionados a base de la posición relativa de sus copas en el dosel, sino a un espaciamiento o diseño predeterminado. Los raleos sistemáticos o mecánicos son apropiados para rodales densos y uniformes que no han tenido antes raleos. Generalmente son aplicados como el primer raleo en rodales jóvenes, pero pueden ser útiles también en rodales de mayor edad con una gran proporción de árboles dominados. El raleo sistemático o mecánico es a menudo, pero no siempre, un raleo no comercial, eso es, un raleo donde no se utilizan los árboles cortados y que solamente sirve para aumentar el espaciamiento entre los árboles remanentes, en otras palabras, es una inversión en el crecimiento futuro del rodal joven.

Se distingue dos tipos de raleos sistemático o mecánico: a) raleo de espaciamiento, con este tipo método se seleccionan los árboles remanentes con un espaciamiento fijo y determinado previamente. Este método es muy útil en rodales muy densos por regeneración natural. Regularmente este tipo de raleo se realiza sólo una vez (el primer raleo) y después cuando las copas de los árboles se han diferenciado en dominantes, codominantes, intermedios, etc.; y, b) raleo por fajas o líneas, con este método se cortan los árboles o fajas o líneas a través del rodal. Se lo puede utilizar en rodales jóvenes y densos originados en plantación o regeneración natural y tiene la ventaja de facilitar el acceso para raleos siguientes.

Hay tres factores que se consideran en el desarrollo de un programa efectivo de raleos: primero, el método o métodos que hay que emplear en los diferentes períodos de rotación; segundo, el tiempo de iniciación del primer raleo y el espacio en tiempo entre los siguientes raleos y tercero, la parte del rodal que hay que dejar después de cada raleo.

Estos factores dependen uno del otro y su arreglo está subordinado a los objetivos económicos y a las condiciones naturales del rodal. La relación entre el grado del raleo y la frecuencia de ellos es muy importante, porque los raleos fuertes no se pueden repetir tan frecuentemente como los raleos débiles (Zambrano 2002).

4.4. Poda

Las podas consisten en la eliminación parcial de las ramas inferiores de los árboles, y con su aplicación se asegura la obtención de madera libre de nudos, la cual es altamente apreciada debido a su mejor calidad productiva.

Aunque por lo general no se deben podar los eucaliptos, cuando se realiza esta operación su justificación está en eliminar de la planta de 1 ó 2 años un exceso de ramas que pueden ejercer una resistencia al viento que conlleve el desarraigo o pérdida del árbol. No obstante, está suficientemente comprobado que si el sistema radicular de la planta está sano y bien formado este no debería descalzarse o tumbarse por muy malas que sean las condiciones atmosféricas. Si, por el contrario, se podan árboles con las raíces en mal estado se habrá realizado una operación inútil y costosa puesto que esos mismos árboles acabarán cayendo o inclinándose igual. La poda natural de los eucaliptos (cuando las ramas mueren y caen solas) es muy efectiva a partir del segundo año sobre todo en lugares con buenos crecimientos y densidad alta y la madera acaba perdiendo todas las trazas de nudos cuando el árbol es adulto. Incluso cuando se desea obtener madera de grandes dimensiones para otro uso que no sea el de pasta de celulosa, las podas no están indicadas, pues en este caso plantando a densidad normal (1111 plantas ha⁻¹) se favorece la poda natural que redunde en árboles libres de ramas en gran altura de los que se podrá seleccionar los mejores para dejar engordar cuando se realice la primera corta (Gozález *et al* s.f.).

4.5. Aprovechamiento

4.5.1. Edad de corta

Si el objetivo es producir la máxima cantidad de madera a largo plazo, es necesario conocer la edad de corta es la más conveniente. Para decidirlo, es necesario conocer cómo crece la cantidad de madera en una plantación a lo largo del tiempo. El crecimiento se puede representar gráficamente como una línea ascendente a lo largo de los años; en el crecimiento de una plantación de eucalipto se distinguen tres períodos; en los primeros años que siguen a la plantación el crecimiento es moderado, a continuación se produce una época de fuerte crecimiento de modo que la cantidad de madera por hectárea aumenta fuertemente cada año respecto al anterior; y, finalmente, a partir de una cierta edad, los eucaliptos siguen creciendo, pero a una menor velocidad. Estudios existentes en España sobre eucalipto indican que la edad óptima para realizar la corta oscila entre 12 y 15 años. Desde este punto de vista financiero, las edades óptimas de corta se situarían entre los 10 y los 13 años (Gozález *et al* s.f.).

4.5.2. Cosecha

La cosecha forestal consiste en la tala de los árboles adultos mediante técnicas adecuadas y personal capacitado, para hacer llegar la madera en las condiciones requeridas por la industria. Las operaciones que se incluyen en esta fase son la corta o apeo del árbol, el desrame, el tronzado, el descortezado, su apilado en monte y la saca o desembosque.

El apeo o corta es el proceso de derribo de los árboles. El corte debe ser limpio, sin dañar la corteza del tocón o cepa. La altura del corte no debe superar los 10 cm desde el suelo, tanto para aprovechar el máximo de madera como para favorecer el desarrollo y

posterior arraigo del rebrote. El apeo de los árboles debe ser planificado de tal forma que unos caigan sobre otros facilitando la operación de desramado. Existen varios métodos de apeo planificado en función de la pendiente que permite hacer más cómodas y seguras las operaciones posteriores y proporcionando mejor rendimiento. El sentido de avance del trabajo también deber determinarse antes de empezar (Gozález *et al* s.f.).

Los árboles apeados deben desramarse manteniendo la motosierra alejada del cuerpo por seguridad. Los pies deben estar separados y firmes cuando se realice el corte. Cuando la operación se realiza con la madera levantada del suelo se gana en rendimiento y seguridad, de ahí la importancia de haber hecho un apeo planificado (Gozález *et al* s.f.).

Los árboles apeados suelen convertirse en trozas de 2 o 2,5 m de largo en el mismo lugar de caída. Si se ha realizado apeo planificado es fácil desplazar las trozas resultantes hasta apilarlas en los lugares idóneos para ser recogidas después. Si no, debe hacerse manualmente, con mayor pérdida de tiempo y superior esfuerzo. En cualquier caso, las trozas deben partirse desde la base del árbol señalando (en lo posible con la cinta métrica o con una vara de la longitud indicada) el final de cada futura troza con un leve corte superficial del tronco. Posteriormente se realiza el tronzado según la posición del eucalipto en el suelo. La entrada correcta de la motosierra evitará que se quede atorada o que el árbol pueda rajarse.

Las trozas se pelan empleando hachas o cuchillos descortezadores. Lo más corriente es realizar un corte longitudinal con el hacha separando la corteza haciendo palanca con el filo y pisando la propia corteza. Haciendo palanca con el hacha se despega la corteza de la madera. Así se consigue desprender la corteza por la mitad. Es mejor realizar la operación inmediatamente después de haber apeado el árbol, pues si se espera la corteza

se adhiere a la madera a medida que el árbol se va secando, lo que dificulta la operación. En épocas de mucho frío es posible que la corteza no despegue bien de la madera, teniéndose que realizar un “labrado” de la corteza con el hacha (Gozález *et al* s.f.).

Las trozas obtenidas se juntan para facilitar su recogida posterior. Normalmente se ponen en cordones alternando los grupos de madera con los residuos del descortezado y el desrame. El último proceso del aprovechamiento forestal es la carga.

4.6. Manejo de rebrotes

Una importante característica del eucalipto es su facultad para brotar vigorosamente, en el caso de *Eucalyptus globulus* pueden obtenerse sucesivos aprovechamientos de un mismo tocón; un adecuado tratamiento de los brotes contribuye a la obtención de las siguientes cosechas.

Los brotes después del primer año de la corta crecen con una gran vigorosidad inicial debido a que están aprovechando las sustancias de reserva acumuladas en las raíces y que el árbol va a usar para rehacer lo antes posible la parte aérea perdida.

La producción en volumen de la segunda corta suele ser superior a la primera, mientras que la tercera corta parece igualar a la primera. En las cortas sucesivas se produce una progresiva disminución del volumen y calidad de la madera (20-30% menos en la cuarta corta y más del 50% en la quinta corta). Por lo general sólo en parcelas con una gran calidad de sitio y una buena plantación y mantenimiento, compensaría aprovechar una cuarta corta. A partir de la segunda corta es difícil que los brotes puedan superar en producción de madera de una nueva plantación (Gozález *et al* s.f.).

Los brotes que se dejan en el monte deben alcanzar una densidad similar a la establecida en el momento de la plantación (1111 plantas ha⁻¹). Si los pies que se cortaron ya tenían esta densidad habrá que dejar al final un único brote por pie. Si tenían menos densidad se dejarán dos brotes. Para compensar la pérdida de cepas se pueden dejar más de un brote por cepa, en aquellos que estén mas separados.

Es muy recomendable hacer la selección al año y medio de la corta, repitiendo la operación si fuera necesario a los tres años de la corta para eliminar los nuevos brotes. Esta operación hay que realizarla preferentemente con un útil cortante como un hoz, evitando el hacha pues el daño al árbol es mayor si el corte no se realiza de un solo tajo.

Los brotes que deben eliminarse son los mas cercanos al suelo dejando los que están cerca del corte pues los primeros tienden a agarrarse a la corteza mientras que los últimos lo hacen a la madera del corte. Se respetarán los mas vigorosos que no estén muy juntos y en la cara del tocón que dé el viento dominante. La época preferente para hacer la selección de brotes es en invierno, evitando las épocas húmedas y cálidas que pudieran favorecer la aparición de hongos.

4.7. Incendios forestales

Uno de los riesgos que presenta cualquier bosque o plantación forestal es la de los incendios forestales. Las causas de los incendios son diversas, si bien las más frecuentes están asociadas con actividades humanas intencionadas o no, los efectos del fuego afectan no solo a la cubierta vegetal destruyéndola, sino también dañan la estructura del suelo, consumiéndose la materia orgánica presente y facilitando posteriores procesos de erosión (Gozález *et al* s.f.).

El eucalipto es una especie bastante sensible al fuego, pese a la creencia generalizada de que no es así. La planta joven puede llegar a morir y los árboles adultos se ven muy afectados en su desarrollo y porte. Los daños se producen no solo por el contacto directo de las llamas sino por el calor desprendido, especialmente si la plantación tiene abundante matorral. Además, el fuego facilita la germinación de semillas, alterando la densidad de la plantación.

La vigilancia y la rapidez de actuación son decisivas, por ello la actuación del propietario bosque o plantación forestal puede ser una ayuda imprescindible en la prevención y extinción de incendios, debido a la proximidad y conocimiento de la plantación, de sus accesos o de la localización de puntos de agua.

Si se actúa con prontitud, antes de que el fuego adquiriera verdaderas dimensiones de incendio, se puede apagar un fuego con medios sencillos. En el caso de que el fuego se inicie, la herramienta fundamental para su extinción es el batefuegos de caucho. Esta herramienta es cómoda, barata, fácil de usar y de transportar. Resulta muy eficaz si el matorral no es muy alto, menos de 0,5 m lo que se consigue con una silvicultura de prevención adecuada.

Las pistas de acceso deben estar bien cuidadas y limpias, ya que facilitan la intervención del personal calificado, además de resultar un eficaz cortafuego. A mayor superficie de plantación más importante resulta dotarla de cortafuegos, que deberán estar completamente descubiertos de vegetación.

La limpieza del monte de eucaliptos es fundamental no solo para aumentar su crecimiento sino para evitar los efectos del fuego. El uso del herbicida no está contraindicado para la prevención de incendios. Si bien es cierto que el matorral queda

seco, la pudrición y pérdida de biomasa de este es tan alta y rápida que si le afecta un fuego después de unos pocos meses de ser tratado, el calor y humo desprendido es mucho menor que si estuviera verde. Por lo tanto los efectos del fuego son mucho menores (Gozález *et al* s.f.).

Si pese a todos los esfuerzos se ha producido un incendio en una plantación de eucaliptos, se debe proceder a recuperar cuanto antes un cultivo sano de madera en el menor tiempo posible. La madera quemada no tiene salida comercial ni industrial. Según Gozález *et al* (s.f.), para recuperar la plantación se puede proceder del siguiente modo: plantar de nuevo si la planta es muy pequeña (menos de 1 m.) y el incendio afecta a toda la plantación; si la planta tiene más de un metro es muy posible que brote, para que no tenga problemas de porte lo mejor es cortarla a la altura del suelo; cuando un árbol adulto no está afectado en sus ramas y el daño no ha traspasado la corteza es conveniente conservarlo y si las ramas y hojas han sido afectadas por el fuego o por el calor es preferible cortar el árbol y esperar el rebrote de cepa para hacer una buena selección.

4.8. Manejo sostenible y sustentable del bosque

Una de las principales características que distingue a los bosques de otros recursos naturales es que son renovables en la escala de tiempo humana. Asociado a la condición de renovabilidad del bosque se encuentra el concepto de sustentabilidad. A grandes rasgos, la sustentabilidad alude a la necesidad de procurar la satisfacción de las múltiples necesidades en relación al bosque de las generaciones actuales y venideras, manteniendo una relación armoniosa con la naturaleza. En todo caso, mucho antes de que surgiera la idea de sustentabilidad, ya se hablaba de "rendimiento sostenido" dentro del ambiente forestal. El rendimiento sostenido postula, como condición básica, que el

uso del recurso no debe atentar contra su existencia. Por lo que un manejo sustentable y sostenible nos permite establecer, incrementar, conservar y aprovechar nuestros recursos forestales (COPESA s.f.).

5. Comercio forestal

5.1. Uso del Eucalipto

Mundialmente la producción de las plantaciones de eucalipto está dividida aproximadamente en: leña o madera para pulpa, postes y productos de madera en rollo de mejor calidad, madera aserrada (FAO, 1999, citado por Orea y Cordero 2004).

La producción mundial de pasta a partir de especies de eucaliptos es muy superior a 1 millón de toneladas anuales. Se producen pastas para todos los tipos de papel, los mayores productores son Australia, Portugal, y Brasil que actualmente está mostrando un gran despegue en este sentido (Hillis, 1984, citado por Orea y Cordero 2004). Aparte de la pasta para papel, la madera de eucaliptos puede ser usada para la producción de pasta soluble para su ulterior elaboración en viscosa o en películas o filamentos de acetato. El eucalipto produce por lo general una buena cantidad de pulpa, de buena fibra y resistencia moderada, considerando esta madera como buena para la producción de papel (CATIE, 1991, citado por Orea y Cordero 2004).

También el eucalipto es utilizado como ornamental o como especie para sombra. Produce abundante néctar y polen para la producción de miel. De la corteza del árbol se extraen taninos entre un 5 -11 % (Hillis, 1984, citado por Orea y Cordero 2004), sus hojas poseen aceites esenciales muy empleados en la industria farmacéutica y la cosmética, también es recomendado para la obtención de chapas y contrachapado, así como parquet y cajones para frutas.

5.2. Certificación

El mercado internacional se ha convertido en uno de los principales promotores del manejo sostenible de bosques a través de la certificación del bosque. En la actualidad, el lugar de origen de la madera se ha convertido en un factor determinante de compra. La madera proveniente de bosques no sostenibles encontrará cada vez menos cabida en el mercado internacional. Las campañas masivas de concientización ecológica promueven el uso de madera certificada.

El Forest Stewardship Council (FSC) o Consejo de Manejo Forestal es una organización internacional, que tiene un sistema respetado y una etiqueta de producto reconocida para promover el manejo responsable de los bosques del mundo. El FSC es una organización internacional de miembros, no lucrativa, que convoca a distintos grupos de gente para participar en la solución de los problemas creados por malas prácticas forestales y recompensar el buen manejo forestal.

El certificado con mayor reconocimiento internacional es el FSC, que garantiza que la madera proviene de un bosque de manejo sostenible y que durante el proceso productivo la madera “certificada” no ha sido mezclada con madera no certificada. Es decir, el FSC garantiza toda la cadena de custodia, desde el bosque hasta el producto terminado (CORPEI 2003).

En los últimos diez años, 50 millones de ha en mas de 60 países han sido certificados de acuerdo a los estándares del FSC al tiempo que miles de productos se producen usando madera certificada FSC y llevan las marcas registradas FSC. El FSC opera a través de una red de trabajo de Iniciativas Nacionales en más de 34 países (FSC 2006).

5.3. Servicios económico-ambientales del bosque

Un servicio ambiental de gran relevancia en el orden global que brinda la vegetación del bosque consiste en producir oxígeno mediante el proceso de fotosíntesis, por medio del cual el dióxido de carbono (CO_2) que absorben las plantas verdes es fijado como biomasa orgánica. De tal forma, la concentración excesiva de dióxido de carbono se reduce y, por lo tanto, disminuye el efecto invernadero, cuyas consecuencias económicas y humanas pueden ser incalculables. A pesar de que este servicio beneficia a la comunidad local, nacional e internacional, su pago es generalmente más aceptado por países industrializados (con la importante excepción del mayor contaminante en el mundo, esto es los Estados Unidos de Norteamérica), pues son los que más contribuyen a aumentar el riesgo del efecto invernadero y son, los signatarios del Protocolo de Kioto (Izko y Burneo 2003).

El bosque fija el carbono en su biomasa y en el suelo, evacua grandes porcentajes de carbono en las aguas de escorrentía y vuelve más lenta la oxidación biológica del carbono que se encuentra dentro y sobre la superficie del suelo (Burneo y Albán, 2001; citado por Izko y Burneo 2003).

En el Protocolo de Kioto se prevén tres mecanismos de implementación cooperativa que los países industrializados signatarios pueden usar para complementar sus acciones domésticas relacionadas con los compromisos adquiridos para reducción de la emisión de gases que causan el efecto invernadero (GEI): 1) Implementación Conjunta (Joint Implementation) que es un enfoque basado en proyectos que faculta a países industrializados a financiar programas de reducción de GEI en otros países del Anexo I, para recibir a cambio Unidades de Reducción de Emisiones (Emissions Reduction Units, ERU) respaldadas por las emisiones no realizadas por el otro país, 2) Mecanismo

de Desarrollo Limpio (Clean Development Mechanism, CDM) que permite a países desarrollados acumular Certificados de Reducción de Emisiones (Certify Emmission Reduction Units, CERs) en retorno al financiamiento de proyectos que incluyan actividades de reducción de carbono en países en vías de desarrollo y que coadyuven al desarrollo sostenible de dichas naciones y 3) Negociación de Emisiones Internacionales (International Emission Trading, IET) que faculta a los países industrializados signatarios del Protocolo de Kioto a negociar la reducción de emisiones de GEI para complementar los compromisos adquiridos, por lo que los países que reduzcan sus emisiones más allá de la cuota acordada en el Protocolo podrán vender a los países que han emitido en exceso de la cuota (Totten, 1999; citado por Izko y Burneo 2003).

5.4. Comercio maderero y exportación del Eucalipto

La actividad industrial maderera tiene alrededor de 70 años de historia en el Ecuador y actualmente es uno de los sectores productivos con mayor potencial de desarrollo y crecimiento (AIMA, 2006).

La actividad forestal y maderera contribuye al empleo con aproximadamente 200.000 puestos directos de trabajo en labores del bosque, industria, pequeña industria y artesanía, lo que representa el 5,6% de la población económicamente activa. Se estima además que alrededor de 100.000 personas dependen indirectamente de este sector. La contribución al PIB es de 1,7% (AIMA, 2006).

El promedio de las exportaciones en el período 1995 a 1999 ha sido alrededor de US\$ 100 millones, correspondiente a madera bruta y astillas el 30% del total de las exportaciones, tableros contrachapados 27%, madera de balsa 19%, tableros aglomerados 5% , tableros de fibra 4%, molduras 3%, chapas 3% y muebles 2%, las

demás manufacturas de madera el 7%. El sector ocupa el séptimo lugar de la oferta exportable del país (AIMA, 2006).

A partir de 1992, la exportación del eucalipto ecuatoriano fue sistemática; dos empresas en particular se encargaron de esta actividad, la empresa ecuatoriana Alpaca y la chilena estadounidense Expoforestal. Alpaca realiza sus plantaciones en la sierra ecuatoriana y Expoforestal se dedica principalmente a comprar el eucalipto plantado en diferentes lugares de la sierra para llevarlo al puerto de Esmeraldas en donde es convertido en "chips" - astillas- destinadas a la exportación. En el año 2000 se constituye Eucalyptus Pacífico S.A. EUCAPACIFIC para realizar un gran proyecto de plantaciones de eucalipto en la Costa del Ecuador, sociedad formada por capitales transnacionales (Acción Ecológica, 2001).

En el 2001 las toneladas métricas de astillas (chips) de eucalipto fueron de 187.154 mientras que el punto mínimo de exportación fue de 34.346 toneladas métricas en 1998. La madera chapada, contrachapada y estratificadas han mostrado valores relativamente constantes ubicando su máximo valor en 51.457 toneladas métricas en el año 2000 y su mínimo en 26.513 toneladas métricas en el 2002 (CORPEI 2003).

6. Inventario Forestal

El inventario forestal consiste en extraer información de un bosque para saber como aprovecharlo, es como una radiografía del bosque, un resumen de su situación en un tiempo dado. Se trata de relevar una serie de cualidades de los árboles y el ambiente en determinados puntos del bosque (sitios o parcelas) considerados representativos según los objetivos del inventario. El objetivo es ubicar el recurso forestal y diferenciar las categorías de bosque. El inventario forestal dará lugar a un Plan de Ordenación, donde

se planificará y organizará la producción forestal conforme a leyes económicas, sin ir en detrimento de las biológicas (Inventario Forestal s.f.).

6.1. Definición

Un inventario forestal es un procedimiento útil para obtener información necesaria para la toma de decisiones sobre el manejo y aprovechamiento forestal. (Villacís 2004). La información obtenida en un inventario forestal, es sometida a un análisis, que posteriormente se usará para escoger un plan eficiente de acciones a llevar a cabo en la plantación o bosque, tanto en el manejo de la masa arbolada, como en la administración de la misma. La cantidad y calidad de información que se colecta en un inventario forestal es regularmente muy variada y depende especialmente del objetivo que se pretende alcanzar.

Sin embargo, todo inventario de recursos forestales debe recabar cinco tipos de información: área de bosques, localización y distribución por tipo de bosque, cantidad de recursos existentes, calidad de los recursos y como cambiar estos en el tiempo (Villacís 2004).

Para la ejecución de un inventario el profesional forestal a incorporado principios y técnicas perfeccionadas por otras disciplinas, como por ejemplo, cartografía, topografía, estadística, manejo de personal, etc.

6.2. Planificación

Toda actividad que realiza el ser humano debe planificarse, con la planificación se define los elementos que determinan la característica del inventario forestal, los costos e incluso los posibles resultados con el nivel necesario de precisión.

El objetivo de la planificación en la evaluación forestal es definir, para cada una de las fases del inventario, un procedimiento de ejecución lógico, sensato y eficiente que permita obtener la información requerida al menor costo y con un mínimo de error posible (Villacís 2004).

No existe un procedimiento estricto para realizar un inventario forestal. El diseño es muy variable y va a depender del tipo de bosque, del tiempo, de la información que va a obtener y de los recursos económicos disponibles. Por lo tanto los pasos básicos que se deben seguir son: identificar para quien se hace el inventario, definir y clarificar el objetivo del inventario, establecer que información debe incluirse en el informe final del inventario, definir las variables a medir en el campo, recopilar información general y legal sobre el bosque que se va a evaluar, identificar y recopilar información referente al área de trabajo, identificar la población y establecer el marco de muestreo, definir el diseño de muestreo, escribir un manual de procedimiento de campo, escribir un manual de procedimiento de trabajo en oficina, definir los aspectos relacionados con el informe final y preparar un plan de trabajo detallado.

6.3. Problemas y errores

Dentro de la planificación se cometen errores como: la falta de correspondencia entre el tipo de inventario y el diseño, intensidades bajas, análisis inadecuados, errores en las fórmulas, criterios estadísticos mal aplicados; mediciones mal tomadas o deficientes y falta de equipo y personal capacitado. Estos errores dan como resultado una mala planificación y por lo tanto un inventario poco exitoso. Dentro de los problemas mas comunes se encuentra la falta de información general sobre el área de trabajo; mapas, hojas cartográficas, fotografías e imágenes desactualizadas; equipo en mal estado o falta de equipo; falta de personal local, por lo que se recurre a personas sin experiencia y por

lo tanto con poco interés en el trabajo; logística inadecuada que no motivan al personal a trabajar adecuadamente; salarios, garantías y trato inadecuado. Es necesario tomar en cuenta todos estos problemas y errores ya que de esto dependerá la eficacia del inventario que se realice (Villacís 2004).

6.4. Información cartográfica

No es posible estudiar, manejar o aprovechar bien un bosque si no se lo ha localizado y medido (Villacís, 2004). En el manejo forestal es importante medir y calcular el área del bosque antes de empezar la planificación del manejo y el inventario general y también es importante realizar esta actividad antes de la planificación del aprovechamiento, cuando ya se ha decidido cuándo y dónde se va a cosechar cada año.

La información cartográfica es de vital importancia para la realización de cualquier inventario forestal. Esta información puede ser en la forma de fotografías aéreas, mapas, ortofotos, o incluso en forma más sofisticada como en coberturas de un sistema de información geográfica. La información cartográfica permite identificar la superficie a evaluar, permite hacer operativo el esquema de muestreo que se haya seleccionado y sobre todo, establece la escala a la cual es necesario extrapolar los resultados del muestreo que se haya realizado.

Generalmente la información cartográfica de interés es un mapa forestal en el que se delimite la plantación y se muestren las áreas plantadas, aquellas con arbolado maduro, áreas de protección y aquellas no arboladas o con usos diversos; también que distinga caminos, otras vías de acceso, ríos o cualquier otro elemento de la topografía que permita ser usado como límite o frontera dentro del bosque o la plantación y que pueda

ser reconocido fácilmente como punto de referencia, tanto en el terreno como en fotografías o mapas.

La información cartográfica se puede obtener tanto de forma directa como de forma indirecta. La obtención de forma directa es a través del levantamiento del área con brújula y cinta, levantamiento con teodolito y estadía, levantamiento con unidades de GPS (sistema de posicionamiento global) y utilizando sensores remotos como fotografías aéreas (corregidas y restituidas) e imágenes de satélite, con base en planos o mapas.

A pesar de toda la tecnología disponible, evidentemente tiene un costo, el mismo que no es posible cubrir al evaluar una plantación o bosque pequeño; que al no contar con un mapa o al menos con un croquis de la misma, se debe evaluar la superficie en forma indirecta durante la evaluación de la plantación y consiste en definir sitios de muestreo en forma sistemática a lo largo de la plantación, de manera que durante la misma ubicación de los sitios se obtiene información sobre sus límites (Torres y Magaña 2001).

6.5. Elementos de Muestreo

Para considerar los diferentes conceptos de muestreo, es indispensable realizar una breve revisión de la teoría estadística involucrada en ellos.

6.5.1. Bases estadísticas

La descripción de los elementos estadísticos básicos ayudan a comprender las formulas derivadas para cada diseño de muestreo, las distribuciones de variables aleatorias, conceptos básicos de inferencia estadística y definiciones de muestreo elemental.

6.5.1.1. Distribuciones de variables aleatorias

Una plantación es una población de árboles con determinadas características. Cada una de estas características se denomina variable y cada una de ellas representa una población específica, por ejemplo, la población de los diámetros, alturas. Caracterizar cada variable de la población de árboles resulta una tarea complicada, sobre todo si la población de árboles es muy grande. Cada árbol representa un conjunto de variables, llámese diámetro, altura, volumen, incremento o salud, entre otras. El muestreo de una plantación consiste en tomar información sobre variables dasométricas y muchas otras más. La idea básica es que a partir de la evaluación de una parte de la población, denominada muestra, se puede inferir, sobre las características de la población. Si el muestreo se realiza a través de un mecanismo aleatorio entonces cada una de las medidas que se obtiene puede ser considerado una variable aleatoria.

6.5.1.2. Inferencias estadísticas

Es el procedimiento a través del cual se puede derivar conclusiones de los datos obtenidos de una población, o bien del proceso a partir del cual se pueden derivar tales datos. En general la inferencia estadística se puede clasificar en dos grupos: la inferencia clásica y la inferencia Bayesiana.

Inferencia estadística clásica se basa en dos premisas importantes: primero, la muestra de datos está constituida solo de información relevante y segundo, todos los procedimientos de evaluación se realizan bajo el supuesto de comportamientos de largo plazo y bajo circunstancias similares. La inferencia estadística clásica se discute bajo

tres rubros de interés: la estimación puntual, la estimación por intervalo y las pruebas de hipótesis.

6.5.1.3. Terminología en muestreo

La idea básica en cualquier problema de muestreo es la existencia de una población identificada por unas unidades con una o más características en común. Por tanto, cada unidad esta representada por elementos que denotan igualmente alguna característica en particular o bien conjunto de valores que representan varias características. Así por ejemplo, una población puede estar representada por todos los sitios o parcelas de muestreo que pueden localizarse en una plantación, mientras que cada unidad puede estar representada por cada sitio de muestreo. Los volúmenes de madera de cada sitio (volumen total) pueden formar otra población, o bien cualquier otra variable que identifique a cada sitio (altura, diámetro o incremento promedio entre otros) (Torres y Magaña 2001).

Las características de una población son constantes que usualmente se denominan parámetros. El objetivo de cualquier muestreo es estimar algún parámetro de la población o bien una función de estos a fin de poder caracterizar a la población sin necesidad de evaluarla completamente. Si las muestras o unidades maestras (parcelas) se seleccionan aleatoriamente, entonces sus valores promedios o sus valores totales también constituyen una variable aleatoria que tiene alguna distribución particular.

La elección de una muestra es un elemento crucial para considerar a la característica de interés en la evaluación como una variable aleatoria. De este modo, si la muestra se elige selectivamente la característica de interés se consideraría una variable que no es aleatoria, esto es, su valor no es independiente del que puede tomar otra muestra.

6.5.2. Muestreo simple al azar

La idea fundamental del muestreo simple aleatorio, es que cada una de las posibles combinaciones de unidades muestrales tiene la misma posibilidad de ser seleccionado. El muestreo simple al azar requiere conocer el número de unidades muestrales en todo el espacio muestral, esto es, el número total de parcelas de muestreo que puedan ubicarse dentro de la plantación. Esto implica conocer la superficie de la plantación y con un croquis o plano detallado de la misma. Un segundo requisito es que para calcular el tamaño de muestra es necesario identificar una variable de interés. Esta variable es la que define las características del muestreo.

6.5.3. Muestreo estratificado al azar

Este muestreo toma ventaja de la información que se tiene de la población. Aquí las unidades de muestreo se agrupan por alguna característica en común. Regularmente en plantaciones, la agrupación se hace por edad de plantación, densidad de plantación, o bien alguna otra variable como sistema, o método de plantación. En este caso, se levanta muestra en cada grupo (o estrato) y posteriormente se combinan las estimaciones por grupo para proporcionar el estimador del parámetro interés de la población (Torres y Magaña 2001).

La muestra se selecciona de forma aleatoria para cada estrato de forma similar a la señalada por el muestreo simple al azar. Cada estrato se considera un subconjunto

independiente de toda la población y en cada uno de ellos se seleccionan las unidades de muestreo.

Para calcular el tamaño de la muestra en un muestreo estratificado es necesario en primer lugar definir la magnitud del error estándar deseado para la media muestral (E), en segundo lugar estimar la varianza (s^2), la desviación estándar (s) dentro del estrato, en tercer lugar definir el método de distribución de la muestra en cada estrato. Existen tres formas de distribución de la muestra: la distribución proporcional en la que la proporción de la muestra en cada estrato se hace igual a la proporción de todas las unidades en la población, la distribución óptima en donde la muestra se distribuye en forma tal que se obtenga el error estándar más pequeño posible con un número total de n observaciones; y, finalmente la distribución óptima con costos variables por estrato, permite la distribución de sitios considerando costos lo que implica que los sitios se distribuyan en forma eficiente para minimizar variación y minimizar costos, en último lugar calcular el tamaño del muestreo de acuerdo con el tipo de distribución de muestra elegido.

6.5.4. Métodos de muestreo no aleatorio

Este tipo de muestreo es frecuentemente usado en dasonomía y en particular para evaluar plantaciones. Su importancia radica en que en el campo suele ser complicado localizar apropiadamente los sitios de muestreo seleccionados en forma aleatoria, ya sea por lo accidentado del terreno, por deficiencias en el material cartográfico, o frecuentemente por la inexperiencia de los técnicos (Torres y Magaña 2001).

6.5.4.1. Muestreo sistemático

En un muestreo sistemático las unidades de muestreo (sitios o parcelas) no se seleccionan de forma aleatoria si no de acuerdo a un patrón predeterminado. Este tipo de muestreo tiene la ventaja de distribuir la muestra en toda la población, de tal forma que resulta difícil que la muestra solo se localice en algunas partes de la población. El problema de un muestreo sistemático es que puedan presentarse patrones en la población que coincidan con los patrones de selección de la muestra (Torres y Magaña 2001).

6.5.4.2. Muestreo selectivo

El muestreo selectivo consiste en identificar una condición determinada para cada sitio o parcelas de muestreo. La ubicación selectiva de sitios o parcelas generalmente tiene objetivos bien definidos y por lo tanto la inferencia es totalmente dependiente de las condiciones en que se selecciona la muestra. Dado que el muestreo es totalmente dirigido, el tamaño de las parcelas es muy variable y debe obedecer a los objetivos tanto de la selección como de las variables que se deseen evaluar.

6.5.5. Otras técnicas de muestreo

Otros tipos de muestreo usadas en dasonomía incluyen el muestreo multietápico, el muestreo por conglomerados, el muestreo de probabilidad variable (probabilidad proporcional a la predicción) o el muestreo con tamaño de sitio variable. La mayor parte de ellos han sido desarrollados a fin de reducir el tamaño de muestra y conservar altos niveles de precisión. Sin embargo, estos tipos de muestreo son raramente usados en la evaluación de plantaciones forestales (Birdsey y Schreuder, 1992. citado por Torres y Magaña 2001).

6.6. Tipos de inventarios forestales

Los inventarios se clasifican según Malleux (1982), citado por Villacís (2004), por el método estadístico y por el objetivo que persiguen. La clasificación según objetivo considera los siguientes tipos: Inventario exploratorio, inventario para manejo de bosques naturales, inventarios para aprovechamiento forestal; y, inventarios para manejo de plantaciones.

6.6.1. Inventario exploratorio

Tienen como objeto recolectar información básica para la evaluación y monitoreo del bosque a gran escala y de interés gubernamental, o bien para estudios de factibilidad de empresas forestales. Estos inventarios son de baja a mediana intensidad de muestreo (0.1 % a 2 %). La información que se recolecta tanto para bosques naturales como para plantaciones se centra en el área del bosque, su localización por tipos y cantidad y calidad de productos que contiene (Villacís 2004).

6.6.2. Inventario para manejo de bosques naturales

Este tipo de inventario da énfasis a la estimación del crecimiento y mortalidad de la masa forestal, busca determinar los valores de los criterios silvícolas (especies por cosechar y conservar, diámetro mínimo de corta DMC, ciclo de corta CC, intensidad de corta IC; y, posibilidad silvícola PS) que se debe aplicar durante el proceso de manejos y principalmente durante las cosechas. Para este inventario general se realiza un muestreo utilizando una intensidad moderada, o bien con resultados de error de muestreo fijado, por lo general, en $< 20\%$ sobre alguna variable determinada (Villacís 2004).

6.6.3. Inventario para aprovechamiento forestal

Inventario que pone énfasis en recolectar información exacta (con el mínimo error) y al más bajo costo posible sobre: topografía detallada del terreno, calculo del área efectiva de aprovechamiento y de las zonas de protección, localización de rutas de transporte e información sobre la ubicación, cantidad, tamaño y calidad de los productos que se quiere aprovechar. Estos inventarios, tanto en bosques naturales como en plantaciones, se hacen sobre áreas definidas de corta. Muchos de ellos son inventarios al 100%, o censos; también se los conoce con el nombre de inventarios de existencia, censo comercial, inventario pie a pie, inventario total o inventario de plantación (Villacís 2004).

6.6.4. Inventario para manejo de plantaciones

Este inventario recopila información del área por tipos de rodales, calidad de sitio (IS), densidad de la plantación, edad y distribución diamétrica de los árboles clasificados según estado sanitario, calidad y tipos de productos que se esperan obtener. La información requerida se dirige principalmente a identificar la necesidad de podas y raleos, y a conocer la cantidad y calidad de productos en la plantación (Villacís 2004).

6.7. Medición forestal

La medición forestal abarca una serie de principios aplicables en todos los aspectos del bosque o plantación. La medición de variables básicas en plantaciones provee al administrador de la misma, con información cuantitativa que es necesaria para la buena plantación y manejo, sin embargo, la medición extensiva de la plantación es muy costosa. Por lo anterior es necesario el desarrollar métodos precisos para tomar mediciones, que sean sencillas de aplicar, que impliquen bajo costo y de las cuales se puedan derivar estimaciones para la plantación.

Schrudere *et al.* (1993. citado por Torres, Magaña 2001.), define el termino medición como la determinación de tamaño en relación con un estándar observado. Para que una medición sea confiable, debe de ser cuidadosamente tomada y de una forma estadística aceptable. Por eso antes de una medición es importante definir claramente el problema y establecer que se necesita medir, explorar diferentes formas de hacer la medición, diseñar las técnicas de medición y muestreo; y, probar las técnicas en el campo, verificando que sean eficaces y eficientes.

6.7.1. Medición de características individuales

De manera general, un árbol se puede dividir en tres partes: tronco, copa y raíces, cada una de las cuales puede ser medida con mayor o menor detalle dependiendo del objetivo de la medición.

6.7.1.1. Medición de diámetros

Es conocido que el diámetro de un árbol disminuye conforme se acerca a la punta del mismo. La convención universal es medir el diámetro a una altura sobre el suelo llamada “altura de pecho” que es a 1,3 metros. Otros países que usan esta medida son: los países del continente europeo, el Reino Unido, Australia, México, y los países latinoamericanos, por otro lado, países como Estados Unidos, Nueva Zelanda, Burma, India , Malacia y Sudáfrica (citado por Torres y Magaña 2001) .

Las tres fuentes posible de error al medir diámetros son provocados por el árbol, el instrumento de medición o por la persona que toma el dato. Los instrumentos mas frecuentemente usados para medir el diámetro de un árbol en pie son la forcípula y la cinta diamétrica.

Los errores vinculados con el árbol se relacionan principalmente a su forma; los errores relacionados con el instrumento de medición dependen del material con que están fabricadas así, en las cintas diamétricas metálicas el error es imperceptible, en las cintas hechas con tela o fibra de vidrio, puede existir cierto error dependiendo del uso continuo y del estiramiento al que son sometidas, este error se puede evitar verificando las cintas contra una medida estándar y en el caso de las forcípulas están sujetas a tener mas errores que las cintas ya que se pueden dañar fácilmente (Torres y Magaña 2001).

6.7.1.2. Medición de altura

La altura de árbol se define como la distancia vertical del suelo a la punta más alta del árbol (Empire Forestry Association, 1953, citado por Torres y Magaña 2001). La altura de los árboles es una variable de fundamental importancia porque es usada para describir tanto la cantidad como la calidad de crecimiento de los árboles de un bosque o una plantación. La altura de los árboles puede ser medida mediante métodos directos e indirectos. Los métodos directos son los más precisos y exactos pero no son usados por sus costos y poco prácticos.

Los métodos directos más usados son: trepar hasta la punta del árbol y medirlo con una cinta y el uso de postes graduados. Este último método es el más práctico para medir árboles de pequeña altura (Schreuder, 1993, citado por Torres y Magaña 2001).

Los métodos indirectos son los más usados en mediciones forestales debido a las limitantes que presentan en la práctica los métodos directos. Los instrumentos de medición están basados en principios geométricos o trigonométricos. Actualmente, los instrumentos basados en principios geométricos han sido desplazados por los trigonométricos por su baja exactitud.

La altura de los árboles se puede medir con cualquier aparato que permita medir ángulos verticales o pendientes, entre los instrumentos más comunes para la medición de altura se encuentran: el clinómetro sunto, clinómetro electrónico, hipsómetro, pistola de Blume-Leiss, el relascopio y la pistola Haga (Torres y Magaña 2001).

Un problema potencial que se tiene al medir la altura de un árbol es que no se toma en cuenta la inclinación del mismo (Schreuder, *et al.* 1993, citado por Torres y Magaña 2001).

6.7.1.3. Medición de área basal

Una de las más simples medidas de densidad del rodal es el área basal. El símbolo internacional para el área basal es G. El área basal del rodal es usada ampliamente por los técnicos forestales para evaluar de una forma cuantitativa el grado de densidad de un rodal y el nivel de utilización del sitio que se tiene. Su evaluación es importante ya que, dentro de sus límites entre más espacio tenga un árbol para crecer, más rápidamente crecerá. Por ello, el papel del responsable de una plantación será el de regular la densidad a través del espaciamiento inicial, aclareos y otras prácticas silvícolas.

6.7.1.4. Medición de copa

Las funciones de la copa de un árbol son el exponer sus hojas a la energía radiante de la forma más eficiente, para la fotosíntesis y proveer al árbol nuevas hojas. El tamaño de la copa tiene un marcado efecto, y gran correlación, con el crecimiento del árbol y cada una de las partes.

El diámetro de la copa es el parámetro más comúnmente medido. Al igual que pasa con el diámetro del árbol se pueden tener problemas al medirlo debido a que su forma no es

exactamente circular. Se mide directamente mediante la proyección vertical al suelo de los dos lados opuestos del árbol, marcándolos en el terreno y midiendo la distancia que hay entre estos dos puntos de manera directa con una cinta. Esta medición se puede repetir más de una vez, dependiendo de que tan irregular sea la forma de la copa. Una vez que se tiene todas las mediciones, estas se suman y el resultado se promedia.

Los diámetros de copa pueden ser también calculados de manera directa mediante el uso de fotografías aéreas, aunque aquí la precisión del cálculo dependerá de la escala de la foto, la resolución del film, el ángulo con que fue tomada la foto y la experiencia del fotointérprete.

Las mediciones de los diámetros de las copas de un rodal sirven para conocer el factor de competencia de copas, que es una medida de la densidad del rodal. Este factor es potencialmente útil en estudios de crecimiento y para el cálculo de cosecha, debido a que es un valor independiente de la edad y del sitio (Krajicek *et al* , citado por Torres y Magaña, 2001).

6.7.2. Medición de variables en el tiempo

Duncan y Kalton , citados por Torres y Magaña (2001) discutieron acerca de diseños de muestreo alternativos para estimar una serie de objetivos en el muestreo de poblaciones en el tiempo. Ellos llamaron a estos diseños encuestas de panel repetido, panel rotativo y panel separado. Schreuder *et al*, citado por Torres y Magaña (2001), los denominaron con muestreo con reemplazo completo (CR_p), remediación completa (CR_m) y con reemplazos parciales (SPR) respectivamente. Además de que se toman en cuenta combinaciones de muestreo CR_m con CR_p o con SPR.

La dimensión del tiempo es importante debido a que las características de las unidades en la población pueden cambiar en el tiempo, así como pueden cambiar la población.

6.7.3. Parcelas de muestreo permanente

El administrador de una plantación requiere de predicciones del crecimiento y rendimiento con objeto de comparar diferentes regímenes silvícolas, seleccionar el más adecuado y estimar su rendimiento en el largo plazo. Cuando la plantación no es comercial también resulta de interés monitorear alguna o algunas variables que permitan evaluar el logro de los objetivos definidos en estas plantaciones (Torres y Magaña 2001).

En el caso de las plantaciones comerciales es común establecer parcelas de muestreo permanente para evaluar la dinámica de la plantación, las mismas que sean divididas en parcelas de monitoreo y parcelas experimentales (Torres y Magaña 2001).

6.7.3.1. Parcelas de monitoreo

Las parcelas del monitoreo se establecen para dar seguimiento al desarrollo de la plantación. Estas se establecen de acuerdo al tipo de investigación que se desea realizar. El monitoreo de las condiciones de la parcela puede hacerse tan simple o complicado como se desee. Siempre es importante definir el objetivo del monitoreo a fin de determinar las variables de importancia que deben ser monitoreadas y reducir los costos de medición y remediación de las parcelas. El tamaño, dimensión y localización del sitio también debe estar estrechamente ligados con los objetivos del monitoreo (Torres y Magaña 2001).

Los sitios permanentes de monitoreo proporcionan información para la construcción y validación de modelos de crecimiento, modelo de rendimiento de recursos asociados y funciones de producción de productos derivados, entre otros (Torres y Magaña 2001).

6.7.3.2. Parcelas experimentales

La ubicación, forma y tamaño de estas parcelas es similar a las indicadas para las parcelas de monitoreo. El análisis de experimentos bien diseñados pueden proporcionar información suficiente para: formular hipótesis sobre el crecimiento de arbolado, aumentar la base de datos para construir un modelo de crecimiento; y, validar los modelos de predicción o simulación existentes (Torres y Magaña 2001).

6.7.3.3. Remediciones

La frecuencia de remediación del sitio de monitoreo depende de la variable que esté monitoreando, por ejemplo, monitoreo de sobrevivencia, es conveniente realizarlo al menos anualmente durante los primeros tres años de establecimiento y posteriormente se puede realizar cada tres años, hasta que se considere que la plantación esté totalmente establecida; monitoreo de crecimiento, en plantaciones de Chile y Nueva Zelanda este monitoreo se lleva anualmente y para el caso de parcela experimentales donde se prueban podas, raleos o fertilizaciones, el monitoreo se hace cada tres a cuatro meses por el lapso de tiempo en que se estima se obtiene en mayor efecto del tratamiento aplicado; y, monitoreo de desarrollo de recursos asociados, depende de las variables de interés, es recomendable realizar el monitoreo cada cinco años, el monitoreo de fauna cada tres a cinco años, y el monitoreo de dinámica del sotobosque cada tres a cinco años (Torres y Magaña 2001).

La periodicidad de remediación de cada variable depende del tiempo en que se estime que dicha variable cambiará en el grado de precisión que se busque, que sea medible en la práctica y que tal efecto sea independiente de los factores no controlados en las observaciones (Scheuder *et al* 1993, citado por Torres y Magaña 2001).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

1. MATERIALES Y EQUIPOS

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos: marcadores, placas, GPS Magellan, cinta métrica, clinómetro metálico y electrónico, brújulas, piola, machetes, software topográfico, mapa topográfico, materiales de escritorio.

2. MÉTODOS

2.1. Descripción del área en estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el bosque ubicado en la parte alta de la hacienda El Prado. La hacienda se encuentra ubicada en el Ecuador, provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, parroquia San Fernando a $78^{\circ} 24' 44''$ (O) y $0^{\circ} 23' 20''$ (S) y presenta una altitud de 2748 m (Pozo, *et al* 2003). Arce (2005), señala que las lluvias en el sector tienen un régimen bimodal, el período lluvioso se presenta en octubre y mayo, existiendo además un déficit hídrico en julio y agosto.

3. METODOLOGÍA Y OPERACIONALIZACIÓN DE OBJETIVOS

3.1. Cálculo de la superficie (área) que ocupa la parte alta del bosque de *Eucalyptus globulus*

Para efectuar este trabajo se utilizó un mapa base de la hacienda El Prado (I.G.M. 1994) a escala 1:5000 (Figura 1), al cual se lo rasterizó y luego se procedió a vectorizarlo con el fin de obtener la altimetría del área en estudio.

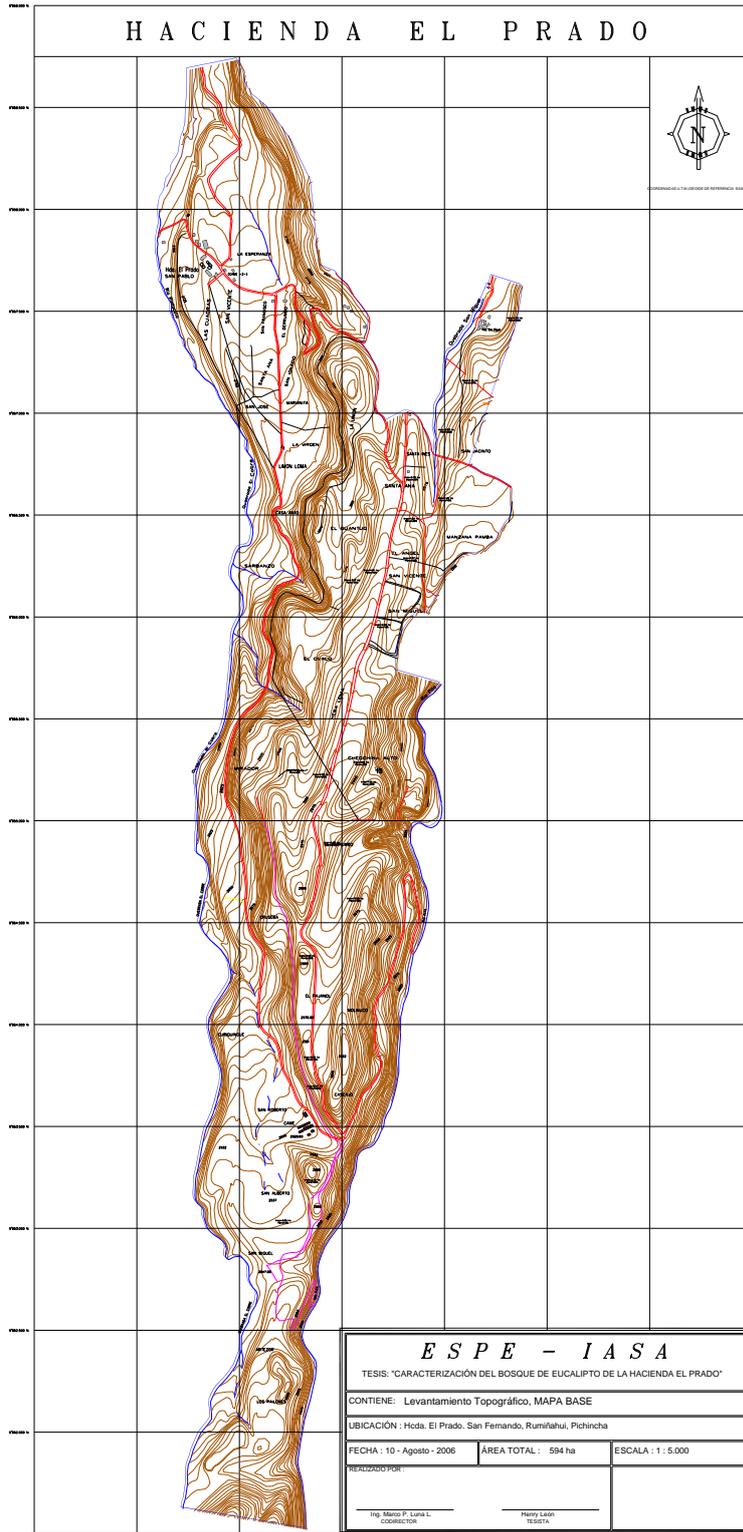


Figura 1. Mapa base de la hacienda El Prado

Para conseguir georeferenciar la zona se procedió a tomar datos del perímetro del bosque (obtener las coordenadas UTM) con un receptor G.P.S. Magellan; con precisión de ± 3 metros.

Los datos recolectados tomados tanto de vectorización, como puntos del perímetro y parcelas se procesaron en el software AUTOCAD, para el cálculo preciso de áreas, pendientes y mapa en general.

En este software se procedió a calcular el área total del bosque en estudio así como también permitió determinar las áreas con pendiente leve (0 – 20%), moderada (20% – 40%) y pendiente fuerte (mayor a 40%) (Figura 2). Posteriormente se procedió a la edición del mapa, colocando toda la información pertinente como: escala gráfica, escala numérica, norte, fecha de realización, ubicación, áreas parciales, áreas totales y detalles como color, capas, etc.

3.2. Inventario forestal de la parte alta del bosque de *Eucalyptus globulus*

Para realizar el inventario de la parte alta del bosque adulto de *Eucalyptus globulus* de la hacienda El Prado se utilizó un muestreo aleatorio estratificado debido a las condiciones intrínsecas y difíciles del bosque. Las unidades con condiciones similares se agruparon por estratos, determinándose tres estratos para el área de estudio (pendiente leve, 14 ha; moderada, 11,84 ha; y, fuerte 26, 70 ha), de modo que las unidades de muestreo de cada estrato fueron homogéneas, y entre los estratos fueron heterogéneas.

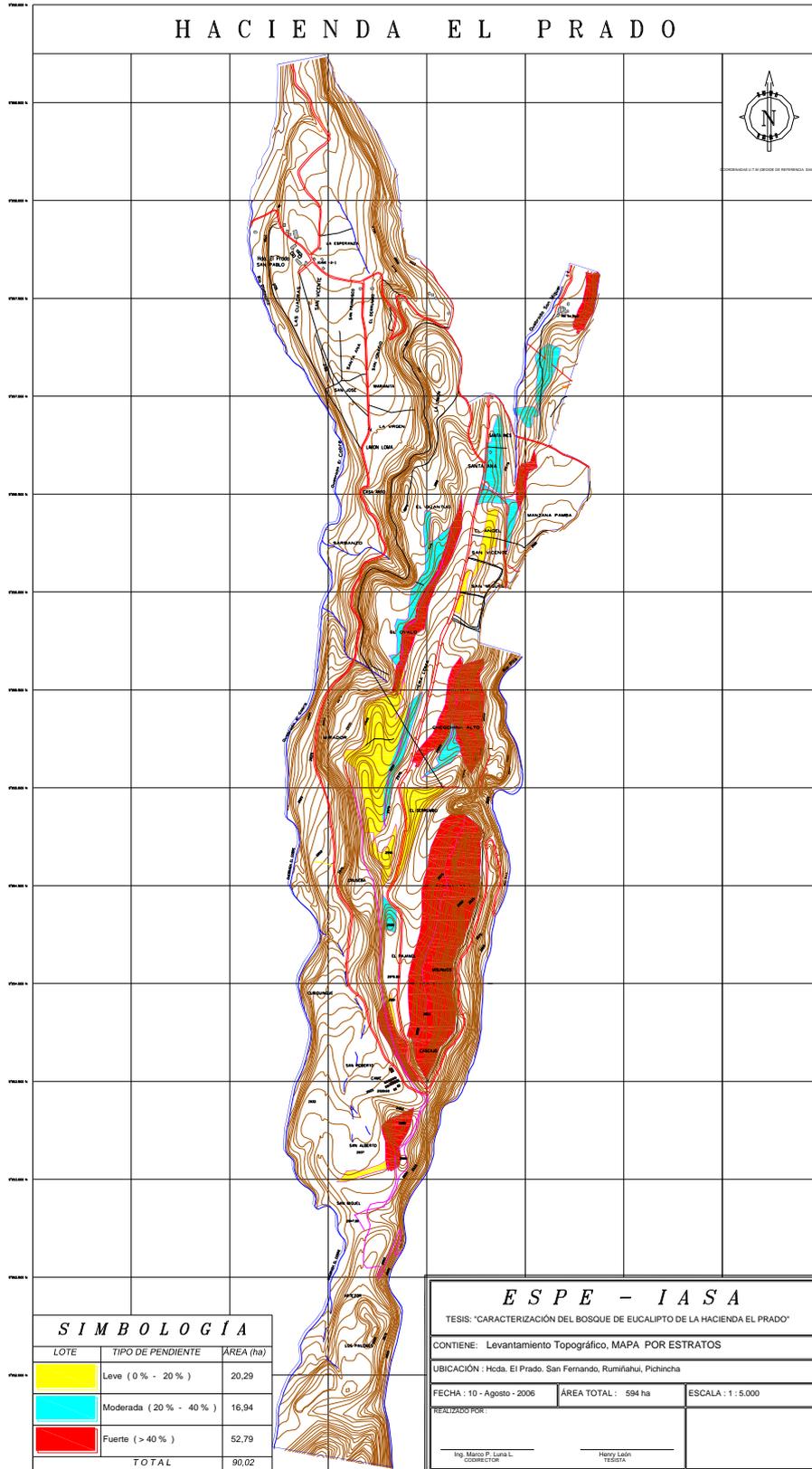


Figura 2. Mapa por estratos de la hacienda El Prado

Para calcular el tamaño de la muestra se utilizaron los resultados de un inventario preliminar provenientes de nueve unidades de muestreo distribuidas equitativamente en los tres estratos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resultados de inventario forestal preliminar de la parte alta de la hacienda El Prado.

n = 9 parcelas						
t = 2.262						
α=0.05						
Error de muestreo = 20 %						
ESTRATO	Y (m3/parcela)	S (m3/parcela)	Yp	Sp	Sp/Yp	CV (%)
Leve	51.72	5.13	13.78	1.36		41.13
Moderada	38.67	23.33	8.71	5.26		
Fuerte	37.79	20.71	19.21	10.53		
TOTAL			41.70	17.15	0.4113	

Fuente: León (2006).

Yp = Volumen promedio de cada estrato

Sp = desviación estándar

CV % = Coeficiente de variación en porcentaje

Con estos datos se calculó el tamaño de la muestra para toda la zona de estudio utilizando la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\left(t_{\alpha/2, gl}\right)^2 x (CV\%)^2}{(E\%)^2 + \frac{\left(t_{\alpha/2, gl}\right)^2 x (CV\%)^2}{N}}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

$t_{\alpha/2, gl}$ = valor de t - student definido a una significancia alpha (α), y con (n-1) grados de libertad (gl).

CV % = coeficiente de variación estimado de la población por muestrear

E % = error de muestreo máximo requerido a un nivel de confiabilidad establecido (1 - α) 100%

$$n = \frac{(2.262)^2 \times (41.13)^2}{(20)^2 + \frac{(2.262)^2 \times (41.13)^2}{525}} = 21 \text{ parcelas}$$

A continuación se determinó el tamaño de la muestra por estrato, considerando la variabilidad de cada estrato, del siguiente modo:

$$n_{\text{leve}} = \left(\frac{Aa}{At} \times Sa \right) / Sp = 1.67 = 2 \text{ parcelas}$$

$$n_{\text{moderada}} = \left(\frac{Ab}{At} \times Sb \right) / Sp = 6.44 = 6 \text{ parcelas}$$

$$n_{\text{fuerte}} = \left(\frac{Ac}{At} \times Sc \right) / Sp = 12.89 = 13 \text{ parcelas}$$

Donde:

Aa = Área del estrato con pendiente leve

Ab = Área del estrato con pendiente moderada

Ac = Área del estrato con pendiente fuerte

At = Área total del estudio

Sa = desviación estándar del estrato con pendiente leve

Sb = desviación estándar del estrato con pendiente moderada

Sc = desviación estándar del estrato con pendiente fuerte

Sp = desviación estándar

Aunque el tamaño de la muestra calculado para el área de estudio fue de 21 parcelas, el trabajo se realizó en 25 parcelas, para aumentar la precisión

El tamaño de las parcelas fue establecido en 0,1 ha (20x50m) y de 0,06 ha (20x30m), debido a las condiciones intrínsecas del bosque. Posteriormente se ubicaron las parcelas en forma aleatoria por estratos en el mapa base y finalmente se ubicaron las parcelas en el campo con la ayuda del GPS. En cada parcela se cuantificó el número total de árboles brinzales (árboles con dap menor a 5 cm) y el número total de árboles latizales (árboles con dap entre 5 y 10 cm). A todos los árboles con dap mayor a 10 cm se midió el dap, la altura comercial, la altura total y la calidad del fuste. A continuación se determinó el área basal, el volumen comercial y el volumen total con las siguientes ecuaciones:

$$ab = \pi \times \frac{(DAP)^2}{4}$$

$$V = (ab \times h \times ff)$$

ab =área basal

$\pi=3.141592654$

DAP =diámetro a la altura del pecho

V =volumen total

h = altura total

ff =factor de forma

El análisis de la información se realizó con estadística descriptiva: media, error estadístico, coeficientes de variación (con datos transformados a raíz cuadrada). Posteriormente se realizaron gráficos de distribuciones diamétricas en función del número de árboles, del área basal y del volumen total. La información se analizó utilizando el software infostat (2006).

3.3. Diferencias entre los árboles presentes en zonas con pendiente leve, moderada y fuerte.

Para establecer las diferencias entre la cobertura arbórea en los diferentes estratos del bosque se realizaron análisis de varianza para comparar las variables cuantitativas diámetro promedio, altura total promedio y volumen total promedio para los diferentes estratos. El modelo matemático que se utilizó fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + E_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

μ = media poblacional

E_i = efecto del i-ésimo estrato

ϵ_{ij} = error experimental

Además se realizaron pruebas de comparación de medias (Tukey al 5 %) y pruebas de normalidad y homocedasticidad para verificar la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianzas (para cumplir con estos supuestos se transformaron los datos del DAP y altura a raíz cuadrada). A las variables (área basal y volumen) que no cumplieron con los supuestos del análisis de varianza se les realizó una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

3.4. Diseño de un plan de manejo forestal.

El diseño del plan de manejo forestal en el bosque de la hacienda el Prado incluyó la realización de tablas de distribución diamétrica, tablas de distribución de volumen, tablas de distribución de área basal y tablas de distribución del número de individuos por calidad de fuste. A partir de esta información generada se desarrollaron planes de raleo, planes de manejo de rebrotes y planes de aprovechamiento forestal de bajo impacto.

3.4.1. Plan de raleo.

Para determinar el momento de efectuar el raleo, se utilizó el método del Índice de Espaciamiento Relativo de Hart (S %). Este índice se fundamenta en la relación entre el espaciamiento promedio y la altura dominante. Para calcular el índice de espaciamiento se tomó la altura dominante (altura de los 10 árboles más altos en las parcelas inventariadas) y se determinó el número de árboles existentes. Posteriormente se calculó el espaciamiento promedio (E) y el índice de espaciamiento relativo por parcela (S %), con las siguientes ecuaciones:

$$E = \sqrt{\frac{10.000 \text{ m}^2}{(\text{No. Arb/ha}) \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)}}$$

E = Espaciamiento promedio (tres bolillo)

$$\frac{\sqrt{3}}{2} = \text{Coseno de } 60^\circ$$

$$S\% = \frac{E}{AM} \times 100$$

S% = índice de espacio/crecimiento

E = espaciamiento promedio (tresbolillo)

AM = altura mayor promedio.

A continuación se comparó el índice calculado con el rango normal establecido (mínimo 20 %; máximo 30 %). Un índice calculado menor al 20 % refleja una competencia exagerada y por tanto requiere raleo; en cambio sobre el rango máximo de 30 % indica que hubo un sobre espaciamiento, y por tanto habrá que realizar reforestación y esperar algún tiempo para efectuar el raleo. Luego se subió el S % entre 1 y 4 puntos (a criterio

del técnico para que no se tenga que realizar un raleo muy fuerte superior al 30 %). Con el S % aumentado, se calculó el espaciamiento con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{S\% \times AM}{100}$$

Seguidamente se determinó el número de árboles que deben quedar en pie luego del raleo utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{No. árboles ha}^{-1} = \frac{10.000}{E^2 \times 0,86}$$

Por ultimo se estableció el vuelo eliminado y se calculó el porcentaje de raleo dividiendo el vuelo eliminado para el vuelo original.

3.4.2. Plan de manejo de rebrotes.

En el bosque de eucalipto de la hacienda El Prado se extrae madera para utilizarla dentro de la finca por lo que existen muchos tocones en los que se debería realizar manejo de rebrotes. Al no tener un patrón de aprovechamiento forestal claramente definido se va a realizar un manejo de rebrotes progresivo recomendado por Villacís¹ 2006.

3.4.3. Plan de aprovechamiento forestal de bajo impacto

Para el análisis de este plan se recurrió a los principios de modelos de tablas de rodales, basados en el método de la proporción de movimiento (Vanclay 1994). Este modelo supone que los árboles dentro de una clase diamétrica están distribuidos de manera

Cuadro 1. ¹ Villacís. J. 2006. Facultad de Ciencias Agropecuarias. IASA.

uniforme en toda la clase y crecen con una tasa de crecimiento promedio se siguieron los siguientes pasos:

- a) Establecer un ciclo de corta (CC) y diámetro mínimo de corta (DMC) .Para el caso del eucalipto CC =30 años, DMC =30 cm.
- b) Establecer la tasa de crecimiento diamétrico promedio (Tc) y la tasa de mortalidad (M) Para este caso se utilizó un crecimiento diamétrico de 0,5 cm año⁻¹ y una mortalidad del 1,5 % anual (Liebermann *et al.* 1985).
- c) Calcular la intensidad de corta en base a la distribución diamétrica del área basal.
- d) Calcular la intensidad de corta en base a la distribución diamétrica del número de individuos.
- e) Evaluar las intensidades de corta calculadas aplicando el principio de precaución, la menor IC calculada será la que se debe aplicar para evitar problemas de sostenibilidad productiva.
- f) Calcular el volumen aprovechable por hectárea aplicando la IC seleccionada.
- g) Realizar la proyección de la estructura del bosque después del aprovechamiento.

VI. RESULTADOS

1. Área que ocupa el bosque de *Eucalyptus globulus*.

En la parte alta de la hacienda El Prado se encontró un total de 90,02 ha de bosque, 37,48 ha pertenecen a bosque joven (árboles con una edad no superior 5 años), el aprovechamiento de este bosque joven será en participación con el ISSFA (Quimbiulco² 2006); y, 52,54 ha pertenecen a bosque maduro o adulto, de propiedad y aprovechamiento exclusivo de la ESPE (Figura 3). Del total de bosque adulto el 50,82 % (26,70 ha) pertenecen a zonas con pendiente fuerte, el 26,65 % (14 ha) pertenecen a zonas con pendiente leve y el 22,53 % (11,84 ha) pertenecen a zonas con pendiente moderada (Figura 4).

2. Inventario de la parte alta del bosque de *Eucalyptus globulus* de la Hacienda El Prado.

Se contabilizó un total de 2608 individuos de *Eucalyptus globulus* en 21.000 m² de bosque, correspondientes a las 25 parcelas inventariadas en la parte alta de la hacienda el Prado (15 parcelas de 1000 m² y 10 parcelas de 600 m²). Del total de individuos el 11,16% fueron árboles latizales, el 40,84 % brinzales y el 48% fueron individuos con DAP mayor a 10 cm.

De los árboles con DAP mayor a 10 cm, es decir árboles fustales (1252) el 21,65 % tuvieron calidad 1, el 51,60 % calidad 2 y el 26,76% calidad 3. El área basal promedio de los individuos con DAP mayor a 10 cm fue de 0,0566 m² árbol⁻¹ (rango de 0,01 a 0,48 m²) y el volumen total promedio fue de 0,9766 m³ árbol⁻¹ (rango de 0,04 a 5,99 m³, Cuadro 2).

Cuadro 2. ² Quimbiulco, K. Jefe de Producción de la Hacienda el Prado. IASA

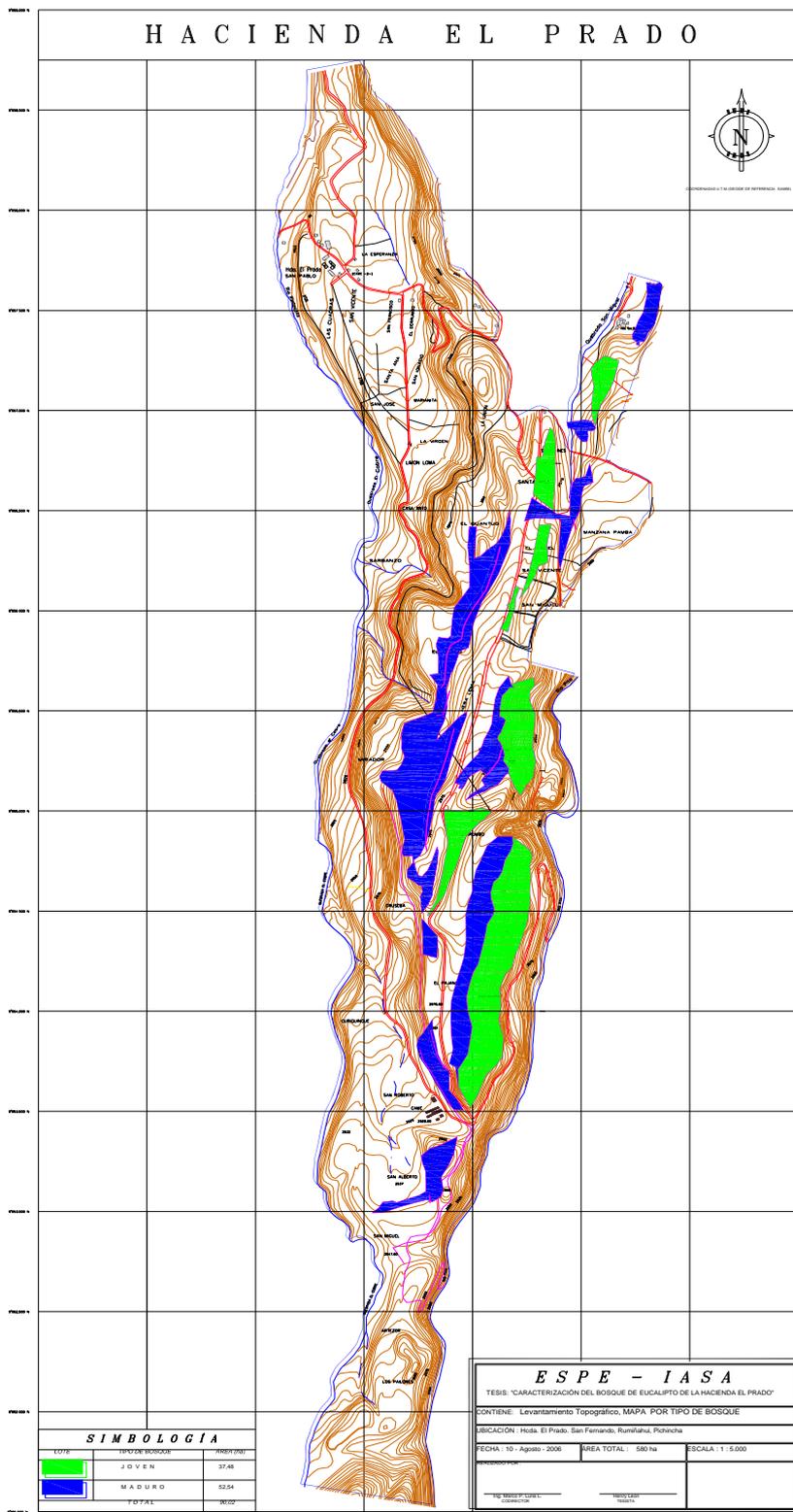


Figura 3. Mapa por tipo de bosque de la hacienda El Prado

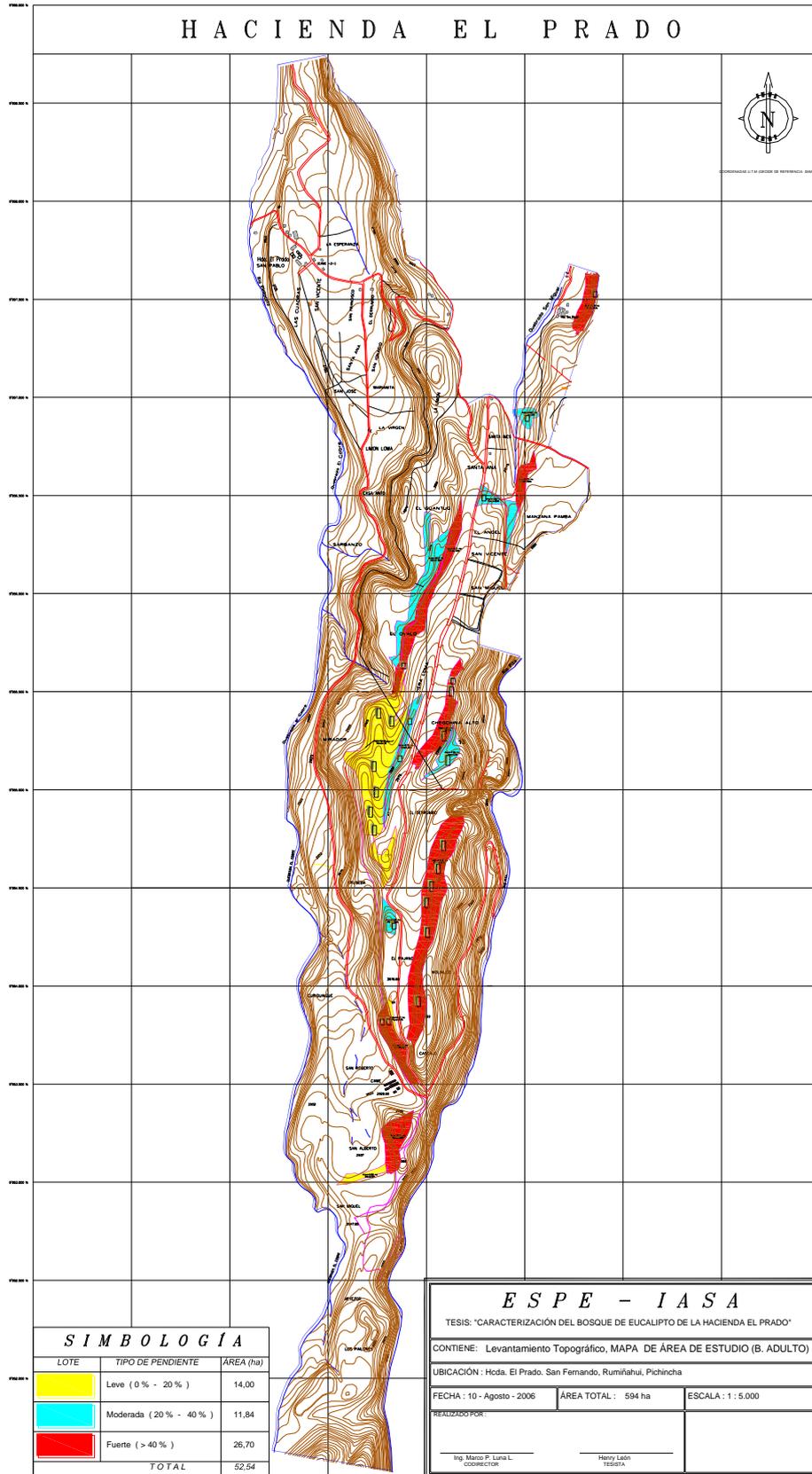


Figura 4. Mapa del área de estudio de la hacienda El Prado

Cuadro 2. Numero total de árboles, brinzales, latizales, área basal/ parcela, volumen total / parcela, IASA, Ecuador, 2006.

Numero de Parcela	Tipo de pendiente	# total de individuos	# total de brinzales	# total de latizales	# total de árboles con dap >10 cm	Densidad árboles /ha	Área basal total/parcela	Volumen total parcela	Numero de árboles con dap >10 cm		
									Calidad 1	Calidad 2	Calidad 3
1	fuerte	55	16	5	34	916,67	2,34	32,18	17	12	5
2	fuerte	63	27	11	25	1050,00	1,37	20,47	2	17	6
3	fuerte	120	44	16	60	1200,00	3,52	60,74	30	27	3
4	leve	45	5	1	39	450,00	3,48	56,04	9	24	6
5	moderada	31	11	4	16	310,00	1,11	21,18	1	14	1
6	leve	114	17	32	65	1140,00	3,30	53,09	8	31	26
7	leve	116	32	21	63	1160,00	2,51	46,05	6	26	31
8	leve	147	29	34	84	1470,00	3,68	67,51	19	50	15
9	leve	93	41	17	35	930,00	2,78	46,63	1	22	12
10	moderada	36	4	2	30	600,00	1,45	29,65	3	24	3
11	leve	76	30	7	39	1266,67	2,85	53,48	8	20	11
12	moderada	78	8	15	55	1300,00	3,28	65,16	11	16	28
13	fuerte	99	8	19	72	990,00	2,03	35,96	12	43	17
14	fuerte	106	28	13	65	1060,00	1,98	36,47	16	34	15
15	fuerte	97	12	15	70	970,00	2,46	46,51	15	32	23
16	fuerte	94	10	6	78	940,00	2,45	41,57	20	43	15
17	fuerte	85	29	4	52	850,00	2,11	36,44	13	32	7
18	fuerte	146	98	4	44	1460,00	2,07	36,42	22	15	7
19	moderada	96	28	9	59	960,00	3,82	69,96	11	25	23
20	Fuerte	152	100	6	46	1520,00	2,92	49,15	12	20	14
21	moderada	288	217	17	54	2880,00	5,31	85,52	7	34	13
22	Fuerte	268	217	17	34	4466,67	2,66	37,87	4	16	14
23	Fuerte	33	4	3	26	550,00	2,02	29,40	6	14	6
24	moderada	53	9	4	40	883,33	0,96	16,11	11	26	3
25	Fuerte	117	41	9	67	1950,00	5,12	82,14	7	29	31
TOTAL		2608	1065	291	1252		67,58	1155,69	271	646	335
%		100,00	40,84	11,16	48,01				21,65	51,60	26,76

2.1 Distribución de diámetros a la altura de pecho y alturas en árboles con dap > a 10 cm en 25 parcelas inventariadas.

Se inventariaron un total de 1252 árboles con DAP > a 10 cm. El mayor porcentaje de los individuos 45,53% estuvieron ubicados en la clase diamétrica de 10 a 20 cm. El 1,36% de los individuos tuvieron fuste con diámetros > a 60 cm. El DAP promedio fue $24,16 \pm 0,61$ cm (Figura 5).

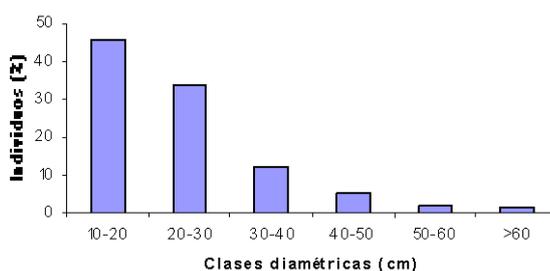


Figura 5. Distribución de clases diamétricas de árboles presentes en 25 parcelas inventariadas en el bosque de eucalipto de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.

Los árboles de eucalipto presentaron alturas comprendidas entre 5,35 y 55,4 m. El mayor porcentaje de árboles (38,66 %) tuvo alturas comprendidas entre 10 y 20 m, mientras que el menor porcentaje de individuos (3,99 %) presentó alturas superiores a 40 m. La altura promedio de los árboles fue de $23,65 \pm 0,47$ m (Figura 6).

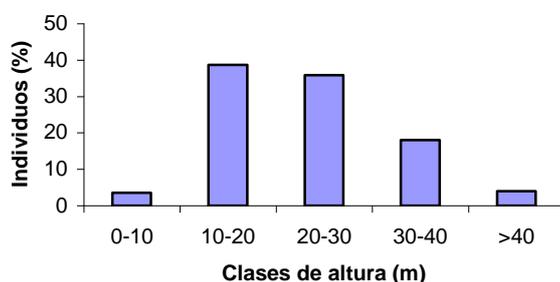


Figura 6. Distribución de clases de altura de árboles presentes en 25 parcelas inventariadas en el bosque de eucalipto de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.

2.2 Distribución del área basal y volumen total por clases diamétricas en árboles de eucalipto presentes en 25 parcelas

El área basal total encontrada en los 1252 individuos con DAP > a 10 cm fue de 67,58 m² (32,18 m² ha⁻¹). El mayor porcentaje del área basal encontrada (29,53 %) se encontró presente en individuos con DAP entre 20-30 cm, mientras que el menor porcentaje de área basal (9,03 %) se encontró en árboles con DAP > a 60 cm (Figura 7).

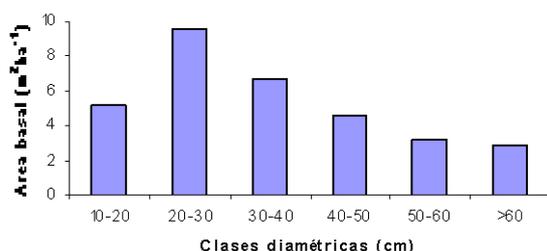


Figura 7. Distribución del área basal (m² ha⁻¹) por clase diamétrica en el bosque de eucalipto de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.

El volumen total calculado en los 1252 individuos con DAP > a 10 cm fue de 1155,69 m³ (550,33 m³ ha⁻¹). El mayor porcentaje del volumen encontrado (32,33 %) se encontró presente en individuos con DAP entre 20-30 cm, mientras que el menor porcentaje de volumen (6,52 %) se encontró en árboles con DAP > a 60 cm (Figura 8).

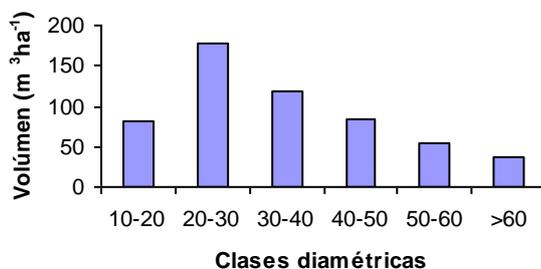


Figura 8. Distribución del volumen (m³ ha⁻¹) por clase diamétrica en el bosque de eucalipto de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.

3. Diferencias entre los árboles presentes en zonas con pendiente leve, moderada y fuerte.

Se encontraron diferencias de las variables evaluadas en los árboles que se encuentran en zonas con pendiente leve, moderada y fuerte. El número de árboles fue superior en zonas con pendiente fuerte que en zonas con pendiente moderada y leve. El DAP promedio de los árboles fue superior en zonas con pendiente moderada que en zonas con pendiente fuerte ($F_{2, 1249} = 2,9; p = 0,0556$). La altura total fue mayor en los árboles presentes en las zonas con pendiente leve y moderada que en las zonas con pendiente fuerte ($F_{2, 1249} = 16,55; p < 0,0001$). El área basal (m^2) fue mayor en zonas con pendiente moderada que en zonas con pendiente fuerte ($F_{2, 1249} = 4,19; p = 0,0153$). El volumen total (m^3) fue mayor en zonas con pendiente moderada que en zonas con pendiente fuerte ($F_{2, 1249} = 8,25; p = 0,0003$, Cuadro 3).

Cuadro 3. Promedio (\pm Se) de dap (cm), altura total, área basal total, volumen total de árboles, de acuerdo al tipo de pendiente de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006 (letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas).

TIPOS DE PENDIENTE	Pendiente leve (n=6)	Pendiente moderada (n=6)	Pendiente fuerte (n=13)	CV %
Numero de árboles	325	254	673	
*DAP(cm)	24,08 \pm 0,68 a b	25,31 \pm 0,79 b	23,09 \pm 0,37 a	21,68
*Altura comercial (m)	11,74 \pm 0,41 a	11,08 \pm 0,44 a	10,84 \pm 0,24 a	32,05
*Altura total (m)	24,46 \pm 0,54 b	24,93 \pm 0,6 b	21,57 \pm 0,29 a	19,14
**Área basal total (m^2)	0,06 \pm 0,0037 a b	0,06 \pm 0,0043 b	0,05 \pm 0,0019 a	
**Volumen comercial (m^3)	0,51 \pm 0,03 a	0,53 \pm 0,04 a	0,40 \pm 0,02 a	
**Volumen total (m^3)	0,99 \pm 0,06 ab	1,13 \pm 0,07 b	0,81 \pm 0,03 a	

* Datos transformados a raíz cuadrada.

** Prueba de Kruskal Wallis

CV % = Coeficiente de variación en porcentaje

3.1 Distribución de diámetros a la altura de pecho y alturas

La distribución diamétrica del eucalipto en las parcelas con pendiente leve, moderada y fuerte fue variada. La mayor cantidad de árboles (570) se encontraron en la clase entre

10 y 20 cm; las parcelas con pendiente leve en esta clase diamétrica tuvieron 158 individuos, las parcelas con pendiente moderada tuvieron 113 individuos; y, las parcelas con pendiente fuerte tuvieron mayor cantidad de individuos (299). La menor cantidad de individuos (17), se encontraron en la clase diamétrica > a 60 cm (0,48 % en parcelas con pendiente leve y fuerte y 0,40 % en parcelas con pendiente moderada) (Figura 9).

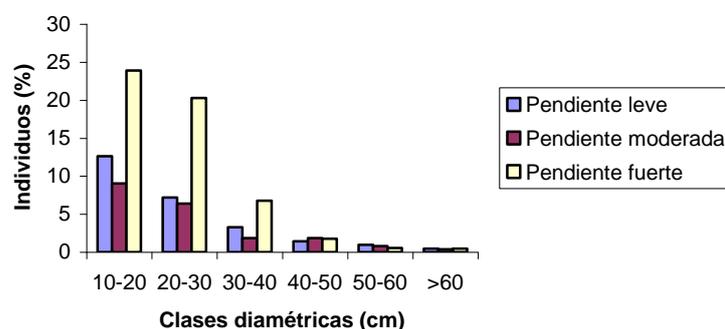


Figura 9. Distribución de clases diamétricas de árboles presentes en 25 parcelas inventariadas en el bosque de eucalipto en base al tipo de pendiente de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.

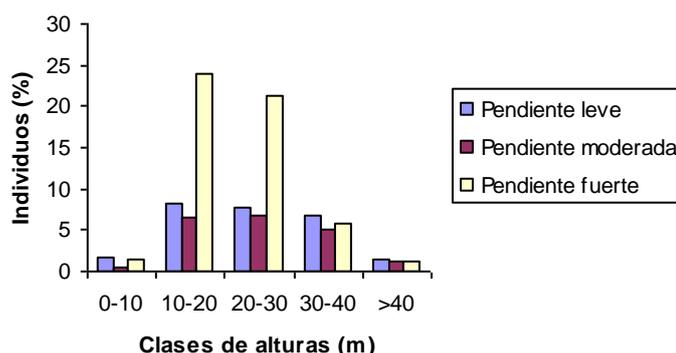


Figura 10. Distribución de clases de alturas de árboles presentes en 25 parcelas inventariadas en el bosque de eucalipto en base al tipo de pendiente de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.

En cuanto a la distribución de alturas, la mayoría de los individuos (299) que se encontraron presentes en parcelas con pendiente fuerte y (103) presentes en parcelas

con pendiente leve, tuvieron alturas entre 10 y 20 m; mientras que en las parcelas con pendiente moderada la mayoría de árboles (86) tuvieron alturas entre 20 y 30 m. La menor cantidad de árboles presentes tuvieron alturas superiores a 40 m, en dos estratos (1,52 % en las parcelas con pendiente leve y 1,28 % en las parcelas con pendiente fuerte), en tanto que la menor cantidad de individuos (6) en parcelas con pendiente moderada tuvieron alturas hasta los 10 m (0,48%; Figura 10).

3.2. Distribución del área basal y volumen total por clases diamétricas

El área basal total encontrado en los 1252 individuos presentes en zonas con pendiente fuerte fue de 33,06 m² (15,74 m² ha⁻¹), en zonas con pendiente leve 15,92 m² (7,58 m² ha⁻¹) y en zonas con pendiente moderada 15,92 m² (7,58 m² ha⁻¹). El mayor porcentaje del área basal encontrada (6,33 % en pendiente leve; 5,66% en pendiente moderada y 17,54 en pendiente fuerte) se encontró presente en individuos con DAP entre 20 y 30 cm, mientras que el menor porcentaje de área basal (3,17 % en pendiente leve y 2,54 % en pendiente moderada) se encontró en árboles con DAP > a 60 cm y (2,52% en pendiente fuerte) en árboles con DAP entre 50 y 60 cm (Figura 11).

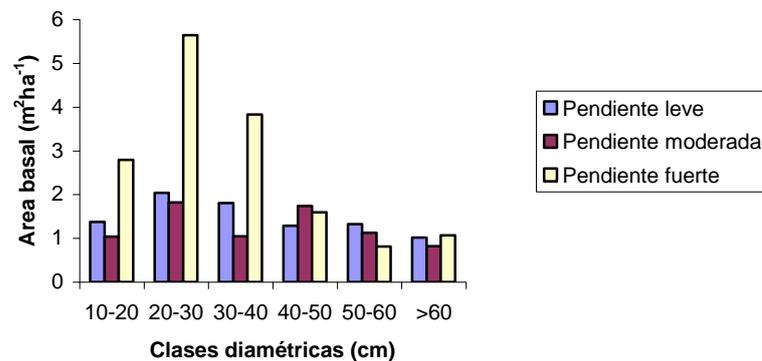


Figura 11. Distribución del área basal (m² ha⁻¹) por clase diamétrica en el bosque de eucalipto en base al tipo de pendiente de en la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006

El volumen total encontrado en los 1252 individuos con DAP > a 10 cm presentes en zonas con pendiente fuerte fue de 545,32 m³ (259,67 m³ ha⁻¹), en zonas con pendiente moderada fue de 287,58 m³ (136,94 m³ ha⁻¹) y en zonas con pendiente leve 322,8 m³ (153,71 m³ ha⁻¹). El mayor porcentaje del volumen encontrado (7,49 % en pendiente leve, 6,65% en pendiente moderada y 18,19 % en pendiente fuerte) se encontró presente en individuos con DAP entre 20-30cm, mientras que el menor porcentaje de volumen (2,27 % en pendiente leve, 1,94 en pendiente moderada y 2,31 % en pendiente fuerte) se encontró en árboles con DAP > a 60 cm (Figura 12).

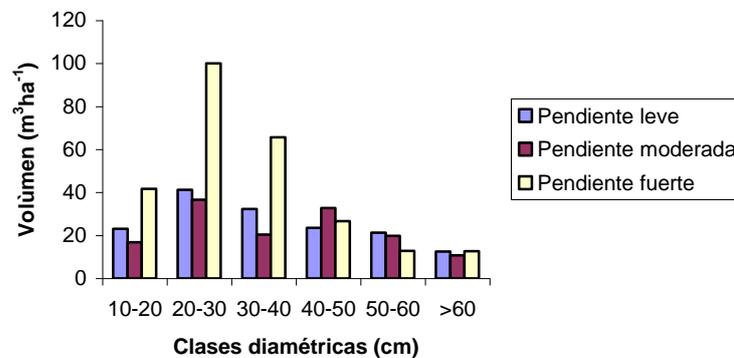


Figura 12. Distribución del volumen (m³ ha⁻¹) por clase diamétrica en el bosque de eucalipto en base al tipo de pendiente, de la hacienda El Prado, IASA, Ecuador, 2006.

3.3. Diferencias entre los árboles presentes en parcelas por calidad de fuste

El DAP de los árboles con calidad de fuste uno fue superior en los árboles ubicados en zonas con pendiente leve y moderada que en los árboles presentes en zonas con pendiente fuerte ($F_{2, 268} = 7,35; p = 0,0008$). La altura total fue mayor en los árboles presente en zonas con pendiente leve y moderada que los árboles presentes en zonas con pendiente fuerte ($F_{2, 268} = 22,03; p < 0,0001$). Finalmente el área basal y el volumen total fue mayor en los árboles presentes en zonas con pendiente leve y

moderada que los árboles presentes en zonas con pendiente fuerte ($p = 0,0002$;

Cuadro 4).

Cuadro 4. Promedio (+ Se) de dap (cm), altura total (m), área basal (m²), volumen total (m³), de árboles con calidad 1, en parcelas con pendientes fuerte, moderada y leve.

TIPOS DE PENDIENTE	Pendiente leve (n=6)	Pendiente moderada (n=6)	Pendiente fuerte (n=13)	CV %
Número de árboles	51	44	176	
*DAP(cm)	35,80 ± 2.17 b	36,0 ± 2,21 b	29,24 ± 0,88 a	20,11
*Altura comercial (m)	18,69 ± 1.00 b	16,75 ± 1,09 a b	15,01 ± 0,45 a	22,07
Altura total (m)	32,87 ± 1,04 b	33,64 ± 1,39 b	26,77 ± 0,55 a	26,38
**Área basal total (m ²)	0,12 ± 0,01 b	0,12 ± 0,01 b	0,08 ± 0,01 a	
**Volumen comercial (m ³)	1,18 ± 0,12 b	1,15 ± 0,13 b	0,71 ± 0,04 a	
**Volumen total (m ³)	1,99 ± 0,19 b	2,3 ± 0,24 b	1,35 ± 0,08 a	

* Datos transformados a raíz cuadrada.

** Prueba de Kruskal Wallis

CV % = Coeficiente de variación en porcentaje

Al comparar el DAP de los individuos de calidad dos en los estratos se encontró que el DAP fue superior en los árboles presentes en zonas con pendiente leve y moderada que en las zonas con pendiente fuerte ($F_{2, 643} = 6,28$; $p = 0,0020$). La altura total fue superior en los árboles presentes en zonas con pendiente leve y moderada que en zonas con pendiente fuerte ($F_{2, 643} = 23,04$; $p < 0,0001$). Finalmente el área basal y el volumen total fue mayor en los árboles presentes en zonas con pendiente leve y moderada que los árboles presentes en zonas con pendiente fuerte ($p = 0,0004$; Cuadro 5).

Cuadro 5. Promedio (± Se) de dap (cm), altura total (m), área basal (m²), volumen total (m³), de árboles con calidad 2, en parcelas con pendientes tipo fuerte, moderada y leve.

TIPOS DE PENDIENTE	Pendiente leve (n=6)	Pendiente moderada (n=6)	Pendiente fuerte (n=13)	CV %
Número de árboles	173	139	334	
*DAP(cm)	24,86 ± 0.83 b	25,56 ± 1,01 b	22,29 ± 0,43 a	19,29
*Altura comercial (m)	12,68 ± 0,50 a	11,52 ± 0,52 a	11,20 ± 0,29 a	25,89
Altura total (m)	26,17 ± 0,66 b	25,51 ± 0,73 b	21,87 ± 0,35 a	31,70
**Área basal total (m ²)	0,06 ± 0,0045 b	0,06 ± 0,01 b	0,04 ± 0,002 a	
**Volumen comercial (m ³)	0,52 ± 0,04 b	0,50 ± 0,04 b	0,36 ± 0,02 a	
**Volumen total (m ³)	1,06 ± 0,07 b	1,11 ± 0,09 b	0,74 ± 0,03 a	

* Datos transformados a raíz cuadrada.

** Prueba de Kruskal Wallis

CV % = Coeficiente de variación en porcentaje

Con respecto a los árboles de calidad tres se encontró que la altura total fue mayor en los árboles ubicados en zonas con pendiente moderada que en zonas con pendiente fuerte ($F_{2,332} = 5,81; p = 0,0033$). En cuanto al DAP, el área basal y el volumen total no se observaron diferencias estadísticas entre los árboles presentes en zonas con pendiente fuerte, moderada y leve (Cuadro 6).

Cuadro 6. Promedio (+ Se) de dap (cm), altura total (m), área basal (m²), volumen total (m³), de árboles con calidad 3, en parcelas con tipo de pendientes fuerte, moderada y leve.

TIPOS DE PENDIENTE	Pendiente leve (n=6)	Pendiente moderada (n=6)	Pendiente fuerte (n=13)	CV %
Número de árboles	101	71	163	
*DAP(cm)	16,84 ± 0,62 a	18,18 ± 0,75 a	18,10 ± 0,51 a	16,83
*Altura comercial (m)	6,64 ± 0,49 a	6,71 ± 0,64 a	5,63 ± 0,31 a	35,16
*Altura total (m)	17,28 ± 0,79 a b	18,38 ± 0,81 b	15,32 ± 0,38 a	18,70
**Área basal total (m ²)	0,02 ± 0,0024 a	0,03 ± 0,003 a	0,03 ± 0,0018 a	
**Volumen comercial (m ³)	0,16 ± 0,02 a	0,18 ± 0,04 a	0,13 ± 0,01 a	
**Volumen total (m ³)	0,38 ± 0,05 a	0,45 ± 0,05 a	0,38 ± 0,03 a	

* Datos transformados a raíz cuadrada.

** Prueba de Kruskal Wallis

CV % = Coeficiente de variación en porcentaje

4. Plan de manejo forestal sostenible y sustentable

4.1. Raleo

En promedio se contaron 1241,90 árboles ha⁻¹, con una altura dominante promedio de 34,73 ± 5,19 m. El espaciamiento promedio de las 25 parcelas fue de 7,39 ± 4,64 m², mientras que índice de espaciamiento relativo de hart promedio fue del 22,43 %, lo que indica que en la mayoría de las parcelas evaluadas (15) existió una sobrepoblación de individuos por lo que se debe ralear, mientras que en otras parcelas inventariadas (siete) existió un sobre espaciamiento, por lo que es necesario realizar actividades de reforestación, en tanto que tan solo tres parcelas de las evaluadas presento un índice

adecuado para una población normal de individuos. De acuerdo a este índice se debe eliminar un promedio de 104,28 árboles ha⁻¹.

En tanto que el índice de espaciamiento relativo de hart promedio por estrato fue: en la zona con pendiente leve 20,94%, zona con pendiente fuerte 14,64%; y, para la zona con pendiente moderada 14,64%. De acuerdo a estos índices es recomendable eliminar en el estrato leve un promedio de 126,78 árboles ha⁻¹, en el estrato fuerte un promedio de 107,27 árboles ha⁻¹; y, finalmente en las parcelas presentes en el estrato moderado se debe eliminar un promedio de 68,18 árboles ha⁻¹, para favorecer el crecimiento de los árboles en pie. (Cuadro 7).

Cuadro 7. Espaciamiento promedio, índice de espaciamiento relativo, vuelo original, vuelo en pie, vuelo eliminado y porcentaje de raleo en 25 parcelas inventariadas en el bosque Eucalipto de la hacienda El prado, IASA, 2006.

# de Parcela	Tipo de pendiente	Vuelo original	Altura dominante (m)	E ₁ (m ₂)	S ₁ (%)	Incremento	S ₂ (%)	E ₂ (m ₂)	Vuelo en pie	Vuelo eliminado	% de raleo	Observación
1	fuerte	34	29,31	12,36	42,18				34		0,00	Reforestar
2	fuerte	25	27,35	14,42	52,71				25		0,00	Reforestar
3	fuerte	60	34,64	3,80	10,97	3,5	14,47	5,01	46	14	23,38	
4	leve	39	40,35	4,71	11,68	4,0	15,68	6,33	29	10	26,02	
5	moderada	16	35,29	18,02	51,07				16		0,00	Reforestar
6	leve	65	39,07	3,65	9,34	3,0	12,34	4,82	50	15	23,61	
7	leve	63	36,59	3,71	10,13	3,5	13,63	4,99	46	17	26,34	
8	leve	84	36,12	3,21	8,89	3,0	11,89	4,29	63	21	25,46	
9	leve	35	40,61	4,97	12,25	4,0	16,25	6,60	27	8	24,23	
10	moderada	30	34,52	13,16	38,12				30		0,00	Reforestar
11	leve	39	39,76	11,54	29,03				39		0,00	
12	moderada	55	38,83	9,72	25,03				55		0,00	
13	fuerte	72	29,83	3,47	11,63	4,0	15,63	4,66	53	19	26,19	
14	fuerte	65	30,77	3,65	11,86	4,0	15,86	4,88	48	17	25,43	
15	fuerte	70	34,43	3,52	10,22	3,5	13,72	4,72	52	18	26,03	
16	fuerte	78	30,69	3,33	10,86	3,5	14,36	4,41	59	19	23,75	
17	fuerte	52	30,40	4,08	13,42	4,0	17,42	5,30	41	11	20,86	
18	fuerte	44	33,06	4,44	13,42	4,0	17,42	5,76	35	9	20,87	
19	moderada	59	43,59	3,83	8,79	2,8	11,59	5,05	45	14	23,31	
20	fuerte	46	35,05	4,34	12,38	4,0	16,38	5,74	35	11	23,84	
21	moderada	54	42,37	4,00	9,45	3,5	12,95	5,49	38	16	28,99	
22	fuerte	34	30,75	12,36	40,20				34		0,00	Reforestar
23	fuerte	26	29,47	14,14	47,97				26		0,00	Reforestar
24	moderada	40	23,72	11,40	48,05				40		0,00	Reforestar
25	fuerte	67	41,80	8,81	21,07				67		0,00	

ESTRATO	% PROMEDIO RALEO
Pendiente leve	20,94
Pendiente moderada	8,72
Pendiente fuerte	14,64

E_1 = Espaciamiento promedio inicial
 S_1 = Índice de espaciamento inicial
 S_2 = Índice de espaciamento corregido
 E_2 = Espaciamiento promedio final

4.2. Plan de manejo de rebrotes

El plan de manejo de rebrotes que se propone sugiere realizar intervenciones periódicas en una época determinada para obtener productos del bosque en el corto y mediano plazo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Número de intervenciones que se propone para el manejo de rebrotes en la hacienda El Prado, IASA, 2006.

INTERVENCION	No. DE REBROTOS	AÑOS DESPUES DE LA CORTA	PRODUCTO OBTENIDO EN LA INTERVENCION
1	Dejar todos los que compitan	1	Rebrotes dominados que sirven como leña, Hojarasca
2	Dejar los mejores (2-3)	2	Leña, varas, ramas y hojarasca
3	Sacar 1 o 2 rebrotes	5 a 7	Pingos, leña y hojarasca
4	Sacar 1 de los dos rebrotes	9 a 11	Vigas redondas o postes, pingos, leña y hojarasca
5	Cortar el último rebrote	18 o más	Madera aserrada, pingos, leña y hojarasca.

4.3 Plan de aprovechamiento forestal de bajo impacto

Para elaborar el plan de aprovechamiento forestal de bajo impacto en la parte alta del bosque de eucalipto se utilizó el método de la tabla del rodal y de la proporción de movimiento. Para un bosque húmedo montano bajo el crecimiento promedio de los árboles de diferentes tamaños es de 0,5 cm /año, el ciclo de corta es de 30 años y el

tamaño de la clase diamétrica es de 10 cm; entonces la proporción de movimiento fue igual a:

$$\text{Proporción movimiento} = (0,5 * 30)/10 * 100 = 150\%$$

A continuación se determinó el número de individuos, área basal y volumen por ha para los tres estratos (Cuadros 9, 10 y 11).

Cuadro 9. Número de árboles, área basal y volumen de árboles de *Eucalyptus globulus*, según la clase diamétrica en el estrato con pendiente leve, IASA, 2006.

CLASE DIAMETRICA							
	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70
Árboles/ha	282,14	160,71	73,21	32,14	21,43	8,93	1,79
Área basal (m ² /ha)	5,16	7,64	6,77	4,84	4,96	3,04	0,79
Volumen (m ³ /ha)	86,50	154,59	120,89	88,05	79,64	36,93	9,84

Cuadro 10. Número de árboles, área basal y volumen de árboles de *Eucalyptus globulus*, según la clase diamétrica en el estrato con pendiente moderada, IASA, 2006.

CLASE DIAMETRICA							
	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70
Árboles/ha	256,82	181,82	52,27	52,27	22,73	6,82	4,55
Área basal (m ² /ha)	4,95	8,68	4,98	8,30	5,36	2,05	1,86
Volumen (m ³ /ha)	80,00	174,64	97,05	156,50	94,36	26,00	25,07

Cuadro 11. Número de árboles, área basal y volumen de árboles de *Eucalyptus globulus*, según la clase diamétrica en el estrato con pendiente fuerte, IASA, 2006.

CLASE DIAMETRICA							
	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70
Árboles/ha	271,82	230,91	77,27	20,00	6,36	2,73	2,73
Área basal (m ² /ha)	5,34	10,77	7,31	3,05	1,55	0,84	1,21
Volumen (m ³ /ha)	79,71	191,14	125,44	50,82	24,36	9,55	14,72

Posteriormente se determinó la intensidad de corta (IC) para cada estrato siguiendo los siguientes pasos:

- a) Determinar el área basal de los individuos que durante el primer ciclo pasarán a clases diamétricas mayores al DMC

Para los árboles ubicados en zonas con pendiente leve el área basal fue de $10,22 \text{ m}^2$ ($2,58 \pm 7,64 \text{ m}^2$), para los árboles presentes en zonas con pendiente moderada el área basal fue de $11,16 \text{ m}^2$ ($2,47 \pm 8,68 \text{ m}^2$). Por último los árboles presentes en zonas con pendiente fuerte el área basal fue de $13,44 \text{ m}^2$ ($2,67 \pm 10,77 \text{ m}^2$).

- b) Determinar el área basal de la clase mayor

El área basal de la clase mayor (mayor a 70 cm) de los árboles ubicados en zonas con pendiente leve fue de $0,79 \text{ m}^2$, el área basal de la clase mayor de los árboles ubicados en zonas con pendiente moderada fue de $1,86 \text{ m}^2$ y el área basal de la clase mayor de los árboles ubicados en zonas con pendiente fuerte fue de $1,21 \text{ m}^2$

- c) Determinar el área basal de los árboles en las clases entre el DMC y 70 cm

El área basal para los árboles ubicados en zonas con pendiente leve fue de $19,61 \text{ m}^2$; para los árboles presentes en zonas con pendiente moderada fue de $20,68 \text{ m}^2$ y para los árboles presentes en zonas con pendiente fuerte fue de $12,74 \text{ m}^2$.

- d) Calcular la intensidad de corta. dividiendo el área basal disponible para la segunda cosecha sobre el área basal de los árboles disponibles para la primera cosecha multiplicado por 100.

Para el caso de los árboles presentes en zonas con pendiente leve la intensidad de corta es igual a $(10,22/19,61)*100 = 52,12 \%$. Para los árboles presentes en zonas con pendiente moderada la intensidad de corta es igual a $(11,16/20,68)*100=53,96 \%$. Finalmente, para los árboles presentes en zonas con pendiente fuerte la intensidad de corta es igual a $(13,44/12,74)*100=105,49 \%$.

- e) Calcular la intensidad de corta con base en la distribución diamétrica del número de árboles, siguiendo el mismo proceso.

Para el caso de los árboles presentes en zonas con pendiente leve la intensidad de corta es igual a $(301,79/135,79)*100 = 222,24 \%$. Para los árboles presentes en zonas con pendiente moderada la intensidad de corta es igual a $(310,23/134,09)*100=231,36 \%$. Y finalmente para los árboles presentes en zonas con pendiente leve la intensidad de corta es igual a $(366,82/106,82)*100=343,43 \%$.

- f) Evaluar de las intensidades de corta calculadas para cada tipo de estrato.

Para los árboles presentes en zonas con pendiente leve y moderada se va a utilizar una intensidad de corta del 60 %, y para los árboles que se encuentran en zonas con pendiente fuerte se va a utilizar una intensidad de corta del 90 % (para los árboles con diámetros entre 10 y 70 cm). Además se va a utilizar una IC del 50 % para los árboles con DAP mayor a 70 cm debido a razones de protección y conservación.

Posteriormente se calculó el volumen de corta anual permisible para cada tipo de estrato multiplicando el volumen total por el área de cada estrato y dividido para el ciclo de corta. Los resultados se encuentran en los Cuadro 12, 13 y 14.

Cuadro 12. Volumen por ha por clase diamétrica (m³/ha) de *Eucalyptus globulus* y volumen de corta permisible aplicando la IC del 60 %, en zonas con pendiente leve, IASA, 2006.

CLASE DIAMETRICA						
PENDIENTE LEVE	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	TOTAL
Volumen (m ³ /ha)	120,89	88,05	79,64	36,93	9,84	
Volumen permisible (m ³ /ha)	72,54	52,83	47,79	22,16	4,92	200,23
VCAP	93,44					

Cuadro 13. Volumen por ha por clase diamétrica (m³/ha) de *Eucalyptus globulus* y volumen de corta permisible aplicando la IC del 60 %, en zonas con pendiente moderada, IASA, 2006.

CLASE DIAMETRICA						
PENDIENTE MODERADA	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	TOTAL
Volumen (m ³ /ha)	97,05	156,50	94,36	26,00	25,07	
Volumen permisible (m ³ /ha)	58,23	93,90	56,62	15,60	12,53	236,88
VCAP	93,49					

Cuadro 14. Volumen por ha por clase diamétrica (m³/ha) de *Eucalyptus globulus* y volumen de corta permisible aplicando la IC del 90 %, en zonas con pendiente fuerte, IASA, 2006.

CLASE DIAMETRICA						
PENDIENTE FUERTE	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	TOTAL
Volumen (m ³ /ha)	125,44	50,82	24,36	9,55	14,72	
Volumen permisible (m ³ /ha)	112,89	45,74	21,93	8,59	7,36	196,51
VCAP	174,89					

Finalmente se realizó una proyección de la futura cosecha para verificar si cortando este volumen ahora se tendría un volumen similar a superior al final del primer ciclo. Para este cálculo se partió de la distribución diamétrica de los individuos, y se aplicó la tasa de crecimiento y la tasa de mortalidad. Los resultados para cada estrato se muestran en los cuadros 15, 16 y 17.

Cuadro 15. Distribución diamétrica del número de árboles de Eucalipto en zonas con pendiente leve antes y después del aprovechamiento y proyectada hacia el final de un ciclo de corta de 30 años, IASA, 2006 (Tasa de crecimiento de 0.5 cm año⁻¹ y una mortalidad de 1.5 % año⁻¹).

CLASE DIAMETRICA	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70
Numero de individuos antes de la cosecha	282,14	160,71	73,21	32,14	21,43	8,93	1,79
Volumen (m3/ha)			120,89	88,05	79,64	36,93	9,84
Volumen/árbol			1,65	2,74	3,72	4,14	5,51
Numero de individuos después de la cosecha	282,14	160,71	29,29	12,86	8,57	3,57	0,89
Final del ciclo sin mortalidad		141,07	221,43	95,00	21,07	10,71	8,75
Supervivencia		89,58	140,61	60,33	13,38	6,80	5,56
Volumen después del ciclo (m ³ /ha)			232,17	165,26	49,73	28,14	30,61
Volumen aprovechable (m ³ /ha) (IC =60%)			121,01	86,13	25,92	14,67	15,31
TOTAL (m ³ /ha)	263,03						

Cuadro 16. Distribución diamétrica del número de árboles de Eucalipto en zonas con pendiente moderada antes y después del aprovechamiento y proyectada hacia el final de un ciclo de corta de 30 años, IASA, 2006 (Tasa de crecimiento de 0.5 cm año⁻¹ y una mortalidad de 1.5 % año⁻¹).

CLASE DIAMETRICA	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70
Numero de individuos antes de la cosecha	256,82	181,82	52,27	52,27	22,73	6,82	4,55
Volumen (m3/ha)			97,05	156,50	94,36	26,00	25,07
Volumen/árbol			1,86	2,99	4,15	3,81	5,52
Numero de individuos después de la cosecha	256,82	181,82	20,91	20,91	9,09	2,73	2,27
Final del ciclo sin mortalidad		128,41	219,32	101,36	20,91	15,00	9,55
Supervivencia		81,54	139,27	64,37	13,28	9,53	6,06
Volumen después del ciclo (m ³ /ha)			258,55	192,71	55,13	36,32	33,43
Volumen aprovechable (m ³ /ha) (IC =60%)			139,18	103,73	29,67	19,55	16,71
TOTAL (m ³ /ha)	308,85						

Cuadro 17. Distribución diamétrica del número de árboles de Eucalipto en zonas con pendiente fuerte antes y después del aprovechamiento y proyectada hacia el final de un ciclo de corta de 30 años, IASA, 2006 (Tasa de crecimiento de 0.5 cm año⁻¹ y una mortalidad de 1.5 % año⁻¹).

CLASE DIAMETRICA	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70
Numero de individuos antes de la cosecha	271,82	230,91	77,27	20,00	6,36	2,73	2,73
Volumen (m3/ha)			125,44	50,82	24,36	9,55	14,72
Volumen/árbol			1,62	2,54	3,83	3,50	5,40
Numero de individuos después de la cosecha	271,82	230,91	23,18	6,00	1,91	0,82	1,36
Final del ciclo sin mortalidad		135,91	251,36	127,05	14,59	3,95	3,14
Supervivencia		86,30	159,62	80,67	9,27	2,51	1,99
Volumen después del ciclo (m ³ /ha)			259,10	204,98	35,47	8,79	10,75
Volumen aprovechable (m ³ /ha) (IC=90%)			181,37	143,49	24,83	6,15	5,37
TOTAL (m ³ /ha)	361,22						

VII. DISCUSIÓN

El área que ocupa el bosque de *Eucalyptus globulus* ubicado en la parte alta de la hacienda El Prado es de 90,02 ha, de las cuales 37,48 ha pertenecen a bosque joven y 52,54 ha pertenecen a bosque adulto, de este porcentaje la mayor superficie (50,82%) corresponden a zonas con pendiente superior al 40 %, es decir zonas con aptitud forestal; 26,65 % pertenecen a zonas con pendiente leve (0-20%); y, (22.53%) pertenece a zonas con pendiente moderada (20-40%), estas zonas son utilizadas para el pastoreo del ganado a modo de sistemas silvopastoriles.

Cuadro 18. La cobertura arbórea de Eucalipto presente en la parte alta del bosque se caracteriza por tener una densidad promedio de 1.250,93 árboles ha⁻¹. Esta densidad es mayor a la reportada en otro estudio llevado a cabo en la parte baja del bosque de la hacienda El Prado, en donde se encontró que la densidad promedio es de 1.006,08 árboles ha⁻¹ (Rivera Ojeda, PA. 2005). Esto se puede deber a que en el bosque de eucalipto situado en el sector de Molinuco ha sido manejado en su inicio como una plantación forestal, aunque posteriormente no ha habido un manejo adecuado por lo que se observa una sobrepoblación de individuos con un crecimiento desuniforme en todos los sectores del bosque, es por eso que una gran cantidad de árboles sobremaduros presentes en los rodales han empezado un proceso de muerte progresiva, ocasionado por la destrucción interna del duramen y su posterior volcamiento; esto ha provocado grandes pérdidas económicas para la Facultad no solamente por la madera que se pudo haber extraído de los individuos sobremaduros, sino también por el daño que han ocasionado al resto de árboles por efecto de su caída (Villacís³2006). Este proceso se ha convertido en un círculo vicioso durante el periodo de vida del bosque y mientras no se

Cuadro 3. ³ Villacís, J. Facultad de Ciencias Agropecuarias. IASA.

tenga un plan de manejo forestal, se seguirá perdiendo la madera y por ende no se podrá obtener los productos que brinda el bosque (Rivera Ojeda, PA. 2005).

El área basal total encontrada fue de $32,18 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ este resultado es menor al reportado en el estudio llevado a cabo en la parte baja del bosque de la hacienda El Prado, en donde se encontró que el área basal total fue de $64,43 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (Rivera 2005). Mientras que el volumen total de $550,33 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ fue similar al reportado por Rivera (2005) ($540,60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), sin embargo estos valores son superiores a los reportados en plantaciones forestales de Chile ($150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; Ribalta 2004 citado por Rivera 2005) y plantaciones forestales de Colombia (entre 250 m^3 y $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; Acción Ecológica, 2001). Esta diferencia se puede deber a la sobrepoblación de individuos existente en el bosque de la hacienda El Prado, aunque hay que aclarar que del total de individuos presentes en este bosque, solamente el 21,65 % presentaron calidad de fuste 1 por lo que seguramente al momento de comercializar la madera, se obtendrán menos ingresos si se compara con la madera extraída de la plantación Chilena y Colombiana.

1. Diferencias entre la cobertura arbórea presente en los diferentes estratos del bosque.

El número de árboles encontrados en la parte alta del bosque de Eucalipto fue superior en zonas con pendiente fuerte que en zonas con pendiente moderada y leve. Estos resultados son diferentes a los reportados en el estudio llevado a cabo en la parte baja del bosque de la hacienda el Prado, en donde se encontró que el número de árboles fue menor en zonas con pendiente alta que en zonas con pendiente leve (Rivera 2005). Esto se puede deber a que en la parte alta del bosque no se realiza ningún tipo de aprovechamiento y también a que los árboles de las zonas con pendiente leve y moderada tienen la característica típica de un bosque, en tanto que en las zonas con pendiente fuerte (Molinuco) presentan las características de una plantación forestal.

El DAP de los árboles (calidad 1 y 2) ubicados en zonas con pendiente leve y moderada fue superior al DAP de los árboles presentes en zonas con pendiente fuerte. Estos resultados son similares a los encontrados en el trabajo de Rivera (2005), en la parte baja del bosque de la hacienda El Prado.

La altura total de los árboles (calidad 1, 2 y 3), fue mayor en árboles ubicados en zonas con pendiente leve y moderada que en zonas con pendiente fuerte. Estas alturas encontradas son contrarios a los reportados en el estudio llevado a cabo en la parte baja del bosque de la hacienda el prado, en donde se encontró que la altura total de los árboles (calidad 1, 2 y 3), fue mayor en árboles ubicados en zonas con pendiente alta que en zonas con pendiente leve (Rivera 2005). Esto se debe a que la mayor área de bosque de la parte alta de la hacienda ubicada en la zona con pendiente fuerte corresponde a un bosque de 20 años de edad (Velasco⁴ 2006).

El área basal total de los árboles con calidad 1 y 2 fue mayor en los árboles presentes en zonas con pendiente leve y moderada que los árboles presentes en zonas con pendiente fuerte. Sin embargo, el área basal de los individuos con calidad 3 fue similar en los sitios con pendiente fuerte, moderada y leve.

En cuanto al volumen total de los árboles con calidad 1 y 2 fue mayor en los árboles presentes en zonas con pendiente leve y moderada que los árboles presentes en zonas con pendiente fuerte. Esto se debe a que en estas zonas (leve y moderada) se encuentran mayor cantidad de individuos en clases diamétricas superiores a 50 cm. En cambio el volumen total de los árboles con calidad 3 fue similar en los sitios con pendiente fuerte, moderada y leve.

Cuadro 4. ⁴ Velasco, J. Operador de Maquinaria Agrícola de la hacienda el Prado.

2. Plan de manejo forestal.

Un manejo técnico bien conducido, requiere necesariamente de una evaluación o inventario del bosque a fin de conocer su composición florística, su volumen, el desarrollo de la vegetación natural, así como las características edáficas y topográficas donde se desarrollan. Esto permitirá definir las principales actividades técnicas de intervención, la definición de objetivos y el plan en sí.

3 En bosques naturales, generalmente las actividades más importantes de manejo estarán orientadas al manejo de la regeneración natural, la productividad del bosque y su conservación. Dentro de estas se desarrollan acciones técnicas como podas, limpieza sanitaria, extracción de árboles muertos e instalación de parcelas para medición del crecimiento. Por esta razón es necesario definir a la cobertura arbórea de la hacienda El Prado, ya que si se la considera como bosque se deberá realizar tratamientos silviculturales diferentes, que si se le considera como plantación forestal. En este estudio se han analizado las dos alternativas y dependiendo de las decisiones de las autoridades se deberán realizar los tratamientos silvícolas mas idóneos según corresponda.

En el caso de que se considere la cobertura arbórea de la hacienda El Prado como plantación forestal se deberán realizar labores de raleo y manejo de rebrotes que permitan obtener madera de aserrío de alta calidad. En este caso y de acuerdo al método de raleo utilizado, es recomendable eliminar en promedio 104,28 árboles ha⁻¹ para favorecer el crecimiento de los árboles en pie. Si se analiza de acuerdo al tipo de pendiente el porcentaje de árboles a eliminar en zonas con pendiente leve debe ser de 20,94%, en zonas con pendiente moderada es de 8,72%, mientras que en zonas con pendiente fuerte es de 16,64%.

Es recomendable eliminar los árboles de calidad tres (torcidos, bifurcados mal formados enfermos y podridos), para disminuir la competencia con los árboles de calidad uno y dos. Los árboles que queden después del raleo van a ser favorecidos en el desarrollo de copas más profundas y densas; con esto van a obtener una mayor superficie activa en la fotosíntesis y un aumento en la tasa de crecimiento diametral (Villacís 2005, citado por Rivera 2005).

El sistema que se recomienda usar para el bosque ubicado en las zonas con pendiente leve y moderado es un raleo por bajo completo. Con este tipo de raleo, se sacan los árboles pertenecientes a las clases de capas bajas. En el grado más débil se saca solamente los dominados; en el grado mediano se sacan también los intermedios y en el más fuerte solamente se quedan los dominantes y los codominantes más vigorosos.

Mientras que para el bosque ubicado en zonas con pendiente fuerte se recomienda realizar un raleo sistemático por fajas o líneas. Con este método se cortan los árboles o fajas o líneas a través del rodal. Se lo puede utilizar en rodales jóvenes y densos originados en plantación o regeneración natural y tiene la ventaja de facilitar el acceso para raleos siguientes (Figura 13).

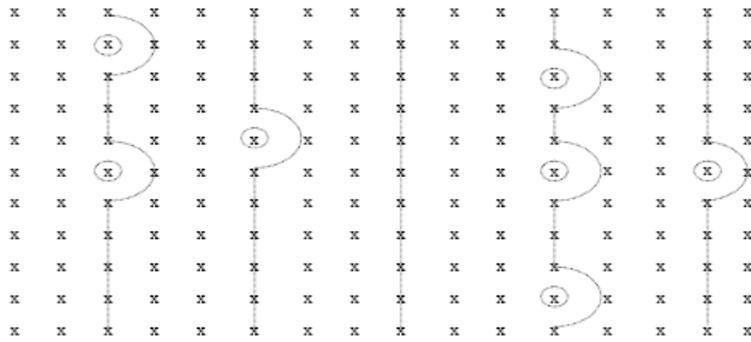


Figura 13. Sistema de raleo sistemático o mecánico por fajas o líneas.

Una vez que se a realizado el raleo, los tocones empezarán a emitir rebrotes, por lo es necesario realizar el plan de manejo de rebrotes. En este estudio se ha propuesto realizar cinco intervenciones desde el primer año después de la corta hasta que el árbol alcance su diámetro mínimo de corta (18 años o más). Con este plan de manejo se obtienen productos forestales (hojarasca, leña, pingos, postes vigas, etc) en el corto y mediano plazo, y se genera utilidades para la finca antes de la obtención de madera de aserrío (Villacís⁵ 2006).

3. Aprovechamiento forestal de bajo impacto

En el hecho que se considere a la cobertura arbórea de la hacienda El Prado como bosque se deberá realizar un plan de aprovechamiento forestal sostenible y sustentable. Para tal efecto se ha realizado un análisis de la cobertura arbórea presente en cada tipo de pendiente.

En zonas con pendiente leve, moderada y fuerte se recomienda realizar un aprovechamiento forestal utilizando un sistema de cosecha policíclico, debido a que existen individuos en todas las clases diamétricas y cada año luego de realizar la

Cuadro 5. ⁵ Villacís, J. 2005. Facultad de Ciencias Agropecuarias. IASA.

cosecha se tendrán reemplazos en las clases diamétricas subsiguientes (Louman *et al.* 2001).

El aprovechamiento, realizado en zonas con pendiente leve con una intensidad de corta del 60 % (a los árboles ubicados en las clases diamétricas desde 10 a 70 cm) y del 50 % (a los individuos de la clase mayor a 70 cm), permitirá extraer 200,23 m³ ha⁻¹ de madera, durante un ciclo de corta de 30 años; es decir 93,44 m³ de madera en las 14 ha cada año. Luego de este ciclo y para comprobar si el sistema de manejo propuesto es sostenible se realizó una proyección de la estructura del bosque, considerando una tasa de crecimiento de 0,5 cm año⁻¹ y una mortalidad de 1,5 % año⁻¹. Posteriormente se calculó que el volumen disponible para el próximo aprovechamiento, utilizando la misma intensidad de corta, fue de 263,03 m³ ha⁻¹, por lo que se considera viable a este plan de manejo, considerando que la producción de madera será permanente y no tendrá efectos no deseados en el ambiente físico y social (Louman *et al.* 2001).

El aprovechamiento, realizado en zonas con pendiente moderada con una intensidad de corta del 60 % (a los árboles ubicados en las clases diamétricas desde 10 a 70 cm) y del 50 % (a los individuos de la clase mayor a 70 cm), permitirá extraer 236,88 m³ ha⁻¹ de madera, durante un ciclo de corta de 30 años; es decir 93,49 m³ de madera en las 11,84 ha cada año. Luego de este ciclo y para comprobar si el sistema de manejo propuesto es sostenible se realizó una proyección de la estructura del bosque, considerando una tasa de crecimiento de 0,5 cm año⁻¹ y una mortalidad de 1,5 % año⁻¹. Posteriormente se calculó que el volumen disponible para el próximo aprovechamiento, utilizando la misma intensidad de corta, fue de 308,85 m³ ha⁻¹, resultando también ser viable por la sustentabilidad y sostenibilidad de este plan de manejo.

En cambio en zonas con pendiente fuerte, a pesar que la intensidad de corta calculada fue del 105,49%, se propuso realizar un aprovechamiento con una intensidad de corta del 90 % (a los árboles ubicados en las clases diamétricas desde 10 a 70 cm) y del 50 % (a los individuos de la clase mayor a 70 cm). Utilizando el índice propuesto, se puede extraer un volumen de madera de $196,51 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ durante el ciclo de corta de 30 años, o sea $174,89 \text{ m}^3$ en las 26,70 ha cada año. Para comprobar si el sistema de manejo propuesto es sostenible se realizó una proyección de la estructura del bosque, considerando la misma tasa de crecimiento y mortalidad que en árboles ubicados en pendiente leve y moderada. Posteriormente se calculó que el volumen disponible para el próximo aprovechamiento, utilizando la misma intensidad de corta, fue de $361,22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, por lo que se considera viable a este plan de manejo considerado que la producción de madera será permanente y no tendrá efectos negativos en el ecosistema (Louman *et al* 2001).

VIII. CONCLUSIONES

El área de bosque de eucalipto encontrada en la parte alta de la hacienda El Prado fue de 90,02 ha; 37,48 ha pertenecen a bosque de eucalipto joven y 52,54 ha a bosque adulto, de estas últimas 26,70 ha pertenecen a zonas con pendiente fuerte, 14 ha pertenecen a zonas con pendiente leve y 11,84 ha pertenecen a zonas con pendiente moderada.

En las 25 parcelas inventariadas (2,1 ha) se encontraron un total de 2608 árboles, de los cuales 1065 fueron brinzales, 291 latizales y 1252 árboles fustales. Del total de fustales el 21,65 % tuvieron calidad 1, el 51,6 % calidad 2 y el 26,76% con calidad 3.

Los árboles fustales se caracterizaron por tener un DAP promedio de 24,16 cm, una altura total promedio de 23,65 m, un área basal promedio de 0,0566 m² y un volumen total promedio de 0,9766 m³.

El área basal total de los árboles fustales en las 25 parcelas inventariadas fue de 67,58 m² (32,18 m² ha⁻¹) y el volumen total fue de 1155,69 m³ (550,33 m³ ha⁻¹).

Los árboles ubicados en zonas con pendiente leve y moderada presentaron mayor DAP, mayor altura y mayor volumen que los árboles ubicados en zonas con pendiente fuerte, debido a que en estas zonas la edad de los árboles es superior, aunque en las zonas con pendiente fuerte presentaron una mayor densidad de individuos.

Considerando a la cobertura arbórea de la hacienda El Prado como plantación forestal se debe ralea de acuerdo al tipo de pendiente 20,94% en zonas con pendiente leve, 8,72% en zonas con pendiente moderada y 16,64% en zonas con pendiente fuerte.

Considerando la cobertura arbórea como bosque se debe realizar un plan de aprovechamiento forestal policíclico. En zonas con pendiente leve, utilizando una intensidad de corta del 60 %, se puede obtener 93,44 m³ de madera en las 14 ha cada año. En tanto que en zonas con pendiente moderada, utilizando una intensidad de corta del 60 %, se puede obtener 93,49 m³ de madera en las 11,84 ha cada año. Mientras que en zonas con pendiente fuerte con una intensidad de corta del 90 %, se puede extraer un volumen de madera de 174,89 m³ en las 26,70 ha cada año.

El aprovechamiento forestal del bosque de Eucalipto de la hacienda el Prado, se debe realizar en base a el plan de manejo presentado para la parte baja por Rivera (2005) y al plan de manejo propuesto para la parte alta, sino es así se seguirá desaprovechando este recurso disponible.

IX. RECOMENDACIONES

Determinar específicamente el marco legal vigente en el Ministerio del Ambiente, para el aprovechamiento forestal del bosque de la hacienda El Prado.

Aprovechar el recurso forestal disponible de acuerdo al plan de manejo propuesto para la parte baja por Rivera (2005) y la propuesta presentada en este trabajo para la parte alta del bosque de la hacienda El Prado.

Realizar labores de fertilización en el bosque de eucalipto de la hacienda El Prado, para mejorar la calidad de madera que se pueda obtener.

Realizar una valoración de la biodiversidad faunística existente en el bosque de la hacienda El Prado.

Elaborar un plan de prevención, control y mitigación de incendios para el bosque de la hacienda El Prado, fenómeno frecuente en época de verano y que causa grandes pérdidas económicas y ecológicas.

Es imprescindible que la ESPE a través del IASA realice actividades que brinden conocimientos indispensables para el manejo del bosque con técnicas silviculturales que garanticen un aprovechamiento racional del recurso forestal.

X. BIBLIOGRAFÍA

Acción Ecológica, 2001. Plantaciones de eucalipto en la provincia de esmeraldas: un mito ecológico. (en línea). Consultado el 2 de diciembre del 2005. Disponible en: <http://www.accionecologica.org/webae/images/docs/bosque/servicios.pdf>

AIMA (Asociación Ecuatoriana de Industriales de la Madera) 2006. (en línea). Consultado el 23 de agosto del 2006. Disponible en: http://www.aima.org.ec/paginas/revista_madedero.htm

Añazco, M. 2000. Selección de especies y manejo de semillas. Impresión Rispergraf. Quito- EC.58p.

Arce, M. 2005. Estación Meteorológica (entrevista). El Prado, EC, Escuela Politécnica del Ejército (ESPE-IASA).

COPESA s.f. ¿Qué es el manejo forestal? (en línea). Consultado el 15 de diciembre del 2005. Disponible en: [http:// www. Icarito cl.](http://www.Icarito.cl)

CORMADERA. 2002. Cartilla para la producción de Eucalipto. Quito-EC. 10p.

4 CORPEI.2003. Expansión de la oferta exportable del Ecuador. (En línea).

Consultado el 8 de diciembre del 2005. Disponible en:

<http://www.ecuadorexporta.org/productos-down/pe>

[rfil_de_materiales_de_construccion_en_ecuador334.pdf](http://www.ecuadorexporta.org/productos-down/pe_rfil_de_materiales_de_construccion_en_ecuador334.pdf)

DNF (Dirección Nacional Forestal, EC). 2000. Estrategia ambiental. (en línea). Consultado el 2 de diciembre del 2005. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ec/AMBIENTE/lotaip/organico/forestal.htm>

Dirección Nacional de Recursos Forestales de Puerto Rico. 2006. El Recurso Forestal: Definición y Diversidad. (en línea). Consultado el 15 de agosto del 2006. Disponible en: <http://www.gobierno.pr/DRNA/RecursosForestales/RecursosForestalesPR/DefincionDiversidad.htm>

Falconi, F., *et al.* s.f. Evaluación de la Política de Manejo Forestal en el Ecuador. (en línea). Consultado el 20 de mayo del 2006. Disponible en: <http://www.consortio.org/CIES/html/pdfs/Forestal/ecu1.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación IT). 2000. Inventario Forestal Mundial 1963. (en línea). Consultado el 14 de diciembre 2005. Disponible en: http://www.fao.org/documents/show_hfm.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación IT). 2000. Evaluación de los Recursos Forestales. Sistema de Información Forestal: Definiciones básicas de ERF 2000. (en línea). Consultado el 15 de agosto del 2006. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/meeting/003/X9835s/X9835s01.htm>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación IT). 2004. Generalidades del eucalipto. (en línea). Consultado el 2 de dic del 2005. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/eucalipto/004/x9800s00.htm>.

FAO, INEFAN, 1995 -Dirección de Planificación. Plan de Acción Forestal del Ecuador. Documento preliminar para discusión. Documento de trabajo No. 4. Proyecto GCP/ECU/064/NET-FAO. Apoyo a la implementación del PAFE. Ecuador.

FSC (Forest Stewardship Council) 2006. Because forest matter. (en línea). Consultado el 17 de agosto del 2006. Disponible en: http://www.fsc.org/esp/que_es_fsc/sobre_el_fsc/certificacion

González-Rúce, F. *et al*, s.f.; Manual técnico de silvicultura del Eucalipto. (en línea). Consultado el 6 de diciembre del 2005. Disponible en: <http://agrobyte.lugo.usc.es/agrobyte/publicaciones/eucalipto/indice.html>.

I.G.M. 1994. Hacienda El Prado. Pichincha EC. Esc. 1:5000.// 4h.

INEFAN-ITTO, 1995. Determinación de Áreas de Aptitud Forestal Para el Establecimiento de Plantaciones en el Litoral Ecuatoriano, Proyecto ITTO PD 25/93. International Tropical Timber Organization (ITTO), Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre (INEFAN). Quito.

INEFAN. 1995. Acción en defensa de los bosques y el medio ambiente. Ecuador

INFOSTAT 2006. InfoStat, versión 1.1. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina

Inventario Forestal s.f. Plan de Ordenación-Manejo. (en línea). Consultado el 15 de diciembre del 2005. Disponible en: <http://www.scruz.gov.ar/recursos/flora/inventar>.

Izko, X.; Burneo D., 2003, Herramientas para la Valoración y Manejo Forestal Sostenible de los Bosques Sudamericanos. UICN-Sur. (en línea). Consultado el 17 de septiembre del 2006. Disponible en: <http://www.sur.iucn.org/publicaciones/documentos/publicaciones/270.pdf>

Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre. Ley N° 74. RO/64 de 24 de agosto de 1981. (en línea). Consultado el 19 de mayo del 2006. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ec/AMBIENTE/legislacion/docs/ley%20forestal.pdf>

Liebermann, D; *et al.* 1985. Growth rates and age size relationships of tropical wet forest trees in Costa Rica. *Journal of tropical. Ecology.*109p.

Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Manual Técnico N° 46. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 265 p.

MERCOOPSUR. 1999. EL mundo del eucalipto. (en línea). Consultado el 1 de dic del 2005. Disponible en: <http://www.mercoopsur.com.ar/forestales/notas/eleucalipto.htm>

Orea, U; Cordero, E., 2004. Eucalipto, comunidad y entorno. (en línea). Consultado el 15 de diciembre del 2005. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/eucalipto/eucalipto.shtml>

Papelnet. Cl s.f. El árbol. El eucalipto. (en línea). Consultado el 15 de diciembre del 2005. Disponible en: [http:// www. Papelnet cl/árbol/eucalipto. htm](http://www.Papelnet.cl/árbol/eucalipto.htm)

Pozo R., W. E. & Olmedo, I. 2003. Estudio mastofaunístico preliminar en " El Prado", instalaciones de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la ESPE, Sangolquí - Ecuador. En: *Resúmenes de las XXVII jornadas Ecuatoriana de biología*. 154p.

Rivera, PA. 2005. Caracterización del bosque de *Eucalyptus globulus* de la parte baja de la hacienda el Prado. Tesis Ing. Agropec. Sangolqui, EC, ESPE-IASA. 84 p.

SERNA (Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente de Honduras). 2005. "Taller Nacional sobre la Definición de Bosques en los proyectos Forestales de MDL en Honduras". (en línea). Consultado el 15 de junio del 2006. Disponible en: http://www.fundacionvida.org/index.php?option=com_content&task=view&id=47&Itemid=86

Texto Unificado de la legislación Ambiental Secundaria. (TULAS). Decreto Ejecutivo 3399. RO/725 del 6 de diciembre del 2002 y Edición Especial N° 2 del 31 de Marzo del 2003. (en línea). Consultado el 19 de mayo del 2006. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ec/>

Torres, J.; Magaña, O. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Editorial Limusa S.A. México D.F. 472p.

Vanclay, JK.1994. Modelling forest growth and yield. Applications to mixed tropical forest CAB International. Wallingford-IN.312p.

Villacís, J. 2004. Silvicultura y manejo de plantaciones forestales, Sangolquí. EC. 173p.

Washington, E. 1997. Manual para la producción de eucalipto. Editorial EDI –U. Quito-EC. 60p

Wikipedia. La enciclopedia libre. 2006. El bosque. (en línea). Consultado el 15 de junio del 2006. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Bosque>

Zambrano, R. 2002. Labores silviculturales (en línea). Consultado el 21 de mayo del 2006. Disponible en: http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/ingrizzo/perfiles_producto/forestacion.pdfcorpag.