

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



**Efecto de un incendio forestal en una
plantación de Eucalyptus globulus
Labill. subsp. globulus en Huaraz**

Tesis para optar el Título de
INGENIERO FORESTAL

Cesar Augusto Samaniego Minaya

Lima – Perú
2013

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por el ex-alumnode la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **CESAR AUGUSTO SAMANIEGO MINAYA**, intitulado “EFECTO DE UN INCENDIO FORESTAL EN UNA *PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL. SUBSP. GLOBULUS* EN HUARAZ”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 8 de julio de 2013

.....
Ing.Florencio Trujillo
Presidente

.....
Ing.Kethy Martinez
Miembro

.....
Ing.Martin Simbaña
Miembro

.....
Dr.María Isabel Manta Nolasco
Patrocinador

.....

RESUMEN

Los incendios forestales (IF) son eventos cuya frecuencia e intensidad va en aumento en las últimas décadas en el Perú; sus efectos en el recurso forestal son de importancia tal que requieren ser estudiados y comprendidos para tomar decisiones acertadas de manejo. El presente estudio tuvo como objetivo la evaluación de los efectos de un IF superficial en una plantación de *Eucalyptus globulus Labill subsp. globulus* de 48 meses de establecida y con densidad de siembra de 2500 árboles/ha. Con una metodología basada en un muestreo sistemático y una intensidad de muestreo del 5%, después de 15 meses de su ocurrencia, se evaluó los efectos del fuego en la supervivencia, desarrollo y estado sanitario de la población así como en las propiedades físico-químicas del suelo y se comparó dichos resultados con un testigo. Se utilizó la prueba de independencia de Chi-cuadrado ($p=0,05$) para el análisis estadístico de las variables cualitativas.

La incidencia de los daños ocasionados por el fuego en la plantación fue 100% y el nivel de severidad de 4,2. El valor de supervivencia fue 77%, basada principalmente en la regeneración a partir de rebrotes con un 71,15% del total de rebrotes de calidad aceptable. La media del crecimiento fue de 1,1 cm de diámetro y 0,88 m de altura. El vigor de la copa e inclinación del fuste se vieron afectadas negativamente presentando diferencias significativas respecto al testigo. El estado sanitario fue mejor en el área afectada por el fuego que en el testigo. Los daños mecánicos y defectos de crecimiento (torcedura basal y bifurcación) presentes en la plantación no presentaron diferencias significativas respecto al testigo, así la calidad de la plantación se vio reducida en un 50% de los individuos. El suelo presentó cambios en la textura, se observó un ligero aumento del pH y una notable disminución del porcentaje de materia orgánica. El contenido de fósforo en el suelo mantiene un ligero aumento mientras que el potasio se vio notablemente reducido. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue ligeramente reducida, mientras los cationes cambiabiles presentaron en general un ligero aumento en su concentración. La suma de cationes, suma de bases y porcentaje de saturación de bases no presentaron diferencias respecto al testigo.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
ÍNDICE.....	VI
LISTA DE CUADROS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE ESTUDIADA	3
2.1.1 Clasificación taxonómica de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. subsp. <i>globulus</i>	3
2.1.2 Descripción botánica de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. subsp. <i>globulus</i>	3
2.1.3 Nombres comunes	4
2.1.4 Origen	4
2.1.5 Factores limitantes.....	4
2.1.6 Requerimientos ambientales.....	4
2.1.7 Vegetación asociada.....	5
2.1.8 Importancia ecológica	5
2.1.9 Plagas y enfermedades.....	5
2.1.10 Usos	6
2.2 DEFINICIÓN Y TIPO DE PLANTACIÓN FORESTAL	7
2.2.1 Plantación forestal	7
2.2.2 Tipos de plantación forestal	7
2.2.3 Importancia de las plantaciones forestales	7
2.2.4 Antecedentes de plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. subsp. <i>globulus</i>	9
2.3 INCENDIOS FORESTALES (IF).....	11
2.3.1 Definición	11
2.3.2 Tipos de incendio forestal.....	11
2.3.3 Tendencias de los incendios forestales en el Perú	12
2.3.4 Causas de los incendios.....	13
2.3.5 El triángulo de fuego.....	15
2.3.6 Factores que influyen en el comportamiento del fuego	15
2.3.7 Efectos de los incendios en las plantaciones.....	21
2.3.8 Efectos del fuego sobre el suelo y agua.	24
2.4 CONSIDERACIONES SOBRE LA EVALUACIÓN DE UNA PLANTACIÓN FORESTAL.....	26
2.4.1 Planificación de la evaluación	26
2.4.2 Tipos de evaluación.....	27
2.5 EVALUACIÓN DE DAÑOS EN UNA PLANTACIÓN.....	32
3. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	34
3.1.1 Localización geográfica	34
3.1.2 Clima.....	36
3.1.3 Vegetación	37
3.1.4 Descripción general de suelos.....	40
3.1.5 Antecedentes de la plantación y del incendio forestal.	42

3.2	PROCEDIMIENTO	43
3.2.1	<i>Diseño de muestreo</i>	43
3.2.2	<i>Efecto de los incendios forestales sobre la supervivencia</i>	44
3.2.3	<i>Efecto de los incendios forestales sobre el crecimiento</i>	44
3.2.4	<i>Efecto del if en la calidad de la plantacion</i>	45
3.2.5	<i>Medición de la incidencia y severidad del if en la plantación</i>	47
3.2.6	<i>Efecto del if en el suelo</i>	50
3.2.7	<i>Cálculo del carbono equivalente presente en la plantación</i>	50
3.3	MATERIALES Y EQUIPOS	51
3.4	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	53
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.1	EFFECTO DEL IF SOBRE LA SUPERVIVENCIA DE LA PLANTACION DE <i>EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL SUBSP. GLOBULUS</i>	55
4.2	EFFECTO DEL IF SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN	57
4.3	EFFECTO DEL IF SOBRE LA CALIDAD DE LA PLANTACIÓN	62
4.4	INCIDENCIA Y SEVERIDAD DEL IF SOBRE LA PLANTACIÓN	71
4.5	EFFECTO DEL IF SOBRE EL SUELO DE PROTECCIÓN	72
4.6	ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA ECONÓMICA OCASIONADA POR EL IF	80
5.	CONCLUSIONES.....	82
6.	RECOMENDACIONES.....	83
ANEXO 1	93
	ESQUEMATIZACIÓN DE LOS VALORES DE FORMA DE COPA (SYNNOTT, 1979).....	93
ANEXO 2	94
	DATOS METEOROLÓGICOS PARA EL PERIODO 2008-2011. ESTACIÓN YUNGAY. FUENTE: SENAMHI.....	94
ANEXO 3	95
	FORMATO DE EVALUACIÓN DE LOS ANTECEDENTES DE LA PLANTACIÓN.....	95
ANEXO 4	96
	FORMATO DE ENTREVISTA ORAL SOBRE LOS ANTECEDENTES DEL IF	96
ANEXO 5	97
	INFORME VALORIZADO DE INCENDIO FORESTAL DEL SECTOR QUITACOCCHA DISTRITO DE SANTO TORIBIO	97
ANEXO 6	98
	FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE LA PLANTACIÓN EN CAMPO	98
ANEXO 7	99
	EVALUACIÓN DE INCIDENCIA Y SEVERIDAD DEL INCENDIO FORESTAL.....	99
ANEXO 8	100
	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELO	100
ANEXO 9	101
	IMÁGENES DE LA PLANTACIÓN	101
	103

Lista de cuadros

	Página
CUADRO 1	MAYORES ÁREAS PLANTADAS DE EUCALYPTUS POR PAÍS.....8
CUADRO 2	SUPERVIVENCIA DE LAS PLANTACIONES DE EUCALYPTUS GLOBULUS EN LA SIERRA PERUANA.10
CUADRO 3	MUESTRA DE LA OCURRENCIA DE LOS INCENDIOS FORESTALES DE LOS ÚLTIMOS 31 AÑOS EN PERÚ CON ESPECIAL INCIDENCIA EN LA SIERRA Y COSTA PERUANA.....13
CUADRO 4	CAUSAS DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN AMÉRICA DEL SUR14
CUADRO 5	ESTUDIOS DE CONTENIDO DE CARBONO POR ESPECIE Y POR ECOSISTEMA17
CUADRO 6	SUPERVIVENCIA DE UNA PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS AFECTADA POR EL FUEGO Y TESTIGO55
CUADRO 7	DIÁMETRO Y ALTURA TOTAL PROMEDIO DE LA PLANTACIÓN DE 4 AÑOS DE EDAD.57
CUADRO 8	DIÁMETRO Y ALTURA TOTAL PROMEDIO DE LA PLANTACIÓN EVALUADA.....60
CUADRO 9	ÍNDICE DE CRECIMIENTO MEDIO ANUAL (IMA) DE LA PLANTACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO.62
CUADRO 10	VARIABLES DE CALIDAD DE LA PLANTACIÓN EVALUADAS EN UNA PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS AFECTADA POR EL INCENDIO FORESTAL (ESTRATO 1) Y EL ÁREA TESTIGO (ESTRATO 2).....63
CUADRO 11	CALIDAD DE UNA PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS DESPUÉS DE 15 MESES DE AFECTADA POR EL FUEGO Y CALIDAD DE LA PLANTACIÓN TESTIGO.....63
CUADRO 12	PRUEBA DE INDEPENDENCIA CHI-CUADRADO ($p=0,05$) PARA LAS VARIABLES CALIDAD DE LA PLANTACIÓN Y OCURRENCIA DEL INCENDIO FORESTAL ($N=1440$; $n=440$).65
CUADRO 13	PRUEBA DE INDEPENDENCIA DE CHI-CUADRADO DE LAS VARIABLES CUALITATIVAS EVALUADAS Y OCURRENCIA DEL INCENDIO FORESTAL.65
CUADRO 14	SÍNTOMAS OBSERVADOS EN LA PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS AFECTADA (ESTRATO 1) Y NO AFECTADA POR EL IF (ESTRATO 2).70
CUADRO 15	INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE LOS DAÑOS CAUSADOS POR EL INCENDIO FORESTAL EN UNA PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS DE 4 AÑOS.72
CUADRO 16	VALORES DE PH DEL SUELO A 15 MESES DE OCURRIDO EL IF EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....73
CUADRO 17	CONTENIDO DE M.O (%) EN EL ESTRATO 1 Y 2 A 15 MESES DE HABER OCURRIDO EL IF.....74
CUADRO 18	ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO DEL ESTRATO 1 Y 2 A 15 MESES DE OCURRIDO EL IF.75
CUADRO 19	PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO DEL ESTRATO 1 Y 2, A LOS 15 MESES DE OCURRIDO EL IF.....79
CUADRO 20	ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CONTENIDO DE CARBONO PARA LA PLANTACIÓN EVALUADA81
CUADRO 21	ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA ECONÓMICA OCASIONADA POR EL INCENDIO FORESTAL.....81
CUADRO 22	DATOS METEOROLÓGICOS PARA EL PERIODO 2008-2001. ESTACIÓN YUNGAY94
CUADRO 23	FORMATO DE EVALUACIÓN DE LOS ANTECEDENTES DE LA PLANTACIÓN.....95
CUADRO 24	FORMATO DE ENTREVISTA ORAL SOBRE LOS ANTECEDENTES DEL INCENDIO FORESTAL.96
CUADRO 25	FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE LA PLANTACIÓN EN CAMPO.98
CUADRO 26	FORMATO DE EVALUACIÓN DE INCIDENCIA Y SEVERIDAD DEL INCENDIO FORESTAL99

Lista de figuras

	Página
FIGURA 1	ESCALA GRÁFICA DE LA FORMA DE COPA5. PERFECTO,4. BUENA, 3. TOLERANTE, 2. POBRE, 1. MUY POBRE.29
FIGURA 2	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO35
FIGURA 3	TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN PROMEDIO DE LA ZONA DE ESTUDIO PERIODO 2008-2011. ESTACIÓN YUNGAY.....37
FIGURA 4	ESCALA GRÁFICA DE LA SEVERIDAD DEL DAÑO DEL IF EN LA PLANTACIÓN49
FIGURA 5	SUPERVIVENCIA DE UNA PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS AFECTADA POR EL FUEGO Y TESTIGO.56
FIGURA 6	DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA DE LA PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS DE 4 AÑOS DE EDAD (A).AFECTADA POR EL INCENDIO FORESTAL A LOS 2 AÑOS Y 9 MESES DE ESTABLECIDA Y (B) ÁREA TESTIGO.59
FIGURA 7	DISTRIBUCIÓN DE ALTURAS DE LA PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS DE 4 AÑOS (A) AFECTADA POR EL INCENDIO FORESTAL A LOS 2 AÑOS Y 9 MESES DE ESTABLECIDA Y (B) ÁREA TESTIGO.60
FIGURA 8	CALIDAD DE UNA PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS AFECTADA POR EL FUEGO Y TESTIGO.....64
FIGURA 9	NÚMERO DE INDIVIDUOS CON ANOMALÍAS DE CRECIMIENTO EN LA PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS AFECTADA POR EL FUEGO Y NO AFECTADA POR EL FUEGO.66
FIGURA 11	ESTADO SANITARIO DE LA PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS AFECTADA Y NO AFECTADA POR EL IF.....68
FIGURA 13	MARCHITAMIENTO GENERAL EN EUCALIPTO.....69
FIGURA 14	CANCRO EN FUSTE DE EUCALIPTO.....69
FIGURA 15	CONTENIDO DE M.O (%) EN EL ESTRATO 1 Y 2 A 15 MESES DE HABER OCURRIDO EL IF.....74
FIGURA 16	CONTENIDO DE POTASIO (PPM) EN UNA PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS A 15 MESES DE SER AFECTADA POR EL FUEGO Y TESTIGO.....76
FIGURA 17	VISTA GENERAL DE LA PLANTACIÓN EVALUADA101
FIGURA 18	DEFECTO DE CRECIMIENTO: TORCEDURA BASAL.101
FIGURA 19	DEFECTO DE CRECIMIENTO: BIFURCACIÓN.102
FIGURA 20	DEFECTO DE CRECIMIENTO: INCLINADO.102
FIGURA 21	ATAQUE DEL PIOJO EL EUCALIPTO (CTENARYTAINA EUCALYPTI).....103
FIGURA 22	PRESENCIA Y ANCLAJE DE MÚLTIPLES REBROTOS103
FIGURA 23	PRESENCIA DE CANCRO EN EL TALLO DE LOS ÁRBOLES AFECTADOS POR EL FUEGO.....104
FIGURA 24	ÁRBOL NO AFECTADO POR EL FUEGO104
FIGURA 25	REBROTE DE ÁRBOL AFECTADO POR EL FUEGO105

1. INTRODUCCIÓN

El *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. *globulus* es la especie forestal de mayor utilización en la reforestación del país, especialmente en las zonas altas del país, esto es, entre los 1000 y 3500 metros sobre el nivel del mar. Su aceptación como madera ha ido creciendo en el mercado nacional, por lo que constituye una opción muy promisoría. Actualmente en el país se cuenta con aproximadamente 1 008 000 ha de superficie reforestada acumulada con fines sociales principalmente y una tasa anual de siembra de aproximadamente 38 000 ha. En Ancash se cuenta ya con cerca de 90 486 ha establecidas de diferentes edades y una tasa anual de siembra de aproximadamente 3000 ha (MINAG 2011).

En el ámbito mundial el pronóstico sobre los incendios forestales (IF), tiende al incremento de su frecuencia y severidad, como consecuencia del cambio de uso del suelo (Manta 2007), el fenómeno del niño y el calentamiento global (ITTO 2006). La sierra del Perú presenta condiciones meteorológicas que favorecen la ocurrencia de IF y existe una creciente superficie afectada por los IF que no poseen un programa de prevención y de extinción adecuado (Manta y León 2004; Shilsky et al. 2009). Las regiones ubicadas a gran altitud, son ecosistemas frágiles, con volúmenes forestales considerables de especies inflamables como el eucalipto y el pino, y son por lo tanto una potencial superficie de incendios. La tendencia creciente de la población y la migración en los últimos años impulsan a aumentar rápidamente el peligro de incendios; el impacto del incremento de temperatura sobre la vegetación es más severo en áreas de elevada altitud que en áreas de baja altitud, por lo que la situación del peligro de incendios es más severa (Wang et al. 2007), así como las variaciones del incremento de la precipitación contribuyen a aumentar este peligro (Viegas 2002). Por lo tanto el fuego se constituye en uno de los principales agentes de destrucción de las plantaciones forestales.

En el país, existe desconocimiento cualitativo y cuantitativo de los efectos biológicos causado por un IF en una plantación así como de la respuesta de la vegetación y del suelo forestal al mismo. Esta situación no permite tomar decisiones técnicas ya que no se conoce con precisión el nivel de supervivencia y la calidad de los árboles de la plantación posterior a sufrir un IF, la cantidad del recurso forestal disponible así como las condiciones del suelo forestal. Una plantación forestal representa inversiones de dinero en el corto, mediano y largo plazo, por lo que se hace necesario también valorar económicamente el daño de los IF.

La magnitud, estado actual y proyecciones socio-económicas de las plantaciones forestales en la Sierra del Perú justifican la necesidad de disponer de metodologías idóneas para evaluar aspectos silviculturales, económicos, sociales y los agentes de destrucción con el objeto de lograr el rendimiento sostenido de las actividades forestales. Las características de crecimiento, adaptabilidad, diversidad de productos y sensibilidad al manejo forestal, justifican la dedicación de esfuerzos humanos y materiales para investigar las posibilidades de producción y manejo del eucalipto (Carrillo 2001).

La investigación tiene como objetivo general evaluar el efecto de un IF en una plantación de *Eucalyptus globulus Labill. subsp. globulus* de cuatro años de edad ubicada en Huaraz, para ello se contempla los siguientes objetivos específicos

- a) Determinar la supervivencia de la especie
- b) Evaluar el efecto del IF sobre el crecimiento de la especie
- c) Determinar la calidad de la plantación luego del IF.
- d) Determinar la incidencia y severidad del IF sobre la plantación; y
- e) Evaluar el efecto del fuego sobre las características físicas y químicas del suelo.

El estudio permitirá conocer la respuesta de la plantación de *Eucalyptus globulus Labill. subsp. globulus* luego de que ocurriera el IF. Este conocimiento permitirá tomar decisiones en la prevención y restauración del área (vuelo y suelo forestal)

afectada por el fuego y servirá como referencia para posteriores estudios que busquen determinar: especies resistentes a incendios y efecto del fuego sobre los recursos forestales.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El *Eucalyptus globulus* Labill. subsp *globulus* es la principal especie utilizada en el Perú para los programas de forestación y reforestación desde los años 1860 (FAO, 1981).

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE ESTUDIADA

2.1.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* LABILL. SUBSP. *GLOBULUS*.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Myrtales

Familia: Myrtaceae

Género: *Eucalyptus*

Especie: *globulus*

Nombre común: Eucalipto

Nombre científico: *Eucalyptus globulus* Labill.
subsp. globulus.

2.1.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* LABILL. *SUBSP. GLOBULUS*

Altura del árbol en Australia de 45–55 metros; con un tronco derecho macizo y una copa abierta y pesada. Tipo de corteza: áspera, gris y persistente en la base; lisa en la parte superior las hojas juveniles son opuestas, sésiles, amplexicaules y glaucas, las hojas adultas son alternas, pecioladas, lanceoladas, a menudo curvadas. La madera es pardo amarillenta clara, textura abierta, generalmente grano entrelazado, anillos de crecimiento bastante evidentes, fuerte y relativamente durable. (FAO 1981).

2.1.3 NOMBRES COMUNES

Nombre vulgar en Australia. « Tasmanian blue gum »

2.1.4 ORIGEN

Regiones nativas. Tasmania y Promontorio de Wilson y costa adyacente de Victoria; las islas en el estrecho de Bass entre Tasmania y el continente.

Latitudes. 38°30'-43°30'S

Alturas. 0-330 metros de sobre el nivel del mar

2.1.5 FACTORES LIMITANTES

La plantación de la especie *Eucalyptus globulus* Labill. subsp *globulus* en latitudes superiores a 44° y a elevaciones mayores de los 2800 metros de altitud en el ecuador está muy limitada por las heladas y las bajas temperaturas. La helada es especialmente perjudicial a las plántulas y brotes de 1-2 años, pero las plantas mayores son relativamente resistentes a heladas ligeras. Se han señalado temperaturas de 6°C y -7°C como los límites a su resistencia al frío. (FAO 1981). La mayor parte de las áreas muestreadas con pendiente de 50 por ciento a más, no son sitios adecuados para la producción de madera, sino más bien para mantener bajo protección, por lo cual se cuestiona el plantar eucalipto en ellas (Carlson y Candelas 1985).

Además de la sequía, la principal limitación ecológica para plantar *E. globulus* en la Sierra, es el frío. En Perú se considera como límite máximo de altura para plantación de la especie, 3100 metros de altitud en Cajamarca, 3400 metros de altitud en Ancash y 3600 metros de altitud en Junín y Cusco (Carlson y Candelas 1985).

2.1.6 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES

Las condiciones mínimas que el eucalipto requiere para obtener rendimientos económicos rentables, son terrenos cuya profundidad sea mayor a un metro, bien drenados, sueltos, de baja pedregosidad y pH entre 5,5 a 6,5 básicamente. De igual forma, la temperatura media anual entre 10°C a 14 °C y 700 mm de precipitación como mínimo. Sin estas condiciones sus rendimientos no podrán superar los parámetros mínimos de rentabilidad (Carrillo 2001).

La calidad de sitio para el eucalipto en la Sierra depende de varios factores (pendiente, precipitación, superficie de cóncava a convexa, volumen del suelo ocupado por piedra y profundidad efectiva del suelo para las raíces) que básicamente definen la tendencia del terreno a secarse (Carlson y Candelas 1985).

2.1.7 VEGETACIÓN ASOCIADA

El *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. *globulus* se cruza con una cantidad de otras especies de eucaliptos emparentadas. Pocos de sus híbridos han tenido importancia económica, pero en Portugal se ha indicado un notable vigor híbrido en un cruce con *E. robusta*. Se reconocen dos variedades de cultivares: *E. globulus* var. *compacta* y *E. globulus* var. *coronifera*. (FAO 1981).

2.1.8 IMPORTANCIA ECOLÓGICA

El *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. *globulus* tiene una cantidad de empleos. El árbol es valioso para el control de la erosión, plantaciones de esparcimiento y a los lados de las carreteras, barreras contra el viento y de abrigo y para otros fines de protección de cuencas y ambientales (FAO 1981).

2.1.9 PLAGAS Y ENFERMEDADES

El *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. *globulus* es atacada por una cantidad de enfermedades y plagas de insectos. En España, son importantes enfermedades de las semillas *Penicillium* sp. y *Fusarium* sp., siendo el último muy destructivo para la semilla almacenada. La podredumbre húmeda de los semilleros y el ahilamiento de las plántulas (por ejemplo, *Botrytis cinerea*) y otras enfermedades del vivero han creado problemas en muchos países, pero por suerte pueden ser ampliamente controladas con adecuadas técnicas fitosanitarias (FAO 1981).

El *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. *globulus* es también susceptible a la infestación por parte del taladro del eucalipto *Phoracantha semipunctata*. Ha sido señalado en las plantaciones de *E. globulus* en Chile, costa del Perú, Uruguay y Sudáfrica. (FAO 1981).

En el Perú ha habido presencias ocasionales de gomosis en las plantaciones posiblemente a causa de las tensiones fisiológicas debidas a la sequía, al fuego, heladas o ataques de insectos (Bazán de Segura 1967).

La plaga conocida como el piojo del eucalipto (*Ctenarytaina eucalypti*) es originaria de Australia donde vive asociada a otras especies de Myrtaceas fue introducida al Perú y ocasiona daños como: deformación de hojas juveniles y brotes de las ramas, debilitamiento y secamiento de brotes y hojas infestadas y deformación del árbol por ataques sucesivos y crecimiento restringido.

Cadahia (1980) y Olivares (2000) citados por Marquina (2003), mencionan que los daños más severos se verifican cuando los crecimientos son más lentos y se prolonga la permanencia del follaje juvenil. La alimentación de *Ctenarytaina eucalypti* causa la inhibición de la formación de brotes y la deformación de hojas tiernas, así mismo los brotes tiernos con menor ataque llegan a secarse, generando bifurcaciones de las guías terminales que retardan el crecimiento del eucalipto. Por tratarse de insectos picadores-chupadores produce la desecación paulatina de hojas y brotes atacados que terminan retorciéndose y deformándose, además como consecuencia de la actividad de los insectos se produce en la zona de ataque, una abundante secreción azucarada o melaza que facilita la aparición de “fumagina”, hongo con aspecto de hollín. Marquina (2003) concluye que por el comportamiento que muestra y el daño que provoca la *Ctenarytaina eucalypti* a la yema terminal de hojas juveniles, brotes tiernos del *Eucalyptus globulus* se le clasifica como plaga forestal de tipo ocasional. La población ninfal aumenta al término de la época de lluvias el mes de marzo, por su biología y comportamiento facilitaría iniciar el control biológico en esta época, en la zona de Ancash.

2.1.10 USOS

Los usos principales de la madera son para leña, madera para pasta, para minas, postes cortos y largos y empalizadas. Produce una buena leña, con un valor calorífico de 19 900 KJ/kg (4750 cal/kg), quema con facilidad y deja poca ceniza residual, carbonizándose fácilmente y produciendo buen carbón (FAO 1959).

Madera apreciada para la construcción ligera y pesada, para postes largos, pilotes e incluso para traviesas de ferrocarril. Uno de los mejores eucaliptos para hacer papel. Buen combustible (FAO 1981).

2.2 DEFINICIÓN Y TIPO DE PLANTACION FORESTAL

2.2.1 PLANTACIÓN FORESTAL

Una plantación forestal es el cultivo de especies forestales maderables con fines económicos, ecológicos y sociales que generan bosques artificiales, con una masa forestal homogénea (Torres y Magaña 2001). Manta (1997) lo define como un ecosistema forestal artificial donde todas las condiciones ambientales son definidas por el investigador o gestor forestal.

2.2.2 TIPOS DE PLANTACION FORESTAL

La plantación forestal puede significar una ayuda potencial para impulsar el desarrollo en una región o país, y así la producción puede estar encaminada a satisfacer la demanda interna de productos forestales, así mismo, la utilización de tierras con poco o nulo valor agrícola y la creación de empleos. Las plantaciones juegan un papel importante, para la producción de la madera que se requerirá en el futuro, y pueden además ser catalizadoras de las presiones que actualmente se ejercen sobre los bosques naturales, permitiendo que las comunidades naturales puedan ser utilizadas como reserva para la protección y propagación de los recursos genéticos disponibles (Patiño 1994). Así mismo las plantaciones forestales con fines de protección ambiental y recuperación de suelos degradados por la agricultura y ganadería así como para la estabilización del clima cobran cada vez, más importancia actual y futura (Manta 2007).

2.2.3 IMPORTANCIA DE LAS PLANTACIONES FORESTALES

Las plantaciones forestales generan un valor económico en el ámbito empresarial, regional y nacional, y estas propician la integración de procesos de producción de materia prima de industrialización y comercialización de productos, así como la producción de servicios ambientales.

El género *Eucalyptus* constituye la mayor parte de las plantaciones de frondosas de crecimiento rápido realizadas en zonas de clima moderado y cálido. Por países, las mayores áreas plantadas de eucalipto se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1 Mayores áreas plantadas de *Eucalyptus* por país.

<i>País</i>	<i>Área plantada (ha)</i>
Brasil	2 921 000
India	2 670 000
España	650 000
Sudáfrica	570 000
Portugal	550 000
Uruguay	360 000
Chile	300 000
Australia	297 000
China	274 000
Argentina	250 000
Vietnam	202 000

Fuente: A. Klemarewski, RAUTE (2000)

Las 2 especies principales que cubren la superficie anterior son *E. grandis* y *E. globulus*. La importancia de estas plantaciones es tal que previsiones conservadoras apuntan a que en breve plazo la producción mundial de eucalipto representara un 15% del suministro total mundial de madera a la industria.

El área plantada de la región de América Latina y el Caribe es de 13,1 millones de hectáreas (FRA 2005), alcanzará alrededor de 17,3 millones en el 2020, de esta superficie se presume que 9,8 millones de hectáreas se encuentren en la subregión amazónica, que proveerán de un potencial suministro de 264 millones de metros cúbicos de madera. En el caso de la subregión del Cono Sur (que también incluye todo el Brasil) las plantaciones forestales de pino (*Pinus spp.*), eucalipto (*Eucalyptus spp.*) y pino Paraná (*Araucaria angustifolia*), totalizarán 11,7 millones de hectáreas. Se espera que la producción sostenible también de bosques plantados (que incluye plantaciones) en la región crezca de 303 millones de m³ a aproximadamente 480 millones de metros cúbicos para el 2020. Este mayor crecimiento en producción y en superficie, será debido principalmente al incremento en la productividad (FAO 2006).

Las especies más plantadas en América Latina y el Caribe pertenecen a los géneros *Eucalyptus* y *Pinus*. Para el año 2000 el 82 por ciento de toda la superficie plantada

estaba cubierta en igual proporción por estas dos especies (FAO 2006). En el Perú los departamentos con más plantaciones de *Eucalyptus* son Cusco, Cajamarca, Ancash, Apurímac y Junín. (MINAG, 2011).

Además las necesidades de plantaciones forestales estarán condicionadas tanto por la demanda de productos forestales como por nuevos productos y servicios, principalmente los ambientales, como los incluidos en el Protocolo de Kyoto.

2.2.4 ANTECEDENTES DE PLANTACIONES DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* LABILL. SUBSP. *GLOBULUS*.

De acuerdo a inventarios de plantaciones forestales disponibles que se ha podido revisar, los índices de supervivencia de esta especie son bastante bajos. Se ha estimado que el promedio nacional de supervivencia del eucalipto se encuentra entre 50 a 60 por ciento. Este bajo porcentaje de supervivencia de las plantaciones obedece a una serie de factores (Carrillo 2001).

PRONAMACHCS (1998) menciona que en la sierra peruana hay un alto potencial de suelos con aptitud para plantaciones forestales. En la evaluación de plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus* realizadas en los comités conservacionistas de la sierra peruana se ha obtenido resultados satisfactorios con prendimientos promedios de 86 % (+/- 12,45 %) como se muestran en el Cuadro 2. Asimismo menciona que los factores que han afectado la supervivencia fueron la pendiente, calidad de sitio, precipitación, pastoreo en plantaciones, plantas pequeñas y hoyos inadecuados (Simbaña 2011).

Cuadro 2 Supervivencia de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en la sierra peruana.

<i>Lugar</i>	<i>Área Evaluada</i>	<i>Supervivencia</i>
	<i>ha</i>	<i>%</i>
Distrito de Copán Yunguyo (Puno)	5	92
Comunidad de Chiara Orinsaya Colcatuna	1	50
Comunidad de Canchahua, Sicuani Cusco.	3	82
Comunidad de Livincaya Sicuani Cusco	1	91
Comunidad de Anta Huaribamba, Huancavelica	5	85
Comunidad de Ayacancha	5	80
Comunidad de Huancal	10	90
Comunidad de Vicora Cayao, Tarma, Junin	4	95
Comunidad Encañada, Encañada, Cajamarca	0,25	92
Comunidad de Canto, Pira, Ancash	2	95
Comunidad de Inti Raymi	11	95

Fuente: PRONAMACHCS (1998)

Casi en su totalidad, las plantaciones adolecen de tratamientos silviculturales posteriores a la plantación a pesar de los esfuerzos de algunas instituciones, como el Proyecto FAO Holanda y CARE ALTURA, que han apoyado la formulación de algunos planes de manejo para los cultivos forestales. La falta de un plan operativo en plantaciones forestales, ha traído como consecuencia la pérdida de la productividad de los bosques y de la calidad de sus productos y servicios forestales (Manta 1997).

El eucalipto ha demostrado ser extremadamente sensible a las prácticas de manejo silvícola, obteniéndose favorables respuestas a técnicas de establecimiento y manejo que redundan en mayores tasas de crecimiento anual, mayor productividad y rendimiento económico (Carrillo 2001).

La rotación más frecuente puede variar de 4 a 30 años dependiendo del uso que se va dar al producto: para leña es de 4 años, para minas es de 7-12 años y para aserrío de 10-30 años (Gonzales 1969).

Los rendimientos actuales de las plantaciones de eucalipto son bajos, estimándose el promedio nacional para el eucalipto entre 7 a 10 m³ de incremento medio anual del volumen (IMA) por hectárea (Carrillo 2001).

En el Perú, el IMA del volumen para el altiplano es en promedio 10 m³/ha. En Etiopía, el promedio más bajo es 10 m³/ha a los 10 años, y el máximo 20 m³/ha, pero se

considera posible obtener 35 m³ en sitios favorables con ordenación mejorada. En Uruguay se obtiene hasta 25 m³/ha sobre buenos sitios (FAO 1981).

2.3 INCENDIOS FORESTALES (IF)

2.3.1 DEFINICION

Los IF pueden ser definidos desde varias áreas de conocimiento y bajo muchos parámetros. Desde el punto de vista físico-químico un incendio puede considerarse como un proceso auto acelerado de oxidación con liberación súbita de energía, gases y nutrientes en forma de ceniza (Vélez 2000). Desde el punto de vista de la gestión forestal la FAO (2010) lo define como cualquier incendio de vegetación no programado y/o incontrolado, incluye los incendios de vegetación que son prendidos como acción de manejo pero sobrepasan las restricción establecidas en el plan de fuego y por tanto requieren medidas de extinción y excluye los incendios de vegetación no programados que están con conformidad con los objetivos de manejo. A su vez Manta y León (2004) definen a los IF como el fuego descontrolado que ocurre sobre la vegetación que se desarrolla en tierras forestales “F” (producción y protección), ambientes acuáticos emergentes y sobre los demás componentes silvestres que se desarrollan en las tierras de protección (X), cualquiera sea su ubicación en el territorio nacional.

2.3.2 TIPOS DE INCENDIO FORESTAL

Los IF se clasifican en tres tipos que inciden de diferente manera sobre vuelo y suelo forestal.

Los incendios subterráneos se propagan por debajo del suelo, los cuales suelen tener una mayor intensidad, ya que la combustión se lleva a cabo en forma más lenta y por lo tanto el daño generado a la microbiota y a la materia orgánica del suelo es mayor.

Los incendios superficiales suelen ser más agresivos con las estructuras vegetales superficiales de especies que alcanzan menos de 1,5 m de altura. Las especies de hierbas y arbustos son incineradas en forma total o parcial.

Los incendios de copas se producen cuando las llamas alcanzan la copa de los árboles y pasan de un árbol a otro causando daños en sus ramas y fustes; este tipo de incendios

se da generalmente en presencia de vientos muy fuertes, en cultivos artificiales donde las especies predominantes son pinos y eucaliptos, y en áreas con fuerte pendiente donde el proceso de convección es más frecuente (Bond & Van Wilgen 1996; Mataix 1999; Porrero 2001).

A menudo el tipo y comportamiento del IF tiene diferentes consecuencias sobre el área afectada (Mataix 1999), lo cual implica analizar diferentes componentes y procesos biofísicos. El fuego es el resultado de un proceso fisicoquímico llamado combustión, el cual se produce cuando a un material combustible se le aplica calor en presencia de oxígeno (Vélez 2000) produciendo una reacción en cadena. Sólo la interacción de estos elementos genera un incendio, por lo cual ha sido definido como el triángulo del fuego (Porrero 2001).

La transferencia del calor del fuego determina a menudo la ignición (inicio), combustión y extinción de la mayoría de IF (Viegas 2002). El calor se puede transferir por *conducción* cuando se transmite directamente de un cuerpo a otro, por *radiación* cuando se transmite a través del espacio o de los materiales en forma de onda electromagnética y por *convección* cuando se transmite a través de fluidos gaseosos o líquidos como los vapores o el agua (Porrero 2001). En la propagación de incendios forestales en zonas de vegetación densa la transferencia de calor es por conducción, radiación y convección situación que puede ser crítica, ya que se transmite una gran cantidad de calor por unidad de área en un tiempo relativamente corto proporcionando mayores dimensiones al incendio forestal. En relación a la transmisión del calor en suelos secos la transferencia se lleva a cabo principalmente por conducción y convección de gases calientes a través de la matriz de poros del suelo (Mataix 1999).

2.3.3 TENDENCIAS DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN EL PERÚ

Manta y León (2004) informan que la mayoría de IF que ocurren en el país carecen de un plan de contingencia y no son registrados por las administraciones, de manera que el Perú no cuenta con estadísticas oficiales de los IF. Sin embargo el estudio realizado por la FAO sobre la evaluación de los recursos forestales indica la superficie afectada por los IF en el país en los últimos 31 años (Cuadro 3).

Cuadro 3 Muestra de la ocurrencia de los incendios forestales de los últimos 31 años en Perú con especial incidencia en la sierra y costa peruana.

Año	N° total de incendios, sobre bosques, otras tierras forestales y otras tierras	Área total afectada en bosques, otras tierras forestales y otras tierras (ha)	Causas humanas (%)
73-80	n.d.	307,94	99
81-90	18	4 522,06	99
1991	3	8 520	99
1992	1	n.d.	99
1993	4	1 612	99
1994	5	1 150	99
1995	9	4 050	99
1996	1	760	99
1997	4	86	99
1998	57	75 441	99
1999	1	15 000	99
2000	5	11 003	99
2001	120	160	100
2002	111	259	100
2003	162	8 853,35	100
2004	47	537	100

Fuente: FAO (2005). *Global Forest Resources Assessment 2005*

2.3.4 CAUSAS DE LOS INCENDIOS

Según Manta (2004) el 99 por ciento de las causas de los IF en el Perú es de origen humano y pueden ser atribuidos a varias causas socioeconómicas. Las cuales están detalladas en el Cuadro 4.

Cuadro 4 Causas de los incendios forestales en América del Sur

Causa	Acción	Motivo
HUMANA (85.5%)	DIRECTA Intencionadas (83%)	Ganadería vacuna (60%). Cultivos agroindustriales (30%) Cambio de uso del suelo: Agricultura de subsistencia, para explotación minera, construcción de urbanizaciones. Establecimiento de cultivos forestales en bosques nativos. La extracción selectiva de madera en bosques naturales.
	Negligentes (11%)	En actividades ganaderas (60%) En actividades agrícolas. En festividades y celebraciones En actividades apícolas. En actividades de caza En actividades de turismo
	Accidentales (1%)	Líneas de alta tensión eléctrica. Construcción de gaseoductos y oleoductos
	INDIRECTA (sin porcentaje cuantificable)	La prospección y extracción de gas y petróleo La construcción de carreteras sin planificación ambiental. Concesiones maderables sin gestión forestal adecuada. La corrupción endémica Propiedad de tierras públicas forestales y de protección Los cultivos ilícitos y los programas de erradicación
DESCONOCIDAS (9 %)		Presumiblemente el hombre
NATURAL (5,5%)		Rayos Cambio climático: sequía, fenómeno de El Niño (ENSO) y Niña más frecuentes y eventos meteorológicos extremos

Fuente: Manta 2007

Si podemos precisar las causas que generan un incendio, podremos prevenirlo y controlarlo, por ello, su determinación y análisis es fundamental.

Es importante mencionar que la tala y quema de bosques para el establecimiento de cultivos pecuarios y agrícolas, ha conducido a acelerados niveles de deforestación, ya que son las principales actividades que demandan el uso del fuego por ser una herramienta económica (Manta y León 2004). Aunque la tala de bosques y quemas, es una de las principales causas de los incendios forestales en el Perú, el fomento, los

incentivos y subsidios gubernamentales para la ganadería y agricultura promueven la ocurrencia indirecta de IF en todo el Perú ya que el fuego se descontrola y escapa de las áreas agropecuarias ingresando a los diferentes componentes del patrimonio forestal.

A escala global, los IF son importantes factores de disturbio, los cuales influyen en el ciclo bioquímico de la tierra, y juegan un importante rol en el ciclo químico y de carbono de la atmósfera. Los cambios globales que sufre el planeta, también han ocurrido en el Perú y de ellos el cambio de uso del suelo, la deforestación, el cambio de clima y el aumento de la población y migración producirá una mayor ocurrencia de IF en el Perú (Manta 2007).

2.3.5 EL TRIÁNGULO DE FUEGO

Para que se origine el fuego es necesaria la presencia del material combustible, oxígeno y la fuente de calor estos tres componentes mutuamente dependientes son conocidos como el triángulo de fuego, cada uno debe cumplir ciertos criterios de longitud y posición para que el triángulo este completo.

El material combustible o agente reductor es toda sustancia o materia que pueda arder en el seno de un gas, puede ser líquido, sólido o gaseoso y en el caso de los incendios forestales está compuesto por pasturas, arbustos y árboles con bajos contenidos de humedad y/o presencia de aceites o resinas inflamables. El oxígeno o comburente se encuentra en la atmósfera en un ambiente a nivel del mar en una proporción del 20,93%. Según el modelo atmosférico terrestre invariante Atmósfera Internacional Estándar (ISA) de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), la presión atmosférica disminuye de forma exponencial al aumentar la altura y su variación depende de la temperatura del aire lo que explica un menor porcentaje de oxígeno respecto al nivel del mar en zonas de gran altitud como es la sierra peruana. La fuente de calor o energía de activación energía necesaria para que la reacción se inicie es generalmente aportada por el hombre en el caso del Perú.

2.3.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

El comportamiento del fuego se refiere a la manera en la cual el combustible se enciende, la llama se desarrolla y el fuego se propaga. En los IF, este comportamiento

es influenciado por como los combustibles, clima y topografía interactúan. La intensidad del fuego es el resultado del producto entre el calor de combustión, la masa de combustible disponible y la velocidad de propagación del fuego.

El fuego descontrolado, responsable del IF se comporta de acuerdo al material combustible, el tiempo meteorológico y la topografía (Vélez 2000). Estos componentes conocidos en su conjunto como el triángulo de comportamiento del fuego o triángulo del entorno del fuego son responsables del comportamiento del mismo. A continuación se desarrolla cada uno de los factores del comportamiento de los IF.

A) LOS COMBUSTIBLES FORESTALES

En este componente se incluye una amplia diversidad de material vegetal inflamable que se encuentra en los ecosistemas. La adecuada caracterización de los combustibles vegetales, de su distribución espacial y de su contenido de humedad, así como del tiempo atmosférico imperante en el momento de la combustión son factores críticos que originan y propagan el fuego y según Villers (2006) deben ser evaluados para predecir el tipo de IF.

Por su condición, los combustibles pueden dividirse en vivos y muertos. Los primeros son hierbas, arbustos y árboles, u otras formas de vida vegetal; la velocidad de propagación del fuego sobre las plantas vivas depende de su contenido de humedad. El segundo tipo de combustibles está formado por los troncos, ramas, ramillas y hojas que normalmente se encuentran sobre el suelo, su cantidad y posición generalmente determina la inflamabilidad y la facilidad con que se puede iniciar el IF (Villers 2006).

La biomasa de combustible por unidad de área o superficie expresada en peso seco total y en t/ha, determina la cantidad de combustible. Cuanto mayor sea la acumulación de combustible en una zona, mayor cantidad de calor podrá desprenderse y el incendio podrá ser más intenso. En el Cuadro 5 se puede observar valores de la biomasa y contenido de carbono por especie y por ecosistema "total" en Puno.

Cuadro 5 Estudios de contenido de carbono por especie y por ecosistema

<i>Región</i>	<i>Especies y ecosistemas</i>	<i>Observación</i>	<i>Contenido Carbono (tC/ha)</i>	<i>Método utilizado</i>	<i>Autor</i>
Ancash	Pino " <i>Pinus patula</i> "	Rodal 22 años	136,11	Valor estándar del IPCC	Camones, 2011
		Rodal 15 años	49,7		
Ancash	Eucalipto " <i>Eucalyptus globulus</i> "	Rodal 35 años	365,46	Poder calórico	Simbaña, 2011
		Rodal 05 años	22,35		
Lima	Totora " <i>Schoenoplectus californicus</i> "	Sin edad	28,9	Walkley y Black	Palomino, 2007
Loreto	Aguajales Aguaje " <i>Mauritia flexuosa</i> ", Aguaje " <i>Mauritiella aculeata</i> "	Aguajal denso	115,4	Poder calórico	IIAP, 2006
		Aguajal mixto	80,5		

Fuente: Elaboración propia

También influyen otras propiedades de la biomasa del combustible como la compactación y la continuidad vertical y horizontal sobre el terreno. Para ser usada como variable en la evaluación del comportamiento potencial del fuego, la cantidad de combustible debe expresarse por clases de tamaño de los componentes vivos y muertos (Villers 2006).

El material combustible puede ser fácilmente manipulado por el hombre y este así influencia en el comportamiento del fuego. Así surge la silvicultura preventiva que está orientada básicamente al diseño de un adecuado programa de manejo de combustibles, como herramienta en la prevención de incendios forestales (Agudelo 1999).

La humedad de los combustibles es decisiva para la inflamabilidad. En el caso de los combustibles vivos el contenido de humedad varía durante el período vegetativo, el máximo que pueden alcanzar es hasta 300 por ciento de su materia seca y el mínimo 50 por ciento. En los combustibles muertos, la variación está ligada a los cambios de humedad ambiental y a la rapidez con la que el combustible se equilibra con el ambiente, la cual depende directamente de la relación entre superficie y volumen de los materiales. Cuanto mayor sea la superficie en relación con el volumen de la partícula, más rápidamente será absorbido el calor y su temperatura se elevará. Así, los

valores altos en la relación superficie-volumen tendrá un tamaño de combustible pequeño y mayor facilidad de arder que los valores bajos (Villers 2006).

El contenido de humedad del combustible vegetal fino muerto está relacionado con la combustión y la inflamación del mismo al caer sobre él una brasa, un rayo u otra fuente de ignición. La precipitación, la humedad relativa y la temperatura son elementos meteorológicos que influyen directamente en la humedad del combustible vegetal vivo y muerto (Manta 2003).

La distribución del combustible forestal es muy importante para la ocurrencia de incendios forestales. Con la finalidad de caracterizar el comportamiento del fuego, se analiza la distribución de la vegetación y la carga total de combustible por clases de tamaño y estados de humedad.

B) EL TIEMPO METEREOLÓGICO

Las condiciones meteorológicas pueden dominar a los otros factores del comportamiento del fuego, imponiéndose al hombre, al material combustible y la topografía (Manta 2003). Por otra parte, la meteorología ejerce una influencia decisiva en la probabilidad de que ocurran incendios y en la propagación del fuego una vez iniciado. El hombre, especialmente el de campo, conoce y reconoce intuitivamente el tiempo meteorológico ideal para iniciar la quema, y no dudará en iniciar el fuego cuando el tiempo meteorológico sea el adecuado. La condición meteorológica afecta al combustible vegetal vivo y a las reservas hídricas almacenadas en el suelo, de manera que se produce un descenso de la tasa de transpiración del combustible vegetal vivo, si el suelo está seco, lo cual contribuye a que la planta se seque más rápido y pueda ser quemada más fácilmente. (Manta 2003). Así mismo el tiempo meteorológico influye en el contenido de humedad del combustible muerto.

El cambio climático global influye en la distribución de las precipitaciones y la variación de temperaturas en las diferentes regiones y además impacta en la distribución de la vegetación. Además el calentamiento global puede conducir a cambios en la cantidad y descomposición de hojarasca.

Manta (2003) sostiene que la precipitación de un lugar así como la temperatura y la humedad relativa del aire son los parámetros meteorológicos que influyen

decisivamente en el inicio del IF. Mientras la misma autora cita que los elementos meteorológicos que facilitan la propagación de los IF, aportando oxígeno a la combustión y los procesos de transmisión de energía son: la velocidad del viento, la dirección del viento y la inestabilidad atmosférica. Así la velocidad del viento, los cambios de la humedad relativa asociado al viento y la dirección del viento son responsables de la propagación del incendio. La inestabilidad atmosférica y los cambios de la dirección del viento son elementos claves en la ocurrencia de los grandes incendios. Para caracterizar el viento se necesita precisar su intensidad (velocidad) y su dirección, ubicación, tiempo de medición y la altura a la que ha sido medido, ya que varía con todos estos parámetros.

La acción del viento se manifiesta en tres formas diferentes, aportando oxígeno a la combustión, intensificando aquella y propagando el fuego. En consecuencia la influencia del viento en la propagación es muy intensa porque activa la combustión al renovar frecuentemente el aire, adelanta la ignición al aproximar las llamas a la vegetación aun no quemada y lanza chispas más allá de los bordes del incendio.

Por su parte Villers (2006) menciona que la temperatura y la dirección y velocidad del viento, son los que modulan la propagación del incendio. La radiación solar, la temperatura y velocidad del aire, actúan coordinadamente sobre la humedad relativa, la cual decrece rápidamente con el incremento de la radiación solar; esto puede reducir el calor necesario para la ignición y la combustión. Finalmente, la temperatura, la humedad relativa y consecuentemente el comportamiento del fuego puede cambiar rápidamente con el viento, cobertura de nubes y movimientos de masas de aire. Si se incrementa el viento, crece el aprovisionamiento de oxígeno y aumenta la combustión y la transferencia de calor hacia áreas y combustibles no quemados. La influencia de la temperatura en el comportamiento del fuego se traducen en una desecación progresiva de la vegetación que puede alcanzar extremos de sequía, tales efectos son naturalmente más acusados en los meses de poca precipitación.

C) LA TOPOGRAFÍA

Las variaciones en la inclinación de la ladera, la orientación, la elevación y la configuración de la tierra o la microtopografía, pueden causar cambios dramáticos en el comportamiento del fuego y en su propagación sobre el terreno. La topografía es el

parámetro más constante de los tres factores que permiten entender el probable comportamiento del fuego, y tiene gran influencia sobre los otros dos, los combustibles y el tiempo atmosférico. Generalmente, modifica los patrones del tiempo atmosférico produciendo condiciones que cambian el contenido de humedad de los combustibles (Villers 2006).

El relieve tiene especial influencia en los regímenes de vientos y en el micro clima. Los terrenos montañosos presentan la máxima fricción a los vientos y obstaculizan su movimiento así posee una gran influencia en los vientos generales y en los vientos locales modificando su velocidad y dirección que afectan notablemente al comportamiento de los incendios (Manta 2003).

El establecimiento de plantaciones forestales generalmente en sectores ligeramente planos a ondulados, limitando con terrenos quebrados, los hace particularmente vulnerables a los riesgos de incendios ya que se conjugan factores de viento y topografía. (Castañeda 1999)

Como consecuencia de las diferencias de temperatura entre el aire próximo a una ladera y el que está lejos de ella, pero al mismo nivel, se producen vientos locales diarios ascendentes y descendentes. Los vientos ascendentes se producen durante el día, especialmente en laderas de solana (velocidad: entre 3,61 m/s y 5,28 m/s) y los vientos descendentes se producen durante la noche (velocidad entre 0,27 m/s y 2,22 m/s). A mayor escala se presentan los vientos de valle (velocidad de vientos ascendentes de día de 4,44 m/s a 8,89 m/s y vientos descendentes de noche de 3,33 m/s a 6,94 m/s).

La exposición de la ladera con orientación de solana (orientación Norte) tiene mayor temperatura y, como consecuencia, menor humedad relativa y menos cantidad de agua que la de umbría. Las laderas de exposición norte con un menor contenido de humedad, disminución del volumen por unidad de superficie y/o disminución de la tasa de crecimiento. Las condiciones climáticas están caracterizadas por temperaturas altas, aumento de la velocidad de los vientos locales y disminución de la humedad relativa. Las características de la vegetación y del clima en esta exposición permiten que el fuego se propague rápidamente con alta intensidad calórica.

La pendiente es un factor muy importante, los cañones y chimeneas de fuerte pendiente son origen de vientos ascendentes intensos. Las pendientes fuertes aceleran la propagación, ya que los combustibles están más cerca de las llamas y el precalentamiento del combustible es más rápido.

Las laderas se dividen en tres zonas; el tercio inferior, que incluye el valle y en él que las temperaturas son más altas y generalmente hay más combustible por lo tanto una alta intensidad del fuego, tercio intermedio que posee menos combustible, pero posibilidad de formación en él de un cinturón intermedio y tercio superior en el cual la propagación es más lenta por menos disponibilidad de combustible, pero es la zona a veces más conflictiva porque es donde ocurren cambios bruscos del viento.

2.3.7 EFECTOS DE LOS INCENDIOS EN LAS PLANTACIONES.

Durante las tres últimas décadas por lo menos 51,7 millones de hectáreas de bosques (17 por ciento de primarios y bosques naturales protegidos por los Gobiernos), otras tierras forestales (26 por ciento) y la vegetación en otro tipo de tierras (20 por ciento) fueron afectadas por el fuego en América del Sur (FAO 2005). Así mismo, la superficie de plantaciones forestales de pinos y eucaliptos fueron las más afectadas y se perdieron por lo menos 300 000 hectáreas en Chile y Argentina principalmente (Manta 2007a).

Los IF producen efectos adversos en todos los diferentes sectores de la sociedad y en los diferentes ecosistemas del Perú. El monto de las pérdidas económicas no ha podido ser determinado ya que no existen estudios de valoración económica, algunas de las pérdidas son complejas (productos y servicios ambientales) y resultan difíciles de valorar (Manta y León 2004). Sin lugar a dudas las pérdidas económicas ocasionan un quiebre en los procesos productivos, pérdida de reservas en materias primas, pérdida de la inversión de los tratamientos silviculturales, generando un impacto negativo en los costos de oportunidad. Otro aspecto importante de mencionar es la edad de la plantación y el daño potencial que causa el IF; mayor daño potencial a menor edad, y mayor daño actual a mayor edad de la plantación. Por su parte Delmy (1999) afirma que el incendio forestal reduce seriamente la calidad de las plantaciones desde el punto de vista ecológico y económico.

El efecto de los incendios sobre las plantaciones depende básicamente del sitio, del valor de la especie forestal empleada, grado de tolerancia al fuego, edad del arbolado, acumulación de combustible, duración e intensidad del fuego, época y condiciones meteorológicas durante las cuales ocurre. Con relación al efecto de los incendios se debe reconocer también que algunas especies tienen adaptaciones especiales que las hacen más o menos sensibles a daños por fuego. En este sentido, se han podido diferenciar los rasgos de adaptación pasiva. Entre los primeros figuran el desarrollo de sistemas radicales gruesos y profundos, que les permite acumular reservas y rebrotar fácilmente; protección de órganos vitales; formación de callos de cicatrización o placas basales de donde brotan los retoños; tallos monopódico. Dentro de los rasgos de adaptación activa se tiene la producción de semilla abundante, la termodehiscencia y fácil dispersión de aquella, la facultad de rebrote, la formación de semillas gruesas con cubierta aislante, la fácil inflamabilidad, crecimiento rápido, gregarismo, temperamento heliófilo y simbiosis con organismos fijadores de nitrógeno o con micorrizas (Díaz et al. 1994).

En general las especies plantadas en los pisos; montano bajo y montano, a altitudes entre los 2000 y 3500 metros de altitud, son más susceptibles al daño de incendios que las de zonas bajas (Agudelo 1997 citado por Agudelo).

Para entender los efectos del fuego en el crecimiento de los árboles, es necesario dividirlos efectos en dos grupos: efecto en el arbolado y efecto en el ambiente. El primer grupo de efectos se relaciona con las características del arbolado, en especial con sus adaptaciones al factor fuego y con los daños que pueda sufrir el árbol en tronco, raíces y copa. El cambium vascular se muere cuando es sometido a un pulso de calor lo suficientemente elevado y durante el tiempo necesario (Dickinson y Johnson 2001). Si bien se acepta que la corteza de varias especies de eucaliptos son especialmente inflamables por favorecer los incendios de copa, a mayor grosor de corteza (relacionada a su vez con mayores diámetros), se protege mejor al cambium vascular. Gill y Ashton (1968) refieren que esto sucede con *Eucalyptus obliqua* L'Hérit, *E. cypellocarpa* L. Johnson y *E. radiata* Sieb. ex DC, y, acorde con Glasby et al. (1988), con *E. oreades* R. T. Bak.

Diversas especies, como la del presente estudio, exhiben un rápido crecimiento juvenil (para superar pronto el tamaño mínimo afectable por las llamas). Además, exhibe adaptaciones para recuperarse del daño luego del paso del fuego, mediante su lignotubérculo cuando juvenil, o mediante rebrotes epicórmicos, y poseen semillas ligeras y abundantes para ser dispersadas con ayuda del viento y recolonizar áreas quemadas. Otras especies de eucalipto cuentan con frutos relativamente resistentes a las llamas (Attiwill y Leeper 1987; Cremer et al. 1978) o bien con frutos serótinicos (Gill 1981; Miller 2000). Waldrop y Van Lear (1984) refieren que en el género *Eucalyptus* el chamuscado de copa aumenta el crecimiento en diámetro porque se regenera una copa más joven y eficiente.

Para caracterizar el efecto del fuego en los árboles de crecimiento rápido se realizaron experimentos para observar la variación de los parámetros bioquímicos con relación a diversas intensidades de fuego. Alonso et al. (1998) afirma que los cambios bioquímicos podrían reflejar alteraciones notables en el metabolismo de las plantas a un estrés, en este caso el fuego. La ocurrencia de árboles muertos y rebrotes están estrechamente relacionados a las condiciones del fuego como la intensidad y el periodo de expansión (Delmy 1999). La principal respuesta de la madera a la radiación térmica es el cambio de formación de vasos y dimensiones de fibra, crea más células de excreción y produce anomalías en la forma de los árboles (Budi 2001).

De acuerdo a investigaciones macro y microscópicas las anomalías en la madera de los árboles varía dependiendo de la especie y el proceso de combustión. El impacto del fuego en los árboles es variable dependiendo de la altura y diámetro del árbol, tipos de hojas, corteza, resistencia de la albura y el duramen. El estado de la madera en los árboles es más influenciada por el deterioro al fuego, como una invasión de hongos, bacterias o insectos en lugar de afectado por el fuego. El alcance de esta influencia en la calidad de la madera será determinada por su durabilidad y otras propiedades de la madera. (Budi 2001)

Bara et al. (1994) en un estudio de los daños producidos por el fuego en árboles de *E.globulus* utilizando métodos bioeléctricos afirma que los árboles de mayores diámetros sufrieron menos daños que los de menor. La escasa protección presentada

por una corteza más delgada y una copa más sensible al chamusqueado, explica la diferencia.

El segundo grupo del efecto del fuego tiene que ver con las modificaciones que el fuego ejerce en el ambiente físico y en el biótico. A continuación se presenta el efecto fuego sobre el agua y el suelo ya que ellos influenciaron las propiedades físicas y químicas del suelo.

2.3.8 EFECTOS DEL FUEGO SOBRE EL SUELO Y AGUA.

El suelo es un componente estructural del ecosistema forestal y puede sufrir cambios directos producidos por el calentamiento, en sus propiedades físicas, químicas y biológicas o cambios indirectos como consecuencia de la nueva situación microclimática después de la pérdida de la cubierta vegetal, cubierta de cenizas, así como una mayor susceptibilidad a la erosión tanto hídrica como eólica (Vásquez et al.1993; Hernández et al. 1997; Mataix 1999; Vélez 2000; Úbeda 2001). Los cambios directos e indirectos pueden afectar la calidad del suelo, la cual se define como la capacidad de este para funcionar como un ser vivo y vital, dentro de los límites del ecosistema y uso del suelo (Doran y Zeiss 2000).

Diaz citado por Agudelo (1997) menciona que los IF de alta intensidad y duración e incendios repetidos reducen la materia orgánica, provocan cambios en la estructura de las arcillas y afectan de manera desfavorable la porosidad, aeración y la capacidad de infiltración del suelo.

Diferentes autores afirman que después de una quema se ven afectadas características edáficas como textura, aireación y permeabilidad (Sertsu y Sánchez 1978; Ulery y Grahlan 1993) y que en consecuencia el agua de escorrentía se vuelve más energética en su poder erosivo por falta de absorción (Mc Nabh y Swanson 1990). No obstante, existen referencias que el fuego incrementa el contenido de nutrientes disponibles como consecuencia de los procesos de oxidación (Learet et al. 1996) lo que justifica la mayor producción de gramíneas después de un incendio (Lamont y Runciman 1993, Prieto et al. 1993).

La oxidación de la materia orgánica por el fuego produce una rápida liberación de nutrientes en forma de cenizas, muchos de los cuales pueden perderse del sitio si

después del incendio ocurre una lluvia pesada. El nitrógeno depositado en la materia orgánica se volatiliza durante la combustión, lo que implica grandes remociones del área. El nitrógeno mineralizado asimilable, en cambio, se incrementa después de incendios en virtud de aumentos en la fijación de nitrógeno. Después del incendio se incrementa la cantidad de formas solubles en agua, del fósforo y el potasio y se estimula la actividad microbiana a causa de reducciones de la acidez en las partes superiores del suelo e incrementos de la temperatura (Aguirre, Díaz, Hudson y Salazar citados por Agudelo 1997).

En cualquier incendio, la acidez del suelo se ve reducida debido al aporte de cationes de Ca, Mg, K, Si y P así como el incremento de algunos micro nutrientes, óxidos y carbonatos contenidos en la cama de cenizas. El humedecimiento de las mismas produce la hidrólisis de los cationes básicos contenidos en ellas y consecuentemente, la elevación de pH. (Mataix 1999).

El efecto más evidente del fuego sobre la fertilidad edáfica, lo constituye la pérdida de materia orgánica por combustión (Kutiel y Shaviv 1989, Prieto et al. 1993), por lo cual el suelo queda altamente susceptible a la erosión (Rice 1993, Kutiel y Inbar 1993). En función de la intensidad del fuego, la materia orgánica experimenta diferentes transformaciones cualitativas y cuantitativas con diferentes repercusiones ecológicas. El contenido de materia orgánica suele decrecer tras un incendio de alta intensidad si el fuego ha afectado directamente a los horizontes más superficiales de éste, sin embargo en incendios de baja intensidad, el contenido de materia orgánica del suelo se puede ver incrementado por el aporte de material vegetal semipirolizado.

El fuego produce normalmente un efecto letal inmediato tras su paso sobre poblaciones de microorganismo que son afectadas directamente por éste, y un efecto más significativo en su hábitat. Inicialmente la microbiología del suelo puede verse reducida drásticamente en el horizonte más superficial del suelo. (Martínez 1995). Sin embargo el fuego afecta la microbiología del suelo durante los primeros 30 días de efectuada la quema, recuperándose rápidamente después de este periodo influenciados por la temperatura y precipitación, alcanzando niveles superiores en los lugares donde se aplicó la quema (Rodríguez et al. 1993).

Las actividades de reforestación comercial que se encuentran localizadas sobre suelos derivados de cenizas volcánicas, presentan la particularidad de ser muy vulnerables a los incendios forestales, no solo porque permiten la propagación del fuego de forma subterránea, sino que sus características pedogenéticas los hace muy susceptibles al deterioro evolutivo y a la erosión una vez que son quemados o deforestados. Esto hace que los suelos derivados de cenizas volcánicas, se constituyan en un factor de riesgo importante en la clasificación de la vulnerabilidad natural a los riesgos de incendios en plantaciones forestales (Castañeda 1999).

Con relación al agua, el fuego ejerce efecto pronunciado sobre los procesos hidrológicos, lo que se manifiesta en altas tasas de escorrentía, caudal, erosión y turbidez (Aguirre 1981; Díaz 1991; Wolffsohn 1986). Los IF incrementan la escorrentía superficial y en algunos casos la tasa de erosión del suelo (T. Sudarmadji s.f.) los mismos que se verán potenciados por la existencia de fuertes pendientes y su longitud. Además de la alteración de la infiltración y la escorrentía superficial provocada por la eliminación de la cubierta vegetal tras los incendios forestales, el efecto que éstos provocan en determinadas propiedades físico-químicas del suelo contribuye a esta alteración en el ciclo hidrológico de la zona afectada. La formación de sustancias hidrofóbicas y sus consecuencias sobre la disminución de la permeabilidad del suelo y aumento de la escorrentía superficial, consecuencia de la pérdida directa de la cubierta vegetal y de otros efectos indirectos son las más destacables. (Temporetti 2006).

2.4 CONSIDERACIONES SOBRE LA EVALUACIÓN DE UNA PLANTACIÓN FORESTAL

Consiste en aplicar técnicas para recopilar información de variables del arbolado para posteriormente elaborar un plan operativo anual (Torres y Magaña 2001) bajo diferentes objetivos de la gestión forestal.

2.4.1 PLANIFICACIÓN DE LA EVALUACIÓN

La planificación toma en consideración los objetivos, factores de tiempo y recursos disponibles para realizar la evaluación. Para ello es necesario disponer de información acerca del área estudiada, recursos financieros disponibles, recursos humanos

disponibles, apoyo logístico, formatos y registro de la evaluación de campo. Así mismo, es necesario diseñar el muestreo, la forma y el tamaño de parcelas de muestreo, validar la información de campo, analizarla información y presentarlos resultados. Involucra también la planeación de las mediciones de campo, costos de materiales, equipos y costos del personal principalmente (Torres y Magaña 2001).

2.4.2 TIPOS DE EVALUACIÓN

A) *EVALUACIÓN CUALITATIVA*

Dependiendo del objetivo de la evaluación, la evaluación cualitativa puede variar. La evaluación cualitativa más generalizada es con fines de producción maderera. Existen pocos métodos para la evaluación cualitativa con fines de protección o de productos diferentes a la madera.

El MINAG (1976) desarrollo una metodología para la evaluación cualitativa de las plantaciones forestales para producción de madera aserrada. Esta metodología es conocida como “la evaluación de la calidad de la plantación”. Cada árbol o parte de un árbol, además de sus dimensiones, posee características tales como su forma, aspecto y defectos que hace que su madera sea más o menos utilizable y válida para determinados propósitos.

El árbol o sección del árbol es considerado como una “unidad de registro” a la que se le asigna una clase de calidad. Se recomienda hacer la evaluación separada de los diferentes tipos de defectos y la subsecuente reagrupación de las valoraciones de cada defecto para la asignación final de la “unidad de registro”, a una de las clases de calidad definida por el gestor o investigador. El tipo de valoración analítica para evaluarla calidad de los árboles se agrupa en las siguientes categorías:

Anomalías de crecimiento en eucalipto

Dentro de las anomalías de crecimiento para este género se agrupan diversas formas de crecimiento que se consideran anormales e indeseables y que desmejoran la calidad del árbol con fines de producción maderera. Para dicho objetivo, se consideran anomalías de crecimiento:

- Torcedura basal.-Consistente en una curvatura basal brusca que presentan algunos árboles, lo que disminuye la longitud útil del fuste.
- Bifurcación.- Este hábito o manera de crecer en forma de horquetas origina la formación de 2 o más fustes, y debe anotarse indicando si su presencia está localizada en la parte basal, media o terminal del fuste.
- Inclinación.-Un árbol se considera inclinado cuando su eje longitudinal forma un ángulo menor de 70° con la horizontal. Su presencia debe registrarse individualmente.

Vigor de copa del arbolado

La forma de copa como medida de salud y vigor de un árbol, indica si la población de árboles maderables se encuentra en condiciones aceptables para vivir o si necesita de algún tratamiento silvicultural o sanitario que le ayude a recuperar su vigor.

El vigor de los árboles de un bosque natural o de una plantación según Manta (1988) puede ser evaluado en función a la forma de la copa. Para ello usa la clasificación de forma de copa propuesta por Synnott (1979) (Figura 1). Según Synnott (1979) las clases 1 y 2 representan árboles con pocas posibilidades de crecimiento o reacción frente a los tratamientos mientras las clases de copa 4 y 5 si pueden responder a los tratamientos aplicados.

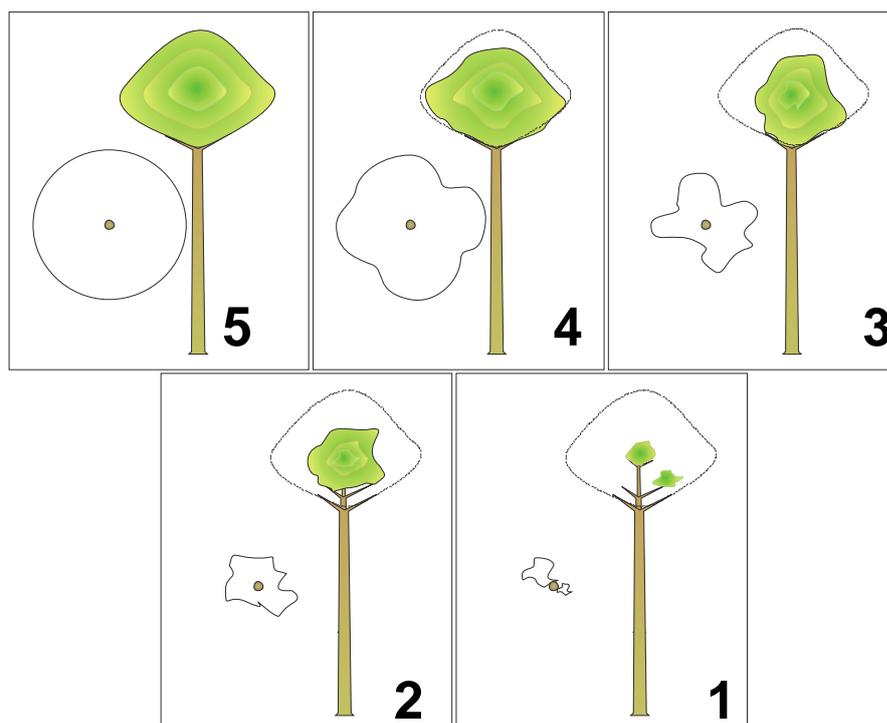


Figura 1 Escala gráfica de la forma de copa 5. Perfecto, 4. Buena, 3. Tolerante, 2. Pobre, 1. Muy pobre.

Fuente: Synnott (1979)

Calidad de rebrote

Para realizar la evaluación de la calidad del rebrote es necesario tomar en consideraciones las siguientes características de los rebrotes evaluados como son; defectos de bifurcación e inclinación del brote, anclaje al tocón y dirección respecto al viento. El manejo de rebrotes para el eucalipto es de suma importancia bajo un criterio de aprovechamiento continuo e integral.

Sanidad

Toma en cuenta los daños provocados en el fuste y la copa por efecto de los insectos, hongos y otros agentes biológicos y no biológicos.

Por su parte Murillo y Camacho (1997) evalúan la calidad de cada plantón para luego estimar la calidad de la plantación en forma total.

B) EVALUACIÓN CUANTITATIVA

Dependiendo del objeto de estudio, la evaluación cuantitativa puede ser definida de varias formas. Las evaluaciones más comunes en las plantaciones forestales son:

Evaluación de supervivencia

Una supervivencia adecuada depende del objetivo para el cual se estableció la plantación. La supervivencia es el número de plantas vivas con un método de plantación y en determinadas condiciones ambientales. Es importante que la evaluación se relacione con los objetivos y factores que influyeron en la plantación. Para realizar una evaluación se requieren el registro del número de árboles vivos y muertos (Torres y Magaña 2001).

Evaluación de crecimiento

Se refiere al cambio (aumento) de tamaño de una población o individuo, por lo general es expresado en forma de crecimiento horizontal (diámetro) y crecimiento vertical (altura), así como en crecimiento de biomasa (t/ha) en un intervalo de tiempo. También se define la dinámica de desarrollo, así como el probable rendimiento a una edad o fecha determinada, con esto es posible identificar estrategias de los tratamientos silviculturales para optimizar las tasas de crecimiento que satisfagan los objetivos de evaluación de la plantación (Torres y Magaña 2001).

El establecimiento de las parcelas de evaluación debe sujetarse a las técnicas de muestreo. Las parcelas de evaluación se establecen en forma temporal las que se pueden convertir en parcelas permanentes de evaluación de rodales coetáneos de una misma especie, con la mayor uniformidad posible en cuanto a la topografía, suelo y otros factores que influyan en la variación de la calidad de sitio. El tamaño de las parcelas depende de la extensión del rodal, objeto de evaluación y de las variables de la calidad del sitio dentro del mismo rodal. El número de parcelas por estrato dependerá de la intensidad de muestreo que se adopte, pudiendo variar entre 1 al 10 por ciento (MINAG 1976).

Según el MINAG (1976) los siguientes son los parámetros que deben ser tomados en cuenta en la evaluación cuantitativa de plantaciones forestales en la sierra del Perú con fines maderables.

a) Diámetro

El diámetro normal, junto con la altura, se emplea combinadamente para estimar volúmenes de madera en pie. El diámetro normal se emplea también para el cálculo del área basal, una de las expresiones más frecuentes de la densidad del rodal.

b) Altura

Desde el punto de vista de la evaluación de plantaciones forestales, interesa medir las siguientes alturas de árboles, según el caso:

- 1) Altura total.
- 2) Altura de fuste comercial.
- 3) Altura de fuste limpio.

Se entiende por “Altura total” la longitud perpendicular al suelo, existente entre la base de un árbol y la yema terminal del mismo. Esta determinación tiene especial valor, en inventarios continuos para establecer patrones comparativos.

La altura de “fuste comercial” es aquella longitud vertical considerada desde la altura del tocón de un árbol (generalmente 0.30 metros) hasta aquella porción del fuste en que su disminución gradual establece un límite de uso comercial.

La altura del “fuste limpio” considera la longitud vertical existente entre el nivel del terreno y aquella porción del fuste donde se inicia la inserción de los verticilos o ramas que constituyen la copa del árbol.

c) Área basal

Área con corteza de la sección transversal del fuste de un árbol en la proximidad a su base, generalmente a la altura del pecho (1,3 metros).

El área basal se emplea frecuentemente como indicador de la calidad de sitio y se mide en m^2/ha (Manta 2007c).

d) Edad

La edad se considera al tiempo transcurrido desde la fecha del establecimiento de la plantación en terreno definitivo hasta la fecha de evaluación.

2.5 EVALUACIÓN DE DAÑOS EN UNA PLANTACIÓN

El MINAG (1976) considera como daños la serie de deterioros, averías ocasionadas por los siguientes agentes externos.

- Daños por animales.
- Daños causados por el hombre.
- Daños por efecto del clima.
- Daños por incendios.

Manta (2007a) utiliza como punto de partida la metodología que emplea Agrios (2005) para evaluar cualitativa y cuantitativamente a los agentes que causan daño a los bosques y plantaciones. La evaluación cualitativa de los daños al arbolado consiste en describir el daño producido por el agente causal (síntoma); así como describir al agente causal (signo animado o inanimado). Se realiza su identificación taxonómica, biología y ecología si el agente es animado o de origen biológico. Si es un agente inanimado como el viento, el fuego, la sequía o inundaciones también se le caracteriza en los términos que corresponda y se describe las condiciones en que se produjeron. Concluye que la evaluación cualitativa del efecto sufrido por el bosque natural o plantación por un agente causal cualquiera puede ser evaluada a través de los síntomas y signos (Manta 2007).

Para la misma autora, el síntoma es la manifestación del árbol ante un agente biótico o abiótico que le causa daño, el daño puede ser marchitamiento, daño físico-mecánico, muerte, debilidad, reducción del crecimiento. Mientras Agrios (2005) define el síntoma, como la apariencia que toman las plantas o sus tejidos cuando han sido infectados por un patógeno o cuando un factor ambiental los ha afectado. Mientras, el signo puede ser la especie insectil, otra especie animal, el patógeno (hongos, bacterias y otros microorganismos) o un agente abiótico como las heladas, el granizo, la inundación, la sequía, la contaminación y el fuego entre otros. Los signos también constituyen los estados inmaduros de los insectos como las larvas, pupas y mudas de los insectos; esporas, hifas, micelio, cuerpo fructífero y colonias del patógeno; así

como la deficiencia de algún nutriente en el suelo y la mala gestión silvicultural para la especie cultivada.

La evaluación cuantitativa de los daños al bosque y plantaciones causados por los agentes bióticos y abióticos puede ser determinada mediante el cálculo de la incidencia, la severidad y la duración del daño que presentan los árboles (Manta 2007). Así mismo, la evaluación cuantitativa debe ser realizada para indicar el grado del peligro del agente causal.

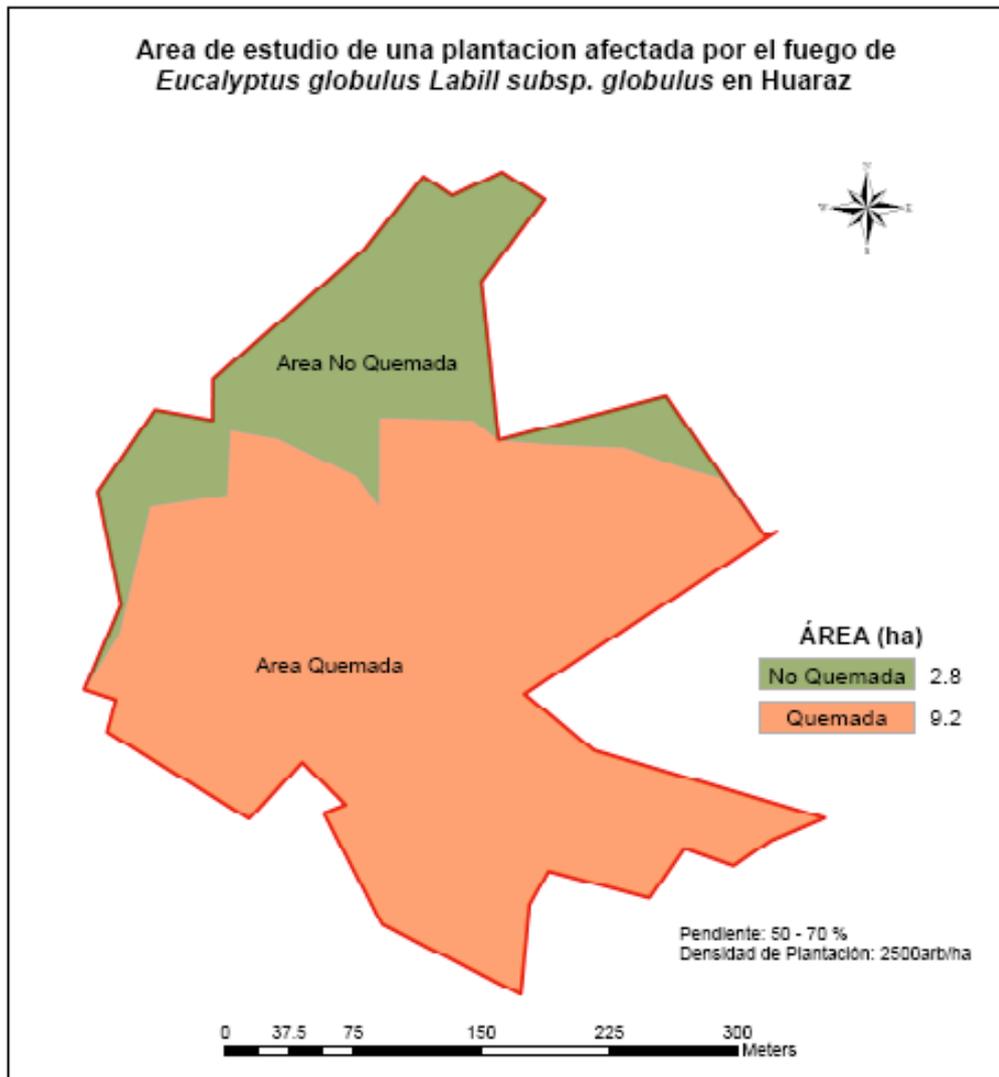
3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El distrito de Santo Toribio se encuentra ubicado en la provincia de Huaylas, en el departamento de Ancash, área influida por la Cordillera Negra y limita con el distrito de Caraz, el distrito de Huallanca y el distrito de Huaylas.

La localización de la plantación es en el distrito de Santo Toribio. La plantación forestal se encuentra ubicada en las coordenadas UTM Datum WGS 1984 18L 176 043 E y 9 020 938 S, en la zona de Pilli Ruri, cerro Quitacocha, tal como se muestra en la Figura 2.



Ubicación Geográfica del Área de Estudio



Area de estudio de una plantacion afectada por el fuego de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill subsp. <i>globulus</i> en Huaraz			
Departamento:	Ancash	Provincia:	Huaylas
Distrito:	Santo Toribio	Ubicación:	Cerro Quitacocha
Proyección:	UTM	Datum:	WGS84
		Zona:	18 Sur
Fecha:	Febrero 2012	Escala:	1 : 3000
		Fuente:	INEI 2007 Datos de Campo

Fuente: *Elaboración propia*

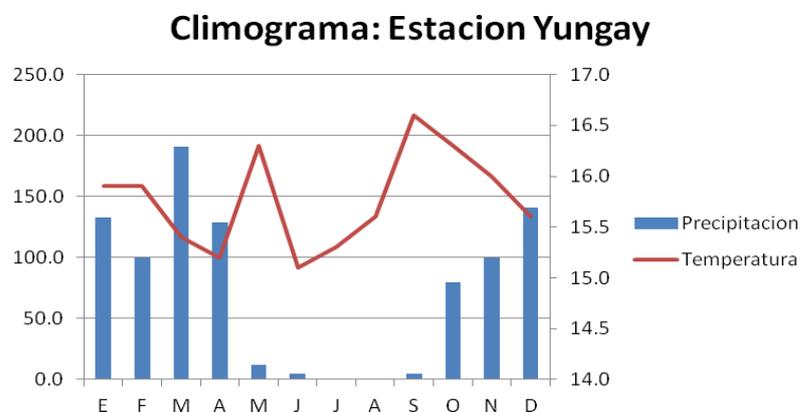
Figura 2 Ubicación del área de estudio

3.1.2 CLIMA

La precipitación pluvial es variable dentro del área de estudio y está vinculada estrechamente a la altitud. La precipitación media anual registrada en la estación pluviométrica de Yungay para el periodo 2008-2011 fue 894 mm. Las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen irregularmente durante el año, produciéndose generalmente de diciembre a abril. En el área comprendida entre los 2900 y 3800 metros de altitud las lluvias son mucho más intensas y se producen con más frecuencia, propiciando un período húmedo en verano y otro seco en el invierno. Este sector requiere forzosamente de riego suplementario y, en muchos casos, de riego permanente, para el cumplimiento del ciclo vegetativo de los cultivos.

La temperatura varía de acuerdo a la altitud. En el estrato ubicado, entre 3000 y 3800 metros de altitud, la temperatura promedio anual es de 11°C. Por encima de la cota de 3800 metros de altitud, ya no es posible el desarrollo de la agricultura, pues los periodos de heladas se amplían e intensifican notablemente, limitando el crecimiento de las plantas.

Las temperaturas máximas se registran entre los meses de setiembre y noviembre las cuales se encuentran en la parte final del periodo seco de la zona (Figura 3). En la misma figura se puede observar que los niveles más bajos de precipitación se dan en el periodo de mayo a setiembre, es decir, 5 meses con ausencia o precipitación mínima. Los datos meteorológicos promedios provistos por el SENAMHI para el periodo 2008-2011 se pueden observar en el Anexo 2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3 Temperatura y precipitación promedio de la zona de estudio para el periodo 2008-2011. Estación Yungay.

Con respecto a las horas de sol en el sector del Callejón de Huaylas, se tiene que el promedio total anual de insolación es de 2700 horas, registrado por las estaciones de Huaraz (Colegio La Libertad, Huaraz y San Lorenzo). La marcha anual de la insolación en este sector presenta dos épocas bien marcadas: es mayor durante el invierno, cuando alcanza un promedio total mensual de 258 horas de sol (9 horas diarias) y es menor durante el verano, en que promedia un total mensual de 194 horas de sol (6 horas diarias).

En cuanto a la evaporación, para el caso específico de la zona de Huaraz y circunvecinas, se señala un promedio anual de 1362 mm.

Los vientos son generalmente suaves, produciéndose eventualmente en invierno y primavera, y pueden ocurrir fuertes corrientes que, sin embargo, no ofrecen limitaciones algunas para el desarrollo de las actividades en general. La velocidad de estos vientos está alrededor de 1,61 m/s que de acuerdo a la clasificación o escala de Beaufort, se considera como brisa débil o moderada. Sin embargo, esta brisa débil asociada a la accidentada topografía, hace que los IF se propaguen fácilmente y sean incontrolables.

3.1.3 VEGETACIÓN

En la zona estudiada, aún existe la siguiente formación ecológica, Bosque Húmedo Montano Bajo. Esta formación ecológica se extiende entre las cotas de 2900 y 3800 metros de altitud en forma de relictos. Se caracteriza por presentar un clima húmedo y frío, con precipitaciones pluviales mucho más intensas y frecuentes que la formación precedente y con un promedio anual del orden de 700 mm. Las lluvias son estacionales, concentrándose la mayor cantidad entre los meses de diciembre a marzo, lo que permite practicar una agricultura mixta de secano y riego, pero con predominio de la primera. Las heladas no son frecuentes por lo que no constituyen un serio peligro para la agricultura; sin embargo, las fuertes oscilaciones térmicas entre el día y la noche si pueden ser perjudiciales.

Desde hace varios siglos, las tierras del Callejón de Huaylas han sido sometidas a un uso intensivo tanto agrícola como ganadero. Las inadecuadas prácticas agropecuarias y en especial, el progresivo crecimiento poblacional del área han sido la causa fundamental de la destrucción de la vegetación original. Hoy en día, de la vegetación original, sólo quedan algunos vestigios, relegados a los sitios más inaccesibles como quebradas asociadas a fuerte pendientes, primando principalmente una vegetación secundaria, mucha de ella exótica.

El tapiz vegetal de naturaleza arbórea y arbustiva está representado por varias especies de diversas familias, destacándose entre ellos; huarango (*Acacia tortuosa*), retama (*Spartium junceum*), aliso (*Alnus jorullensis*), carrizo (*Arundo donax*), fresno (*Fraxinus pensilvanica*), nogal (*Juglans neotropica*), tara (*Caesalpinia tinctoria*), molle (*Schinus molle*), capulí (*Prunus capuli*), sauce (*Salix humboltiana*) y otras especies suculentas de la familia cactácea (ONERN 1973).

El eucalipto merece especial mención ya que constituye la especie que reviste capital importancia para la actual y futura forestación del Callejón de Huaylas, advirtiéndose, actualmente, áreas forestadas con la citada especie.

La cobertura herbácea, preferentemente localizada en áreas cultivadas, está constituida en gran parte por las gramíneas compuestas, crucíferas, que generalmente causan serios problemas a la agricultura. En este sentido, cabe hacer especial mención al kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), gramínea que se ha convertido en un especie invasora en la zona; favorecido por su gran poder de propagación (rizomas y semillas), ha invadido el área totalmente, determinando en ciertos sectores el abandono de la parcela. Dada la dificultad operativa que representa para los instrumentos de labranza así como por su difícil erradicación, los pobladores usan el fuego como medio de erradicación.

Entre las especies herbáceas más comunes puede mencionarse el cardo (*Cercium arvense*), la manzanilla hedionda (*Matricaria chamomilla*), la rabaniza (*Raphanus raphanistrum*), la mostacilla (*Cinapis arvensis*), el amor seco (*Bidens pilosa*), laortiga menor (*Urtica urens*), el chamico (*Datura stramonium*), el capulí cimarrón (*Nicandro phisalloides*) y el tomatillo (*Lycopersicon pimpineilifolium*). En la zona comprendida entre lo zona agrícola y lo formación subalpina nival, de topografía muy accidentada y

dominada principalmente por formaciones líticas, la cubierta vegetal es aislada y muy pobre, prevalentemente constituida por especies arbóreas y arbustivas de los géneros *Polylepis*, *Buddleja* y *Escalonia*, que alternan con una población de gramíneas, predominando dentro de éstas, especies de los géneros *Festucas*, *Cálamogrostis* y *Stipas*, este último caracterizado por su rusticidad, gran adaptabilidad al medioecológico, pero de escaso valor nutricional para el ganado motivo por lo que los pobladores suelen quemar sus parcelas pecuarias para mejorar la calidad del pasto.

De acuerdo a la vegetación imperante en la zona se puede afirmar que el material combustible tiene diferentes distribuciones en el espacio horizontal como vertical formando un mosaico de especies y edades, donde predomina el material combustible herbáceo.

El uso del fuego en la zona de estudio es una práctica común en las labores pecuarias y agrícolas y para cambiarlo de uso. Sin embargo su uso negligente hace que el fuego se escape de las áreas agropecuarias y desencadene en incendio forestal, difícilmente controlable debido a lo accidentado del terreno y la débil organización del Estado ante el problema.

Dado el distinto comportamiento de las especies vegetales, en razón de su combustibilidad, es importante conocer la composición botánica de la plantación para atender mejor como se propagó el incendio, pues la mayor o menor abundancia de combustibles así como su distribución espacial aumentará la velocidad de propagación del IF. La densidad de la vegetación por unidad de superficie influye notablemente, pues el calor se propaga más rápidamente cuanto mayor sea la proximidad de unas plantas a otras.

La disposición horizontal de los combustibles en el área de estudio fue continua conformada por pasturas distribuidas uniformemente en toda el área de plantación de eucalipto de 2 años de edad ubicadas a un distanciamiento de 2 metros. La disposición vertical de los combustibles también fue continua con pastos distribuidos desde el nivel del suelo hasta los primeros 30 cm; mientras el follaje de los latizales de eucalipto se distribuye verticalmente desde los 50 cm de altura hasta 150 cm de altura.

3.1.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE SUELOS

A) TOPOGRAFÍA

Está conformado por la gran masa de tierras de ladera que forman parte de los flancos cordilleranos que enmarcan la zona estudiada. A pesar de su topografía muy empinada y en base a las consideraciones sobre el exceso poblacional, estas tierras, desde hace mucho tiempo, han sido puestas bajo cultivo intensivo. Esta utilización sobre la base de cultivos temporales ha permitido la proliferación de la erosión hídrica transformando a estas tierras en un paisaje fuertemente disectado por cárcavas profundas, las que en muchos lugares, adquieren expresiones gigantescas y espectaculares.

Según la clasificación del suelo por su capacidad de uso mayor, existen en el callejón de Huaylas 13 581 ha de suelos de la clase VII que son suelos marginales relegados para actividades forestales que representan un 8,9 por ciento del total de suelos de la zona. Los suelos de la clase VII presentan muy severas limitaciones, lo que los hace inadecuados para cultivos intensivos, quedando relegados, fundamentalmente, a la actividad pecuaria extensiva y forestación para propósitos de explotación. Las condiciones físicas de las tierras de la Clase VII se caracterizan por tener condiciones desfavorables continuas como son suelos superficiales, gravosos o muy pedregosos; debido a sus características topográficas tienen problemas de erosión. Dentro de la clase de capacidad VII, se ha reconocido las siguientes sub-classes: VIIe (por riesgo de erosión) y VIIse (características edáficas limitantes asociadas a condiciones climáticas). Las condiciones climáticas adversas se explican debido a las fuertes oscilaciones de la temperatura en el día y a la limitada disponibilidad de agua (generalmente 5 meses al año).

Según el Mapa de Suelos y su Capacidad de Uso del Callejón de Huaylas, la zona de estudio pertenece a los suelos de la serie Huaylas (Ha) y la fase de pendiente 2 empinada (25-50 por ciento). De acuerdo a estas características estos suelos preferentemente deberían ser usados para plantaciones forestales con fines de protección.

B) CARACTERÍSTICAS FÍSICO – MORFOLÓGICAS DE LOS SUELOS DE LA SERIE HUAYLAS

Los suelos pertenecientes a la serie Huaylas están localizados entre los 2900 y 3200 metros de altitud, ocupando una superficie aproximada de 1059 hectáreas. Estos suelos se han formado a partir de materiales de origen coluviónico, constituidos principalmente por cuarcitas. La mayor proporción de estos suelos se encuentran ocupando las laderas disectadas de la localidad de Huaylas y en menor proporción, y en forma dispersa, aparecen distribuidos en la Cordillera Blanca. El relieve topográfico es muy accidentado, con gradientes dominantes que varían entre 25 y 50 por ciento. Los afloramientos rocosos en estos suelos es otro rasgo importante y característico. El drenaje natural es algo excesivo debido tanto a las características topográficas como texturales del perfil.

Morfológicamente, son suelos moderadamente profundos que presentan un horizonte “Ap” de tonos pardo rojizos, franco gravoso, que descansa sobre un B u horizonte transicional arcillo gravoso, estructurado en bloques subangulares y de naturaleza fuertemente ácido. El horizonte C se subdivide en una serie de estratos de matices rojizos y con alto contenido de material gravo-pedregoso, llegando a sobrepasar la cantidad de 70 por ciento.

Químicamente, son suelos de naturaleza fuertemente ácido a ligeramente ácida (pH 5,1 – 6,5), Las dotaciones de materia orgánica en la porción superior del perfil varían entre media y alta y por lo tanto, el nitrógeno se encuentra medianamente expresado. El fósforo es el macronutriente que se encuentra expresado en dotaciones bajas; en cambio, el potasio aparece en cantidades muy altas.

Los miembros típicos de la serie Huaylas se agrupan, según el Sistema Americano de Clasificación de Suelos de “La 7ª Aproximación”, dentro del Orden INCEPTISOL, Suborden OCREPT y Gran Grupo DISTROCREPT. De acuerdo al Sistema FAO (1970), pertenecen al grupo de los CAMBISOLES DISTRICOS.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto los suelos del área de estudio son suelos de protección. En base a sus características topo fisiográficas, estos suelos no presentan mayor vocación para una agricultura intensiva y económica, como ya se explicó. Sin

embargo, debido a la escasez de tierras agrícolas en la zona, estos suelos son utilizados en forma intensiva e indiscriminada. Los cultivos más comunes son: trigo, cebado, papa y maíz, con rendimientos muy bajos. En aquellas áreas con pendiente superiores a 25 por ciento, la agricultura establecida debe ser desplazada o sustituida por una vegetación permanente a base de especies forestales para propósitos de protección y en las zonas más convenientes para la producción maderera.

3.1.5 ANTECEDENTES DE LA PLANTACIÓN Y DEL INCENDIO FORESTAL.

La plantación forestal se realizó en forma de macizo durante los meses de enero y febrero del año 2008, cubriendo un área aproximada de 25 hectáreas con plantones donados por AGRO RURAL (Ministerio de Agricultura). La densidad de plantación fue 2500 plantas/hectárea, y el distanciamiento entre planta y planta fue 2 metros, tuvo una primera y única fertilización con guano de isla al momento del establecimiento (Anexo 3). Las actividades mencionadas fueron realizadas con aporte de la mano de obra del programa construyendo Perú y de la Municipalidad Distrital de Santo Toribio. Así mismo posteriormente la municipalidad apoyó con la implementación de un cerco de protección contra el ganado vacuno y riego continuo a la plantación.

La plantación está ubicada a una altitud promedio de 3665 metros de altitud, el ecosistema es frágil y el volumen de pastos secos y biomasa es considerable en la época seca. La tendencia creciente de la temperatura en los últimos años asociada a la baja precipitación, incrementa el peligro de incendios.

El IF ocurrió en octubre del 2010 en el sector de Quitacocha, distrito de Santo Toribio, provincia de Huaylas, según el informe N° 057-2010-AG-AGRO RURAL-DO-DZA /RRNN (Anexo 5).

El informe señala que el daño ocasionado por el fuego alcanzó a toda la plantación, siendo el daño irreversible, ya que el fuste y follaje de los árboles plantados en el 2008 fueron arrasados por el fuego. Cuando ocurrió el incendio los árboles tenían una altura promedio de 1,5 metros.

Debido a que el eucalipto es una especie que rebrota se realizó la poda de los tallos quemados un mes después del IF específicamente en el mes de Noviembre del 2010. Además se realizó riegos frecuentes en el área afectada por el incendio.

El monto total de la inversión de la plantación fue 230 000 nuevos soles, correspondiendo 30 000 nuevos soles el aporte económico directo de AGRO RURAL; 30 000 y 170 000 nuevos soles a construyendo Perú ya la Municipalidad de Santo Toribio respectivamente (Anexo 5). Dado los daños sufridos por la plantación el monto de las pérdidas alcanzó parte del monto de la inversión, más los gastos desembolsados para los tratamientos silviculturales (poda y riego del área afectada por el IF).

3.2 PROCEDIMIENTO

La evaluación del efecto del IF tuvo lugar en Enero del 2012, es decir, 15 meses después de que ocurriera el incidente, y a cuatro años del establecimiento de la plantación.

En enero de 2012 se procedió a la evaluación del área quemada y se realizó una entrevista con las diferentes autoridades y pobladores del área (Anexo 4), confirmándose que el incendio tuvo lugar el 7 de octubre del 2010 y que la causa fue humana.

3.2.1 DISEÑO DE MUESTREO

La población estudiada fue la plantación en macizo de *Eucalyptus globulus Labill subsp. globulus* afectada por el fuego. La muestra fue integrada por cada uno de los árboles (unidades de muestreo) sistemáticamente seleccionado dentro del área afectada por el fuego.

Para seleccionar las unidades de muestreo, primero se realizó un recorrido por la plantación, y en base a esto se determinó el área total de la plantación afectada por el fuego. El área se estratificó identificando el área afectada por el IF (estrato 1) y no afectada por el fuego (estrato 2) de tal manera que el tamaño de la muestra fue proporcional al tamaño del estrato uno y dos. El muestreo fue en fajas distribuidas en zigzag en el área de la plantación con la finalidad de cubrir todo el estrato uno y dos

respectivamente. Las fajas siguieron la orientación Norte-Sur de la plantación y las características del terreno, cubriendo el área afectada y no afectada por el fuego. Se evaluó una planta al azar cada cierta distancia partir de la primera planta. Para eliminar el efecto de borde se dejó un margen de 10 metros en el perímetro de la zona evaluada.

Se evaluaron 125 plantas de eucalipto por hectárea y un total de 9,2 ha representativas de las 25 ha quemadas. El tamaño de la muestra se determinó en función a la densidad de la plantación según el nivel II de inspección general de la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 2859-1 (Indecopi 2009). De manera que se evaluó 1440 árboles en el estrato 1 y 440 árboles en el estrato 2 (área no afectada por el fuego).

3.2.2 EFECTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES SOBRE LA SUPERVIVENCIA

Para evaluar el efecto del IF sobre la supervivencia de los árboles, se contabilizó el número de árboles vivos y muertos en el estrato 1 (zona afectada por el IF) y en el estrato 2 (zona no afectada por el IF), considerando:

1 = plantón presente y vivo.

2 = plantón ausente o muerto en pie.

3.2.3 EFECTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES SOBRE EL CRECIMIENTO

Para evaluar el efecto del IF sobre el crecimiento de los árboles se midió el diámetro del tallo del latizal con wincha graduada a decimas de centímetro. Tomando en cuenta el tamaño del latizal, la medición se realizó a una altura de 30 centímetros del suelo. Así mismo se realizó la medición de la altura total. Esta se refiere a la altura vertical del árbol desde el cuello radicular hasta la punta del latizal. Para obtener esta medida se empleó una wincha graduada en metros.

Con los datos obtenidos en campo se procedió a calcular las existencias del volumen de madera presente a la fecha de evaluación (m^3/ha) tanto en el área afectada como no afectada por el incendio forestal, así como los incrementos medios anuales (IMA) del diámetro, la altura y del volumen en el estrato 1 y 2 respectivamente.

3.2.4 EFECTO DEL IF EN LA CALIDAD DE LA PLANTACION

La metodología usada para evaluar la calidad de la plantación fue la propuesta por Murillo y Camacho (1997), las normas de evaluación de plantaciones forestales en la Sierra del Perú del MINAG (1976) y de acuerdo al vigor de la copa de los árboles propuesto por Manta (1988). En el Anexo 6 se muestra el formato de la evaluación de las variables de la calidad de la plantación.

Esta metodología evalúa la calidad de cada plantón para luego estimar la calidad de la plantación en forma total. Para ello se evaluó:

- Anomalías de crecimiento.- Se evaluó la presencia de las principales anomalías de crecimiento la presencia de torcedura basal, bifurcación e inclinación del fuste.

1=Sin presencia de torcedura basal y/o bifurcación y/o inclinación del fuste.

2=Con presencia de torcedura basal y/o bifurcación y/o inclinación del fuste.

- Vigor de copa.-Se evaluó las características de la copa del árbol. Según la clasificación de forma de copa propuesta por Manta (1988).
- Presencia y calidad de rebrotes.- Se evaluó la presencia de rebrotes según los criterios de selección propuestos por Rodríguez en el Congreso Nacional del Eucalipto (2001), tomando en cuenta su calidad o dominancia, defectos de bifurcación e inclinación del brote, anclaje al tocón, y dirección del viento. Se clasificaron los rebrotes como aceptables y no aceptables.

1=Aceptable: Con buen a regular anclaje, buena ubicación frente al viento y con dominancia.

2=No aceptable: brotes con la yema terminal con tendencia a bifurcarse y mal anclados.

- Estado sanitario.- Se registró la presencia de exudados, pudriciones del tallo, chancros, pérdida del eje dominante, perforaciones causado por insectos, marchitamiento de follaje, marchitamiento de brotes, pérdida del follaje u otro

síntoma del árbol causado por el ataque de los insectos o patógenos. El problema sanitario se registró bajo tres categorías.

1= Sano: Individuo sin evidencia de síntomas y signos que le afecten o causen daño.

2=Aceptablemente sano: Individuo con algún síntoma y signo de ataque presente en menos de un 50 por ciento del árbol, que no le provoque una alta probabilidad de muerte.

3= Afectado: Individuos con síntomas y signos de ataque que afectan más del 50 por ciento del árbol.

- Daños mecánicos.- En este punto se evaluó si el arbolado de la plantación presenta daños mecánicos en la totalidad o parte del árbol como por ejemplo árboles desramados, árboles sin copa o árboles con rajaduras.

1= Sin daños visibles.

2= Con algún daño visible.

- Determinación de la calidad de la plantación.- Esta variable es el resultado de los valores asignados a las variables supervivencia, anomalías de crecimiento (inclinación del fuste, torcedura basal y bifurcación), vigor de copa, presencia y calidad de rebrotes, estado sanitario y daños mecánicos. La determinación de la calidad del rodal evaluado fue determinado a través de la siguiente escala:

1= Excelente: Aquellos latizales cuyas calificaciones fueron “1” en las variables supervivencia, anomalía de crecimiento, calidad de rebrote, estado sanitario y daño mecánico, y una calificación mayor o igual a 4 en la variable vigor de copa.

2= Aceptable: Aquellos latizales que tienen una calificación “1” en la supervivencia, anomalía de crecimiento, calidad de rebrote, daño mecánico y “2” en la variable específica estado sanitario y una calificación mayor o igual a 3 en la variable vigor de copa.

3= Mala: Aquellos latizales con calificación “2” en alguna de las variables supervivencia, anomalías de crecimiento, calidad de rebrote y

daño mecánico; todos lo que reciben calificación “3” en la variable estado sanitario, los que tengan una calificación menor o igual a “2” en la variable vigor de copa. En esta escala se contabilizó los plantones muertos en pie.

3.2.5 MEDICIÓN DE LA INCIDENCIA Y SEVERIDAD DEL IF EN LA PLANTACIÓN

La incidencia y severidad del IF, es una medida cuantitativa del daño del incendio forestal en la especie estudiada. Para ello se siguió la metodología definida por Manta (2007a) y se procedió a su cálculo de acuerdo a lo siguiente.

La incidencia se calculó a través de la siguiente formula

$$I = \frac{n}{N} * 100$$

Donde:

I = Incidencia del daño ocasionado por el IF

n = número de árboles dañados por el IF.

N = número total de árboles observados

Severidad.- Definida como el grado de daño ocasionado por el IF en el árbol

$$S = \frac{1n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5}{N}$$

Donde:

S =Severidad (grado del daño provocado por el fuego)

1, 2, 3, 4, 5 =Grado a fijar por el investigador según el grado de daño causado por el incendio forestal.

n_1, n_2, \dots, n_n =Número de árboles o de parte del árbol con el daño

N =Número total de árboles o número total de partes (hoja, fuste, frutos y semillas) con daño observado.

De acuerdo al muestreo piloto en la plantación se elaboró los grados de daño comprendidos entre 0 y 5, tal como se detalla y muestra en la Figura 4. En el Anexo 7 se muestra el formato de campo para la evaluación de la incidencia y severidad del daño causado por el IF.

Se empleó los siguientes grados o niveles de daño provocado por el IF.



Nivel 0. Ningún daño perceptible (0 por ciento)



Nivel 1. Daño perceptible (1 a 25 por ciento de la parte aérea del latizal)



Nivel 2. Daños evidentes que no afectan seriamente al árbol (26 a 50 por ciento de la parte aérea del latizal)



Nivel 3. Daños notorios, que afectan seriamente al árbol (51 a 75 por ciento de la parte aérea del latizal)



Nivel 4. Daños muy notorios, parte evaluada inservible. (más de 75 por ciento de la parte aérea del latizal)



Nivel 5. Árbol muerto

Fuente: Elaboración propia

Figura 4 Escala gráfica de la severidad del daño del IF en la plantación

Estas variables fueron observadas únicamente en el área afectada por el fuego. Si la incidencia y severidad del IF sobre la plantación fuera notoria se procedería a cuantificar la pérdida económica total debido a la plantación incluida la pérdida de la plantación remanente de 4 años de edad, según se detalla en el acápite siguiente 3.2.7.

3.2.6 EFECTO DEL IF EN EL SUELO

Para determinar el efecto del fuego en las características físicas y químicas del suelo se tomaron las muestras de los primeros 40 centímetros de los estratos uno y dos. En ellos se analizaron las diferencias existentes respecto a una muestra testigo del área que no fue afectada por el incendio. Según Heras *et al.* 1991 los procesos de calentamiento producto de un incendio solo tienen importancia en las capas superficiales del suelo (0 a 7,5 cm), ya que este es un mal conductor del calor en las condiciones de sequía. Sin embargo se decidió hacer un muestreo de 20 a 40 cm de profundidad tomando en cuenta que el suelo analizado presenta un buen drenaje y posterior al incendio se realizó el tratamiento de riego y se inició el periodo de lluvias. Teniéndose para ambos estratos dos profundidades de muestreo de 0 a 20 cm de profundidad y de 20 a 40 cm de profundidad. Se realizó el muestreo en 15 sitios para la zona afectada por el incendio y 12 sitios para la zona no afectada. Las submuestras de cada profundidad fueron mezcladas por separado obteniendo una muestra para cada profundidad y fueron trasladados posteriormente al laboratorio de análisis de suelo de la Universidad Nacional Agraria La Molina para realizar el análisis químico y de contenido de materia orgánica. Se evitó muestrear el suelo en: zonas de acumulación de residuos orgánicos, fertilizantes y enmiendas calcáreas, al pie de cercas, zanjas, acequias y en lugares de acumulación de sales.

3.2.7 CÁLCULO DEL CARBONO EQUIVALENTE PRESENTE EN LA PLANTACIÓN

El carbono equivalente ($\text{CO}_2\text{-e}$) se calcula con la finalidad de poder acceder al mercado voluntario de carbono para proyectos de forestación y reforestación (Ecosystem Marketplace 2012) sus unidades son $\text{tCO}_2\text{-e/ha}$. Si los daños producidos por el IF son altos, las pérdidas económicas ocasionadas por el IF también serán elevadas, por lo cual es importante su cuantificación.

Para ello se realizó la estimación de la biomasa (t/ha) afectada por el fuego y el contenido de carbono presente en la plantación usando las ecuaciones propuestas por Simbaña (2011) según como sigue:

- a) Para la estimación de biomasa en plantaciones de *Eucalyptus globulus Labill subsp. globulus* de la región se usó la ecuación:

$$B = 39,8643024 - 3,51885099d + 0,02137993dap^2h$$

Donde:

B Biomasa (t/ha)

d Diámetro a 30 centímetros del suelo.

h Altura total del árbol.

- b) Para la estimación de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus Labill subsp. globulus* de la región se usó la ecuación:

$$C = 20,41569 - 1,74754d^2 + 0,010148d^2h$$

Donde:

C Carbono (tC/ha)

d Diámetro a 30 centímetros del suelo.

h Altura total del árbol.

De acuerdo al IPCC (1997) una tonelada de carbono (tC) equivale a 44/12 toneladas de carbono equivalente (tCO₂-e) y su costo actual en el mercado del carbono es de \$9 tCO₂-e (Ecosystem Marketplace 2012).

3.3 MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos utilizados en el trabajo de campo en el área afectada por el fuego y en el área testigo fueron:

- 1880 latizales de *Eucalyptus globulus Labill subsp. globulus*. 1440 latizales en el área afectada por el fuego y 440 latizales en el área testigo.
- GPS.

- Brújula.
- Libreta de campo.
- Lápiz.
- Wincha de 30 metros.
- Cinta métrica de 5 metros para medir la altura.
- Cámara fotográfica.
- Pala recta para el muestreo del suelo.
- Pico para el muestreo del suelo.
- Bolsas de papel y plástico para el traslado del suelo
- Etiquetas.
- Formularios para registrar los antecedentes de la plantación forestal (Anexo 3).
- Entrevistas para registrar los antecedentes del IF (Anexo 4)
- Formularios para medir la supervivencia, crecimiento y calidad de la plantación (Anexo 6).
- Formularios para medir el daño del IF (Anexo 7).

Trabajo en gabinete

- Computadora.
- Software Microsoft Office 2010
- Papel.

3.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para las variables cualitativas de valores discretos se utilizó la prueba estadística no paramétrica de independencia de Chi-cuadrado a un nivel de confianza del 95% ($p=0,05$) con la finalidad de estudiar la dependencia entre la ocurrencia del incendio forestal y las variables cualitativas evaluadas en la plantación.

Las variables cuantitativas fueron analizadas a través de las estadísticas básicas como la media, frecuencia, moda, varianza y desviación estándar. Para ello se utilizó el programa Microsoft Excel 2010.

Las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de la evaluación de campo y el análisis de la información primaria y secundaria, se puede afirmar que el IF ocurrido el 7 de octubre del 2010 fue superficial, es decir que las llamas alcanzaron una altura media de 1,5 metros de altura. Tuvo una duración de 2 horas y ocurrió a las 11 de la mañana. La velocidad de propagación mínima habría sido 2,4 m/s, debido a que la velocidad del viento habría alcanzado esa magnitud (SENAMHI 2008). De igual manera la dirección de propagación del IF siguió la dirección del viento (NE) y la orientación de la pendiente (SE). El fuego habría sido causado por el hombre, ya que se originó en los pastizales ubicados en la parte baja de la plantación, desde donde este se extendió rápidamente hasta alcanzar la parte superior afectando 40 ha de pastos naturales y 25 ha de la plantación forestal.

Las condiciones meteorológicas que favorecieron la ocurrencia del IF fue la escasa precipitación durante los meses de junio, julio, agosto y setiembre (0 a 4 mm), la temperatura media mensual fue 16,1°C y una humedad relativa promedio de 62%. Estas condiciones meteorológicas habrían influido en el contenido de humedad de los pastos (50 cm de altura) y eucaliptos que crecían juntos en el área donde ocurrió el IF, tal así como en el material combustible muerto tal como afirma Manta (2003). Así mismo, Agudelo (1997) sostiene que la velocidad de propagación del incendio se duplica en terrenos empinados o con pendiente, por lo tanto como la plantación estaba en terrenos con pendientes comprendidas entre 20 y 50 por ciento se hizo más susceptible al daño de los IF.

A continuación se desarrolla el efecto que tuvo el IF sobre cada una de las variables del estudio.

4.1 EFECTO DEL IF SOBRE LA SUPERVIVENCIA DE LA PLANTACION DE *EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL SUBSP. GLOBULUS*

La supervivencia al cuarto año del establecimiento de la plantación fue de 77,01% en el área afectada por el incendio forestal (estrato 1) mientras que en el área no afectada por el incendio forestal (estrato 2) la supervivencia fue de 87,73 %, tal como se observa en el Cuadro 6.

Cuadro 6 Supervivencia de una plantación de *Eucalyptus globulus* afectada por el fuego y testigo

Variable	Categoría	Estrato 1*		Estrato 2**	
		Frec.	Frec.	Frec.	Frec.
		Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa
Supervivencia	1 = plantón presente y vivo.	1109	77	386	87,7
	2 = plantón ausente o muerto en pie.	331	23	54	12,3

* Área afectada por el Incendio Forestal

** Área no afectada por el Incendio Forestal

Fuente: Elaboración propia

Los resultados encontrados no dejan de sorprender ya que la evaluación inmediata al IF informaba el daño en el arbolado era de 95%. Sin embargo estos resultados pueden ser explicados en términos de los tratamientos silviculturales aplicados, esto es, la poda de la copa de los latizales chamuscados y quemados, así como el riego posterior al IF.

En la Figura 5 se observa el porcentaje de supervivencia del área testigo y del área afectada por el IF, indicando que en el área no afectada por el fuego hubo una mortalidad de 12,3% de manera que la mortalidad referida al IF exclusivamente podría ser considerada únicamente 10,7% debido a las prácticas silviculturales post incendio, tal como se explicó anteriormente. Además de acuerdo a Vignote (2007) se sabe que el género *Eucalyptus*, está adaptado al fuego ya que emite rebrotes una vez que el fuego ha concluido.

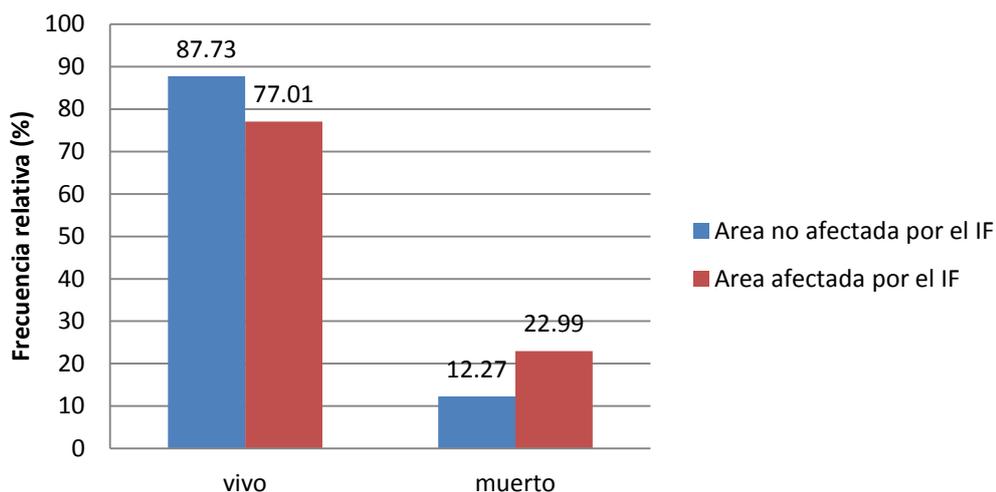


Figura 5 Supervivencia de una plantación de *Eucalyptus globulus* afectada por el fuego y testigo.

Los resultados indican que el IF no destruyó la plantación en el momento que ocurrió el IF. Según Vera (2007) la probabilidad de muerte del arbolado es mayor cuando el fuego ocurre al final de la época seca, por la mayor sequía acumulada en el suelo. Sin embargo los plántones que fueron afectados por el fuego en el mes de octubre de 2010 (final de la época seca) no enfrentaron condiciones de estrés hídrico debido a la aplicación de riegos lo cual pudo haber favorecido su supervivencia hasta el inicio de la época de lluvias.

Según Pacheco et al. (1997) el agua es el factor más importante que controla la productividad de las especies de eucalipto; así mismo Pereira (1994) menciona que la sequía ha sido un importante factor que ha limitado el crecimiento de estas especies forestales. Además es importante mencionar que el fuego puso a disposición del suelo (Clase VII) y de los plántones elementos químicos que en presencia de agua pudieron ser absorbidos por los latizales.

Es importante mencionar que la densidad del rodal afecta la supervivencia de los árboles ante los IF. Vera (2007) sostiene que los rodales con densidades de 300 a 700 árboles/ha sobreviven mejor en un IF que los rodales con densidades entre 900 a 2500 árboles/ha ya que la transmisión del calor del material combustible tanto a nivel horizontal como vertical es menor. El mismo autor sostiene que a mayor edad de la plantación (diámetros mayores) la probabilidad de muerte de los árboles en especies de

Pinus hartwegii por ejemplo, disminuye y es el principio y sustento para la aplicación de la quema prescrita. Este conocimiento forma parte de la silvicultura preventiva y debe ser considerada en el establecimiento de las plantaciones sobre todo en las áreas de mayor riesgo de IF.

Analizando la pérdida económica que representa el 10,7% de mortandad producida en el IF para el inversionista privado o público, este porcentaje representa alrededor de 2465 árboles, en 9,2 ha de reforestación a una densidad de 2500 árboles/ha. Si suponemos que el costo de una plantación con 4 años de edad fuera el costo del plantón en vivero, mano de obra, costos de riego, protección y la tasa de inversión bancaria activa (19%), la pérdida económica ascendería a 18 500 nuevos soles.

4.2 EFECTO DEL IF SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN

Como muestran los resultados en el Cuadro 7, luego de 4 años del establecimiento de la plantación el crecimiento promedio del diámetro en el área no afectada por el fuego alcanzó 3,5 cm, mientras que el crecimiento promedio en el área afectada por el IF fue 1,26 cm. En relación a la altura en el área no afectada por el IF el valor de la media de la altura fue 2,55 m, mientras que en el área afectada por el IF el valor de la media de la altura fue 1,23 m.

Cuadro 7 Diámetro y altura total promedio de la plantación de 4 años de edad.

<i>Variable</i>	<i>Estrato 1*</i>	<i>Estrato 2**</i>
Crecimiento promedio del diámetro [cm]	1,3	3,5
Rango de crecimiento del diámetro	0,2-7,5	0,4-7,6
Coeficiente de variabilidad	68%	41,10%
Crecimiento promedio de la altura [m]	1,23	2,55
Rango de crecimiento de la altura	0,1-5,5	0,6-6,7
Coeficiente de variabilidad	67,7%	42%

*Área afectada por el Incendio Forestal

**Área no afectada por el Incendio Forestal

Fuente: Elaboración propia

En general cuando se compara el crecimiento promedio del diámetro con el crecimiento de la especie en lugares óptimos se puede observar que el crecimiento diamétrico del testigo es inferior al que se encuentra para esta especie en países como

Argentina y Chile, debido a que los suelos del área de estudio son suelos forestales de protección y poseen características climáticas escasamente óptimas para un mejor crecimiento y rendimiento. Así mismo la elevada densidad de la plantación afectaría aún más el crecimiento diamétrico ya que está estrechamente relacionada con el incremento en el diámetro de los plantones.

Posiblemente dado que el área de la plantación presenta pendientes entre 50 a 70%, la altitud promedio de 3665 metros y la presencia de suelos de protección, el crecimiento general del diámetro y de la altura de *Eucalyptus globulus Labill subsp. globulus* fue reducido (Cuadro 7). Esta afirmación concuerda con lo manifestado por Carlson y Candelas (1985) quienes afirman que las plantaciones de *Eucalyptus globulus* no son adecuadas para la producción de madera en suelos de Ancash donde las pendientes son mayores a 50% y con altitudes mayores a 3400 metros, por lo cual cuestiona las plantaciones de eucalipto con este fin y que si la especie es plantada debería ser con fines de protección. Así mismo, Carrillo (2001) sostiene que las condiciones mínimas que el eucalipto requiere para obtener rendimientos económicos rentables, son terrenos cuya profundidad sea mayor a un metro, bien drenados, sueltos, de baja pedregosidad y pH entre 5,5 a 6,5. Con temperatura media anual entre 10°C a 14 °C y 700 mm de precipitación como mínimo. Las condiciones climáticas no se cumplen en el sitio de la plantación; así mismo, el análisis de suelo refleja condiciones poco ideales para la especie. Esta última afirmación será discutida en el acápite 4.4.

Cuando se analiza los resultados del crecimiento de los árboles de la plantación afectada y no afectada por el fuego a través de la distribución del crecimiento del diámetro y la distribución del crecimiento de la altura en la Figura 6 se puede observar en el área afectada por el IF que la frecuencia del crecimiento diamétrico presenta una curva de tipo “J invertida” lo cual indicaría que el fuego causó un retroceso en el crecimiento diamétrico de la especie ya que el 89,6% de la población se encuentra en las tres primeras clases diamétricas (entre 0,15 y 2,25 cm de diámetro). Además es necesario precisar que la medición de los diámetros de las clases 0,15 a 2,95 cm de los plantones afectados por el fuego corresponden a los rebrotes que se produjeron luego del incendio forestal superficial y de la poda ejercida por el personal técnico a cargo de la plantación. Mientras que las categorías diamétricas superiores representan a los árboles que mantuvieron su fuste original debido a que los daños ocasionados por el

fuego en el sistema vascular no fueron lo suficientemente severos para ocasionar el marchitamiento completo de la copa como en la mayoría de la población afectada.

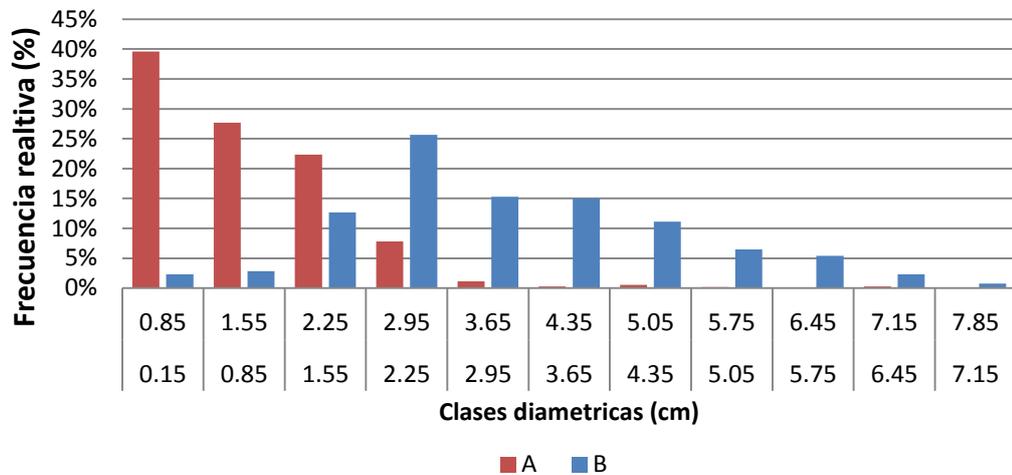


Figura 6 Distribución diamétrica de la plantación de *Eucalyptus globulus* de 4 años de edad (A).Afectada por el incendio forestal a los 2 años y 9 meses de establecida y (B) área testigo.

El área testigo por su parte presenta una distribución diamétrica de tipo normal (en forma de campana), es decir, de 62,7% de los árboles evaluados se concentra en 3 categorías diamétricas medias (entre 2,25 y 4,35 cm de diámetro) lo que nos indica un proceso de crecimiento típico de un ecosistema artificial como es una plantación (Figura 6).

De la misma manera en la distribución de alturas (Figura 7) se puede observar que el área afectada por el IF (A) presenta un distribución de tipo “J invertida” lo que indica un retraso en el crecimiento de la población ocasionado por la ocurrencia del IF ya que el 88% de la población tiene una altura inferior a 1,85 m, dichas clases pertenecen en su totalidad a los rebrotes que se produjeron luego del incendio forestal superficial y de la poda ejercida por el personal técnico a cargo de la plantación. Mientras que el área testigo (B) presenta una distribución diamétrica en forma de campana del tipo normal ya que un 79% de la población se encuentra entre las clases de altura de 1,25 y 3,65 m. lo cual refleja un mayor crecimiento en altura de los individuos de la plantación no afectada por el IF.

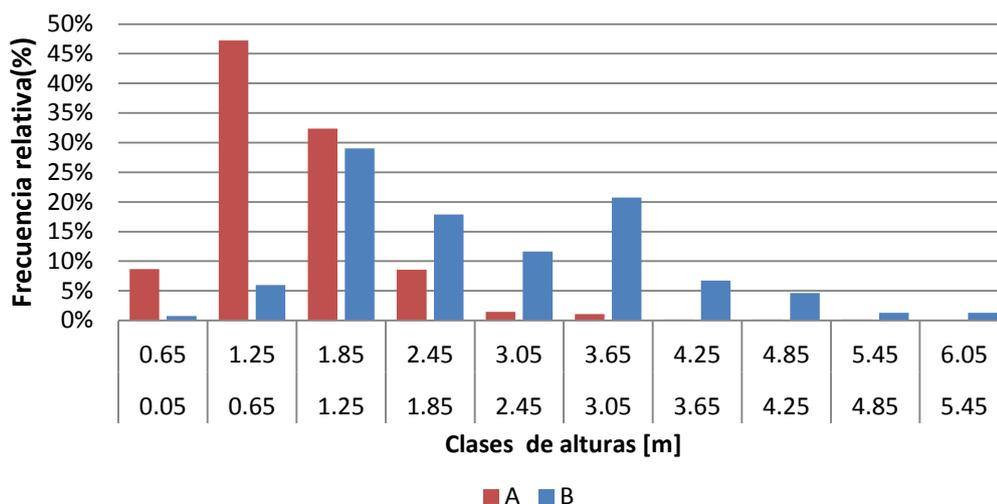


Figura 7 Distribución de alturas de la plantación de *Eucalyptus globulus* de 4 años (A) afectada por el incendio forestal a los 2 años y 9 meses de establecida y (B) área testigo.

En el Cuadro 8 se muestra que el área afectada por el IF presenta un mayor coeficiente de variabilidad para los parámetros diámetro y altura total con respecto al testigo. Esta diferencia se explicaría al efecto del IF, la poda y el riego lo cual influye en el crecimiento uniforme de la plantación. Sin embargo, es importante mencionar que el coeficiente de variabilidad (CV) de la plantación no afectada por el IF también es alto.

Cuadro 8 Diámetro y altura total promedio de la plantación evaluada

<i>Estrato</i>	<i>Diámetro (h=30cm)</i>		<i>Altura total</i>	
	<i>Promedio (cm)</i>	<i>CV %</i>	<i>Promedio (m)</i>	<i>CV%</i>
Área afectada	1,3	68	1,23	67,7
Área no afectada	3,5	41,1	2,55	42

Fuente: *Elaboración propia*

Siguiendo con el análisis del crecimiento se calculó el Índice de Crecimiento Medio Anual (IMA) para los parámetros diámetro, altura total y volumen como se puede observar en el Cuadro 9. El área afectada por el IF presenta un mayor IMA del diámetro y altura total comparada con el IMA del diámetro y de la altura total del área no afectada por el IF. Estos resultados serían explicados por el efecto del tratamiento silvicultural y por el efecto del IF en el suelo. En relación a lo primero se puede afirmar que el tratamiento de poda, favorece las características genéticas de la especie, es decir, rebrota rápidamente. En relación al segundo aspecto la disponibilidad de

nutrientes en el suelo permitiría acelerar el crecimiento en los primeros años. Al comparar el IMA del área de estudio no afectada por el IF con otros lugares como Argentina, Chile y Estados Unidos (Ferrere et al. 2005; Geldres y Schlatter 2004) se puede observar un IMA superior del diámetro que se encuentra en un rango de 1,8 a 2,2 cm/año, comparado con el IMA del diámetro del área no afectada por el IF (0,89 cm/año). Así mismo el IMA de la altura total en dichos países se encuentra en un rango de 2,3 a 2,7 m/año mientras que en la zona de estudio el IMA de la altura total para el área no afectada por el IF fue 0,65 m/año, posiblemente debido a las razones ya explicadas en el acápite 4.2.

El Índice de crecimiento Medial Anual (IMA) del volumen para los rebrotes del área afectada por el IF fue 0,31 m³/ha/año a los 15 meses de ocurrido del IF y a los 14 meses de realizado el tratamiento silvicultural de poda, mientras que el IMA para el área no afectada por el IF fue 1,249 m³/ha/año a los 4 años de edad. La diferencia se explica porque el área afectada por el IF está conformada por rebrotes con diámetros pequeños y un nivel de mortalidad mayor que el área no afectada por el IF.

Es importante destacar que el valor del IMA del volumen en el área no afectada por el IF (1,249 m³/ha/año) es muy inferior a los valores observados en plantaciones de *Eucalyptus globulus Labill subsp globulus* de la misma edad (4 años) en diferentes calidades de sitio en Chile (Geldres y Schlatter, 2004) cuyos valores van en un rango de 5,9-13,3 m³/ha/año. Así mismo se encuentran por debajo del promedio nacional para el eucalipto que es entre 7 a 10 m³/ha/año (Carrillo 2001) Lo que demuestra el bajo rendimiento de la especie plantada en suelos de protección y altitudes no recomendadas.

Quince meses después del IF la existencia de madera fue 0,39 m³/ha para el área afectada por el IF y 4,99 m³/ha para el área testigo

Cuadro 9 Índice de Crecimiento Medio Anual (IMA) de la plantación en el área de estudio.

Estrato	Existencias (m3/ha)	IMA diámetro (cm/año)	IMA altura (m/año)	IMA volumen (m3/ha/año)
Área afectada por el IF	0,39	0,96	0,9	0,31
Área no afectada por el IF	4,99	0,89	0,65	1,25

Fuente: Elaboración propia

4.3 EFECTO DEL IF SOBRE LA CALIDAD DE LA PLANTACIÓN

En el Cuadro 12 se observa los valores resultantes de las variables evaluadas para determinar la calidad de la plantación en el área afectada por el incendio forestal (Estrato1) y en el área no afectada por el incendio forestal (Estrato 2).

Cuando se analiza la calidad de la plantación en su conjunto (Cuadro 11 y Figura 8) se observa que en el área afectada por el IF un 50,3% de la plantación es de mala calidad, 42,8% es de calidad aceptable y 6,9% es de calidad excelente. Mientras que en el área testigo el 28,9% de la plantación tiene calidad mala, el 67,9% es aceptable y 3,2% es excelente.

Cuadro 10 Variables de calidad de la plantación evaluadas en una plantación de *Eucalyptus globulus* afectada por el incendio forestal (Estrato 1) y el área testigo (Estrato 2).

Variable	Categoría	Frec. Absoluta		Frec. Relativa (%)	
		Estrato	Estrato	Estrato	Estrato
		1*	2**	1*	2**
Supervivencia	1 = plantón presente y vivo	1109	386	77,01	87,7
	2 = ausente o muerto en pie	331	54	22,99	12,3
Anomalías de crecimiento	1 = ausente	938	357	84,58	92,5
	2 = presente	171	29	15,42	7,5
Vigor de copa	1 = bien pobre	17	13	1,5	3,4
	2 = pobre	136	55	12,3	14,2
	3 = aceptable	602	49	54,3	12,7
	4 = bueno	350	175	31,5	45,3
	5 = excelente	4	94	0,4	24,4
Calidad de rebrotes	1 = aceptable	789	SR	71,2	SR
	2 = no aceptable	320	SR	28,8	SR
Estado fitosanitario	1 = sano	507	19	45,7	4,9
	2 = aceptablemente sano	581	325	52,4	84,2
	3 = afectado	21	42	1,9	10,9
Daños mecánicos	1 = sin daño visible	1101	381	99,3	98,7
	2 = con daño visible	8	5	0,7	1,3

* Área afectada por el Incendio Forestal

** Área no afectada por el Incendio Forestal

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11 Calidad de una plantación de *Eucalyptus globulus* después de 15 meses de afectada por el fuego y calidad de la plantación testigo.

Variable	Categoría	Frec. Absoluta		Frec. Relativa (%)	
		Estrato	Estrato	Estrato	Estrato
		1*	2*	1*	2**
Calidad de la plantación	1 = Excelente	102	18	7,08	4,09
	2 = Aceptable	595	263	41,32	59,77
	3 = Mala	743	159	51,6	36,14

* Área afectada por el Incendio Forestal

** Área no afectada por el Incendio Forestal

Fuente: Elaboración propia

La gran proporción de individuos de mala calidad en el área afectada por el IF puede ser explicada por la ocurrencia del IF además de la considerable proporción de rebrotes no aceptables que redujeron considerablemente su calidad. Los resultados concuerdan con lo citado por Delmy (1999) al afirmar que el incendio forestal reduce seriamente la calidad de las plantaciones desde el punto de vista ecológico y económico. La reducida proporción de plántones clasificados como de excelente calidad en el área testigo pueden explicarse por factores que difieren al incendio como pueden ser; la calidad de los plántones al momento de la plantación, la calidad del sitio y el manejo de la plantación. Así mismo el mayor número (100) de plántones con calidad excelente en el área afectada por el IF se explicaría porque estos provienen de rebrotes y de alguna manera aprovecharon los elementos químicos presentes en la solución suelo, presentando copas nuevas vigorosas y sin problemas fitosanitarios.

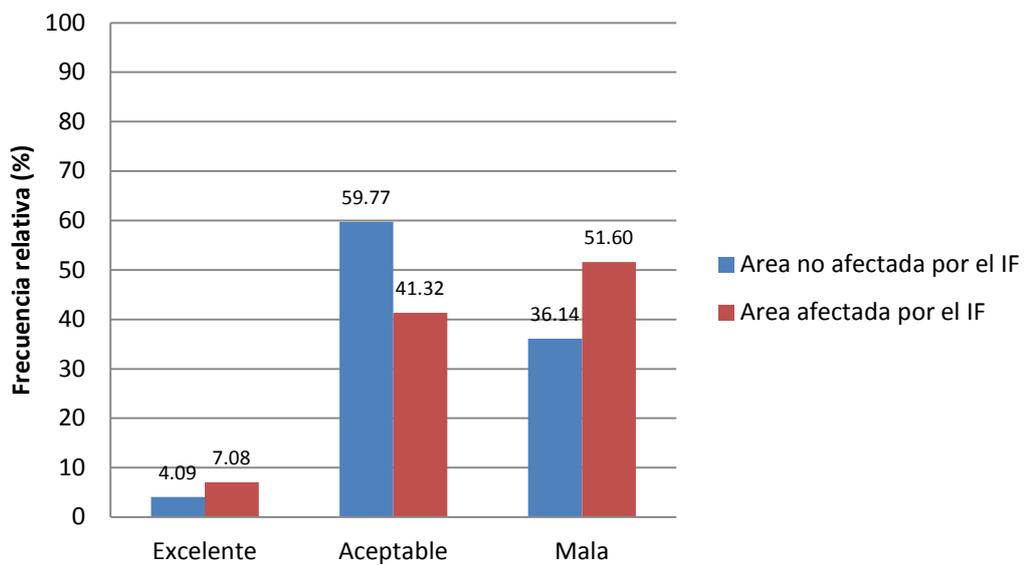


Figura 8 Calidad de una plantación de *Eucalyptus globulus* afectada por el fuego y testigo.

Para comprobar que los resultados encontrados en la calidad de la plantación son dependientes o están relacionados con el incendio se realizó el análisis de independencia de estas variables a través de la prueba de Chi-cuadrado (Cuadro 12). De acuerdo a ella se puede afirmar que existe una relación significativa entre la calidad de la plantación y el IF.

Cuadro 12 Prueba de independencia Chi-cuadrado ($p=0,05$) para las variables calidad de la plantación y ocurrencia del Incendio Forestal ($n=1440$; $n=440$).

Variable	gl	$\chi^2_{(0,05)}$	χ^2 calculado	Significación
Calidad de la plantación	2	5,99	46,66	*

* Existe relación entre la variable y la ocurrencias del IF

NS La variable es independiente a la ocurrencia del IF.

Fuente: Elaboración propia

Dado que el análisis de independencia Chi-cuadrado demostró que la calidad total de la plantación y la ocurrencia del IF están significativamente relacionadas a continuación se procederá a analizar y explicar los resultados de cada variable de la calidad de la plantación en relación al IF.

En el Cuadro 13 se presenta los resultados de las pruebas de independencia de las variables cualitativas que componen la calidad de la plantación en relación a la ocurrencia del IF.

Cuadro 13 Prueba de independencia de Chi-cuadrado de las variables cualitativas evaluadas y ocurrencia del incendio forestal.

Variable	gl	$\chi^2_{(0,05)}$	χ^2 calculado	Significación
Supervivencia	1	3,84	23,75	*
Anomalías de crecimiento	1	3,84	15,44	*
Vigor de copa	4	9,48	386,32	*
Estado fitosanitario	2	5,99	102,68	*
Daños mecánicos	1	3,84	1,09	NS

* Existen diferencias significativas

NS No existen diferencias significativas

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados de la prueba de independencia de las variables cualitativas que componen la calidad de la plantación se puede afirmar que la supervivencia, las anomalías de crecimiento, el vigor de copa y el estado fitosanitario encontrado son el resultado del efecto del IF a un nivel significativo. En el caso de la variable daño mecánico los resultados son independientes a la ocurrencia del IF y los escasos daños visibles (8) encontrados podrían ser explicados por otras causas como fuertes vientos,

así como los animales o el hombre mismo, quienes podrían ser los causantes de los daños.

En la Figura 9 se observa los resultados de la variable anomalías de crecimiento (bifurcación, inclinación y torcedura basal). De acuerdo a ella, el 84,58% (938 individuos) en el área afectada por el fuego no tiene anomalías de crecimiento y 15,42% (171 individuos) presentan anomalías de crecimiento.

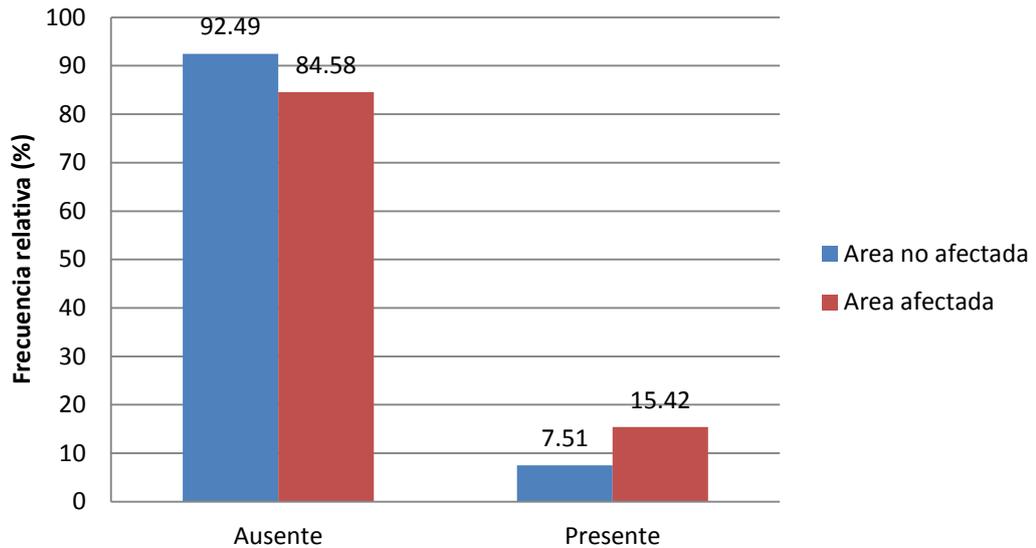


Figura 9 Número de individuos con anomalías de crecimiento en la plantación de *Eucalyptus globulus* afectada por el fuego y no afectada por el fuego.

Con la prueba de independencia de Chi-cuadrado se demuestra que la diferencia en la presencia de anomalías de crecimiento entre el estrato 1 y el estrato 2 es debido al IF ya que resultó ser significativa a un 95% de confianza.

La ausencia de anomalías en el crecimiento del 84,58% de individuos evaluados en el área afectada por el IF puede ser explicada al hecho de que todos eran rebrotes que crecieron luego del tratamiento de poda sin mayores defectos tratando de conseguir un buen anclaje en el tocón. Mientras el 15,42% de los individuos evaluados aunque recibieron poda mostraron alguna anomalía de crecimiento.

Las **anomalías de crecimiento**, inclinación, torcedura basal y la bifurcación en eucalipto desmejoraron la calidad del latizal y del rebrote de eucalipto. La inclinación se presentó en 14,12% de los individuos del área afectada por el IF, mientras que en el

área testigo tuvo una magnitud de 1,81%. La torcedura basal se presentó en un 1% del total de individuos del área afectada por el fuego mientras que en el área testigo presento un valor de 4,9%. La bifurcación se presentó en un 0,3% de individuos del área afectada por el IF y en 0,8 % de individuos para el área testigo. La menor proporción de las dos últimas anomalías de crecimiento en el área afectada por el IF se debería al efecto de la poda que se aplicó luego del IF. Posiblemente los defectos del crecimiento de eucaliptos en el área afectada por el fuego hubieran sido mayores sino se hubiera aplicado este tratamiento.

Respecto a la salud y vigor de la plantación, medida a través de la forma de copa, en el área afectada por el IF. El 86,2% de la población de latizales afectados por el fuego tienen copas aceptables en salud y vigor, ya que dichas copas provienen de rebrotes que crecieron luego de la poda. En tanto que el 69,7% de los latizales evaluados en la zona no afectada por el IF tuvieron copas buenas y excelentes; pero un 17,6% de la población tuvo copas clasificadas como pobre y muy pobre. Este resultado podría ser explicado debido a la falta de tratamientos silviculturales (poda) y a las condiciones ecológicas poco favorables para su crecimiento.

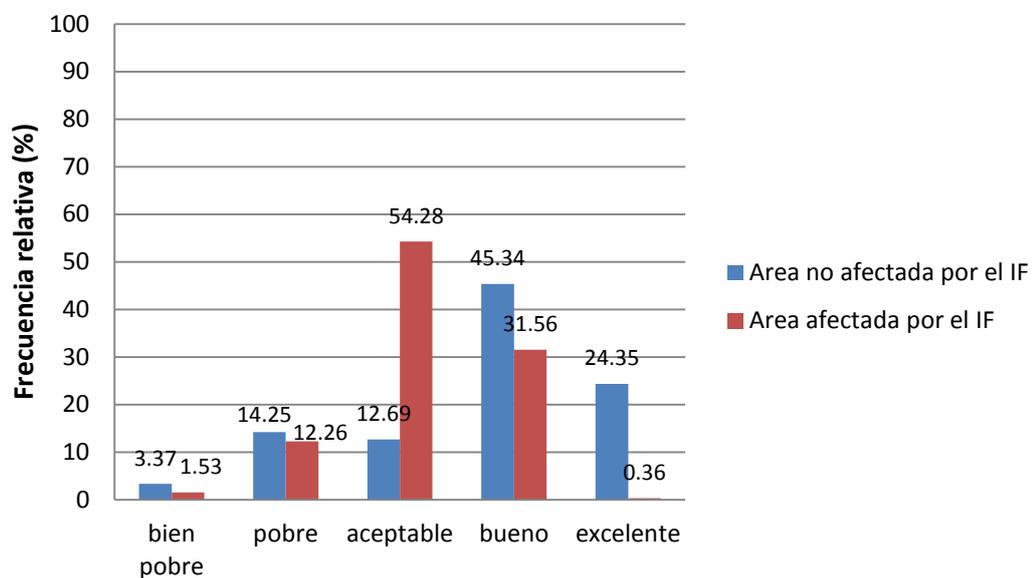


Figura 10 Distribución de la frecuencia presente en los diversos niveles de vigor de copa de una plantación de *Eucalyptus globulus* afectada por el fuego y testigo.

En cuanto a la **calidad de rebrote** el 28,85% de rebrotes evaluados no fueron de buena calidad debido principalmente a una falta de manejo de los mismos, ya que no se ha

realizado la selección del mejor rebrote, encontrándose al momento de la evaluación un número promedio de 4 rebrotes por latizal lo que genera competencia y reduce el crecimiento del mejor rebrote que coexiste con rebrotes de calidad no deseables.

En la Figura 11 se muestra los resultados del estado sanitario de la plantación afectada por el IF y de la plantación testigo. Se observa que el 45,72% de los individuos del área afectada por el IF están sanos, mientras la mayoría de los latizales (54,28%) presentan marchitamiento de brotes terminales provocado por el insecto comúnmente llamado piojo del eucalipto (*Ctenarytaina eucalypti*), marchitamiento general y canchales en el fuste de los latizales, tal como se muestra en la Figura 11, 12 y 13 respectivamente. Llama la atención que en el área testigo sólo el 4,92% de los individuos estén sanos y el 95,08% estén afectados por los mismos síntomas y signos encontrados en el área afectada por el IF. Las diferencias resultaron ser significativas ($p=0,05$) para la prueba de independencia de Chi-cuadrado entre el área afectadas por el IF y el testigo. El mejor resultado del estado sanitario del estrato 1, puede ser explicado en términos de la presencia de brotes nuevos vigorosos, la mejora en la disponibilidad de nutrientes provocado por el IF y de los tratamientos silviculturales poda y riego, tal como se detalló anteriormente. Estos factores habrían determinado una mayor resistencia al marchitamiento general y el menor ataque del piojo del eucalipto al momento de la evaluación.

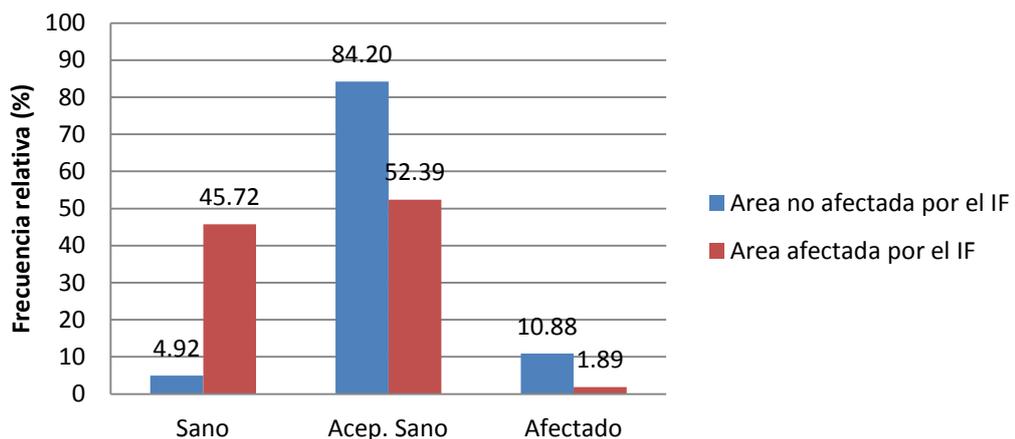


Figura 11 Estado sanitario de la plantación de *Eucalyptus globulus* afectada y no afectada por el IF.



Figura 12 Marchitamiento de brotes en eucalipto generado por el piojo del eucalipto (*Ctenarytaina eucalypti*)



Figura 13 Marchitamiento general en eucalipto



Figura 14 Cancro en fuste de eucalipto

En el Cuadro 14 se presenta los resultados cuantitativos de los síntomas observados tanto en el estrato 1 como en el estrato 2.

Cuadro 14 Síntomas observados en la plantación de *Eucalyptus globulus* afectada (estrato 1) y no afectada por el IF (estrato 2).

<i>Síntomas</i>	<i>Frecuencia absoluta</i>		<i>Frecuencia relativa (%)</i>	
	<i>Estrato 1*</i>	<i>Estrato 2**</i>	<i>Estrato 1*</i>	<i>Estrato 2**</i>
Marchitamiento de brotes terminales	405	159	36,5	41,1
Marchitamiento general	132	333	11,9	86,2
Cancro	44	0	4	0

* Área afectada por el Incendio Forestal

** Área no afectada por el Incendio Forestal

Fuente: Elaboración propia

El marchitamiento de los brotes terminales del eucalipto causado por el “piojo del eucalipto” generalmente ocurre en plantas jóvenes (1-2 años) ya que el insecto se alimenta de la savia de las hojas mas tiernas, o también de las hojas tiernas que presentan los rebrotes (Marquina, 2003). En el cuadro 14 se muestra que el 41,1% de los individuos del área testigo están atacados por este insecto, no obstante ser latizales de 4 años de edad que habían cambiado las hojas tiernas por hojas verdaderas (más gruesas y coráceas). El resultado podría ser explicado por dos razones. La primera sería que el psílido está ampliando su espectro de ataque hacia las hojas adultas, mientras la segunda razón sería que las hojas adultas de la plantación del área testigo son susceptibles al ataque del piojo del eucalipto debido al grado de estrés en que se desarrolló la plantación por ausencia de agua y tratamientos silviculturales.

El marchitamiento general mayor en los individuos del área testigo obedecería a la falta de agua principalmente, ya que esta plantación solo recibió el agua de lluvia.

El cancro solamente fue observado en el estrato 1 y estaba situado en la base del fuste manifestándose a través de fisuras sin secreción ni olor perceptible.

La plantación en ambos estratos no presento **daños mecánicos** considerables. El 99,3% del área afectada por el IF no presento daños mecánicos y el 98,7% del área no afectada por el fuego también se encontró libre de daños mecánicos. Esto se debe a la protección con la que cuenta la plantación al tener cerco para protección del ganado, que se encuentra en buen estado, no obstante haber ocurrido el IF.

4.4 INCIDENCIA Y SEVERIDAD DEL IF SOBRE LA PLANTACIÓN

En el cuadro 15 se muestra la incidencia y severidad causada por el IF. La incidencia del IF sobre la plantación presenta un valor de 100%, es decir que todos los árboles evaluados fueron afectados por el IF, llegando a producir la muerte de 331 individuos. Evidentemente el impacto económico negativo provocado por el IF es alto, ya que si consideramos que en una hectárea habían 2500 árboles, en 25 hectáreas habrían sido afectados 625 000 árboles con los grados de daños más severos (3, 4 y 5).

El 100% de incidencia indica que la distribución del fuego en el área plantada fue homogénea, debido a la composición florística pasto y eucalipto, espacio horizontal uniformemente ocupado y espacio aéreo uniformemente ocupado, la densidad de la plantación así como la baja humedad del material combustible especialmente de los pastos naturales todo lo cual favoreció una propagación uniforme del fuego en la plantación.

El nivel de severidad promedio del daño ocasionado por el IF fue 4,2 (Cuadro 15) lo que significa que los árboles presentan daños notorios que afectan seriamente el árbol, daños muy notorios e incluso hubo árboles muertos. No obstante haber aplicado la poda radical de la copa quemada y chamuscada, los rebrotes muestran las secuelas del IF que soportaron. El daño fue más severo dada la corta edad de la plantación (33 meses) al momento del incendio. Al respecto, Bara et al. (1994) afirma que los árboles de menores diámetros sufren un mayor daño debido a la escasa protección presentada por una corteza más delgada y una copa más baja y más sensible al chamusqueado. Por su parte Dickinson y Johnson (2001) afirman que el cambium vascular muere cuando es sometido a un pulso de calor lo suficientemente elevado y durante el tiempo necesario, generando después del incendio un marchitamiento general en casi la totalidad de las copas de los árboles.

Los plántones afectados por el incendio que sobrevivieron perdieron por completo la copa y el fuste inicial. Dada la capacidad de rebrote de *Eucalyptus globulus Labill subsp. globulus* se les aplicó una poda radical, de manera que los individuos se desarrollaron a partir de rebrotes y solo un 2,4% (29) de los latizales sobrevivieron y se desarrollan a partir de su copa y fuste inicial.

Cuadro 15 Incidencia y severidad de los daños causados por el incendio forestal en una plantación de *Eucalyptus globulus* de 4 años.

Grado de severidad	Incidencia del daño por escala	Severidad
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	34	0,071
4	1075	2,986
5	331	1,149
Total	1440	4,206

Fuente: Elaboración propia

El alto nivel de severidad promedio del daño ocasionado por el IF encontrado (4,2) confirma el hecho de que la calidad de la plantación sea principalmente mala y aceptable. Así mismo, la aparición de *Ctenarytaina eucalypti* contribuye a reducir el crecimiento de los latizales que sobrevivieron al IF. Por lo cual resulta preocupante la futura supervivencia de la plantación.

De acuerdo a Vega (2007) los niveles de severidad condicionan la respuesta de la vegetación y del suelo al impacto del IF, por lo tanto deben ser tomados en cuenta en las tareas de restauración ya que afecta su planificación y ejecución.

4.5 EFECTO DEL IF SOBRE EL SUELO DE PROTECCIÓN

El muestreo de suelo de la zona de estudio dio como resultado valores de pH que clasifican a los suelos como fuertemente ácido con pH promedio de 4,8 en ambas profundidades (0-20 cm y 20-40cm). El suelo afectado por el IF luego de 15 meses de ocurrido el incendio presenta un ligero aumento del pH con respecto al testigo como puede observarse en el Cuadro 18. Dichos resultados concuerdan con Heras et al. (1991) quienes aseveran que en general, se observa que el incendio incrementa el pH del suelo pues las cenizas procedentes del mismo, contienen gran cantidad de carbonato potásico (CO_3K_2), sal que por proceder de un ácido débil y de una base fuerte, presenta reacción básica cuando se hidroliza, con el consiguiente aumento de pH. El mismo autor señala que los suelos ácidos presentan incrementos mayores que van de 1 a 2 puntos volviendo a los valores iniciales a los dos años, pudiendo llegar a ser con el tiempo incluso menores que los valores iniciales en suelos con elevada

precipitación y de textura arenosa. De Bano y Conrad (1978), y Tarrega et al. (1986) confirman lo encontrado por Heras et al. (1991) ya que tiempo posterior al incendio el pH de suelos de textura arenosa era inferior al de partida.

Se puede afirmar que el suelo afectado por el incendio forestal como el no afectado por el IF tiene un pH ácido en las dos profundidades. Sin embargo, el fuego desintegra la materia orgánica, esto posibilita, la agregación de cationes solubles en agua como potasio y fósforo lo cual posibilita la reducción de la acidez en ambas profundidades del estrato 1, así el pH del estrato 1 es mayor que el pH del estrato 2 a los 15 meses de transcurrido el IF (Cuadro 16). La variación del pH del suelo en el estrato 1 está relacionada con la intensidad del incendio, Mataix (1999) afirma que en incendios de baja intensidad donde la combustión de la materia orgánica es muy baja los cambios en el pH son insignificantes mientras que en los casos en los que la intensidad del incendio es alta, y se produce una gran combustión de la materia orgánica del suelo, el pH del suelo puede llegar a aumentar mucho (4 o 5 unidades) debido, fundamentalmente a la pérdida de grupos OH de los minerales de la arcilla y a la formación de óxidos.

Cuadro 16 Valores de pH del suelo a 15 meses de ocurrido el IF en el área de estudio.

<i>Profundidad de muestreo [cm]</i>	<i>pH del Suelo</i>	
	<i>Estrato 1*</i>	<i>Estrato 2**</i>
0-20	4,84	4,74
20-40	4,86	4,69

* Área afectada por el Incendio Forestal

** Área no afectada por el Incendio Forestal

Fuente: Elaboración propia

Respecto al contenido de materia orgánica (M.O) es diferente en el suelo afectado por el IF al del suelo del área testigo. Como se observa en la Figura 15 y el Cuadro 17, el porcentaje de M.O. es medio en los primeros 20 cm de profundidad en el suelo afectado por el IF. Mientras el porcentaje de M.O. del testigo es alto a la misma profundidad. Lo mismo ocurre en la profundidad de 20 a 40 cm, donde el contenido de M.O. es bajo en el suelo afectado por el IF; mientras en el área testigo el contenido de M.O. es medio. En general el contenido de M.O. en el área afectada por el IF fue inferior en las dos profundidades a los 15 meses de ocurrido el IF.

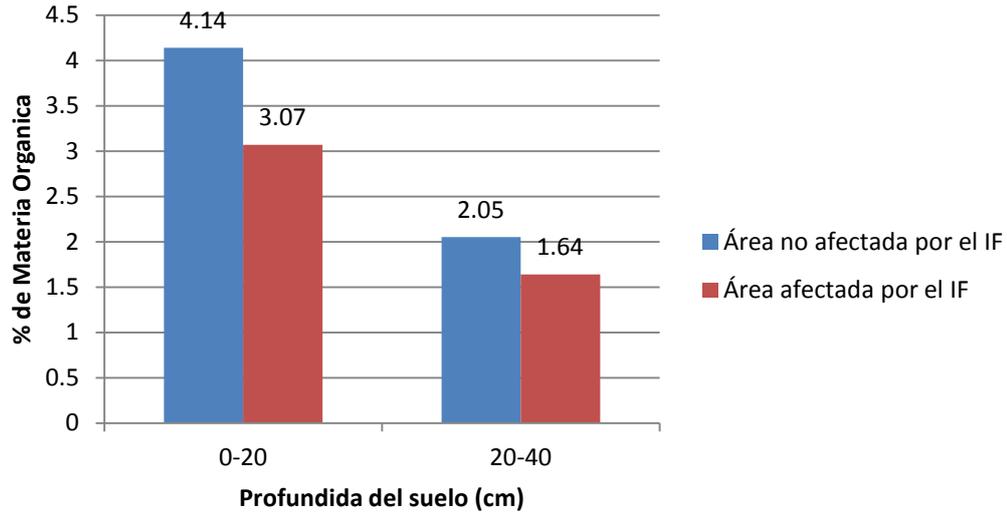


Figura 15 Contenido de M.O (%) en el estrato 1 y 2 a 15 meses de haber ocurrido el IF.

Cuadro 17 Contenido de M.O (%) en el estrato 1 y 2 a 15 meses de haber ocurrido el IF.

<i>Profundidad de muestreo [cm]</i>	<i>M.O del Suelo</i>	
	<i>Estrato 1*</i>	<i>Estrato 2**</i>
0-20	3,07	4,14
20-40	1,64	2,05

* Área afectada por el Incendio Forestal

** Área no afectada por el Incendio Forestal

Fuente: Elaboración propia

Los resultados encontrados concuerdan con lo encontrado por Kutiel y Shaviv (1989) y Prieto et al. (1993) quienes afirman que el efecto más evidente del fuego sobre la fertilidad edáfica, lo constituye la pérdida de materia orgánica. Así mismo Rice (1993); Kutiel e Inbar (1993) y Heras et al. (1991) indican que el suelo queda altamente susceptible a la erosión y que el fuego poco intenso (menores a 450°C) puede no lograr quemar a la materia orgánica.

Si bien la quema de materia orgánica aumentó la cantidad de nutrientes utilizables posterior al IF, estos elementos fueron arrastrados por el agua de riego con mayor facilidad, ya que con la pérdida de materia orgánica disminuye también la capacidad del suelo para almacenar nutrientes. El flujo de nutrientes es severamente afectado por el fuego, produciendo un desequilibrio de los ciclos biológicos cuyo restablecimiento

puede ser más o menos largo, dependiendo de las circunstancias particulares, así el contenido de materia orgánica se irá recuperando paulatinamente en el suelo en función al contenido de cubierta vegetal y su aporte orgánico al suelo, así como a las prácticas de restauración de las áreas quemadas, que se pudiera emprender. Es importante señalar que no solo la combustión de la materia orgánica produce cambios en el flujo de nutrientes, también la sequedad debida a la pérdida de la humedad del suelo provocada por el IF, causa modificaciones químicas en la materia orgánica, haciéndola más fácilmente mineralizable.

En el Cuadro 18 se presentan los resultados obtenidos del análisis químico del suelo afectado por el IF y del suelo del área testigo.

Cuadro 18 Análisis químico del suelo del estrato 1 y 2 a 15 meses de ocurrido el IF.

Profundidad de muestreo [cm]	Estrato	CE (dS/m)	Fosforo (ppm)	Potasio (ppm)	CIC (meq/100g)
0-20	Área no afectada por el IF	0,19	3,3	425	14,72
	Área afectada por el IF	0,14	3,2	160	14,08
20-40	Área no afectada por el IF	0,07	5,6	186	14,88
	Área afectada por el IF	0,05	6,7	97	13,12

Fuente: Elaboración propia

En relación a la conductividad eléctrica (CE) se observa que tanto el estrato 1 como el estrato 2 tienen valores muy bajos de CE, que clasifican el suelo como muy ligeramente salino ($CE < 2dS/m$) en ambas profundidades a los 15 meses de ocurrido el IF. Sin embargo el área afectada por el IF presenta valores menores de CE en relación al testigo los cuales pueden explicarse por la incorporación y el incremento de cenizas minerales por efecto del fuego que aumentan la salinidad del suelo, ya que solubiliza iones que previamente estaban inmovilizados los cuales pueden ser lavadas fácilmente por el riego y por las lluvias típicas de la región andina y probablemente disminuir su proporción en el suelo (Mataix 1999).

En el caso del fósforo en ambos estratos y a los 15 meses de ocurrido el IF, se encontró una baja cantidad de fósforo en el suelo a pesar de que el contenido de fósforo disponible para las plantas en general aumenta tras los incendios forestales debido a la transformación de fósforo en forma orgánica a fósforo inorgánico y a la incorporación

de cenizas producto de la combustión de la vegetación (Mataix 1999). Este incremento de fósforo posterior a la ocurrencia del IF se puede constatar en una mayor cantidad de fosforo a una profundidad de 20-40 cm en el estrato afectado por el IF en relación al estrato del área no afectada por el IF. Esta diferencia no es observable a una profundidad de 0-20 cm de profundidad en ambos estratos producto de la movilización del fósforo soluble debido a las lluvias y a la fuerte pendiente que presenta la plantación. El incremento de fósforo en forma asimilable en la profundidad de 20 a 40 cm sería el responsable de la efímera fertilidad que presentan los suelos, tal como confirma Martínez (1995).

Cuando se analiza la cantidad de potasio presente en el suelo, se observa una menor cantidad de potasio en las dos profundidades del suelo afectado por el IF, que clasificados en términos edafológicos le corresponde una cantidad media (Figura 16). Mientras el área testigo presentó valores altos en la cantidad de potasio presente en el suelo en la profundidad de 0-20 cm y de 20-40 cm. Los resultados pueden explicarse debido a la pérdida de potasio del suelo como consecuencia del IF que aporta potasio al suelo posterior al IF por la incorporación de cenizas en forma de iones solubles que son fácilmente lavados debido al riego aplicado, la lluvia y la fuerte pendiente que caracteriza a los suelos de la plantación.

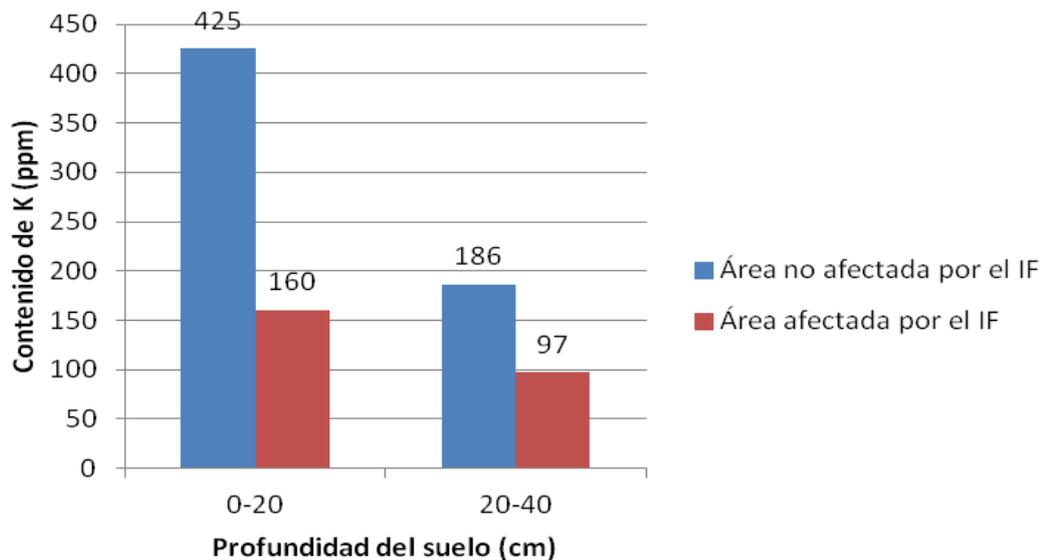


Figura 16 Contenido de potasio (ppm) en una plantación de *Eucalyptus globulus* a 15 meses de ser afectada por el fuego y testigo.

Quince meses después de ocurrido el IF, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) disminuyó en el suelo afectado por el IF; mientras el área testigo tuvo una mayor CIC. La disminución de la CIC fue mayor en la profundidad de 20-40 cm (Cuadro 18).

Los resultados en las propiedades químicas del suelo afectado por el IF presentado en el Cuadro 18 son discutidos a continuación.

La salinidad del suelo no se vio modificada por el IF en las dos profundidades a los 15 meses de ocurrido el IF. La cantidad de fósforo y potasio en los primeros 20 cm de profundidad del suelo donde ocurrió el IF posiblemente fue mayor inmediatamente después de ocurrido el IF; pero al hacerse disponible a las plantas gracias al riego aplicado, seguramente estos elementos fueron absorbidos por las plantas de *Eucaliptus globulus Labill subsp. globulus* y también parte de ellos se perdió en el agua de regadío. Esto también explicaría la mayor cantidad de fósforo en la profundidad de 20-40 cm donde hay una mayor cantidad de fósforo dado que la raíz de las plantas aún no han alcanzado esta profundidad. En caso del potasio, la notable disminución de los cationes en las dos profundidades respecto al área testigo se debería a que el potasio es más rápidamente absorbido por las plantas pero también se lava más fácilmente del suelo mediante los procesos de lixiviación y erosión.

La reducción en los porcentajes de materia orgánica se tradujeron en un descenso de la capacidad de intercambio catiónico (CIC); la reducción del porcentaje sería más o menos directa de acuerdo a Mataix (1999). Sin embargo el valor encontrado 15 meses después de ocurrido el IF posiblemente no es el mismo al que se hubiera encontrado si el análisis hubiera sido hecho en los 3 primeros meses después de ocurrido el IF pues como afirma De Bano (1990) la combustión de la hojarasca y la materia orgánica incrementa la disponibilidad de algunos cationes del suelo, parte de los cationes liberados no pueden ser retenidos en el complejo absorbente debido a una disminución de la capacidad del suelo para mantener reservas, y estos se han ido absorbiendo por los plantones y perdiendo por lixiviación o erosión en el transcurso de los 15 meses. El resultado es una disminución del CIC del suelo, ya que aunque existan más nutrientes en solución, habrá disminuido la capacidad de mantener reservas de los mismos (Mataix 1999).

La reducción de la CIC depende de la intensidad del fuego y el tipo de suelo. En el área de estudio se observó una reducción de 6 al 11 por ciento de la capacidad de intercambio catiónico del testigo después de 15 meses de ocurrido el IF. Es importante mencionar lo encontrado por Mataix (1999) quien afirma que los fuegos de intensidad débil parecen tener poco efecto en la CIC, y en algunos casos puede producir un aumento de la capacidad de intercambio catiónico.

Respecto a los cationes cambiables se observó un ligero aumento en la cantidad de cationes cambiables de Ca^{+2} y Mg^{+2} y una notable disminución de los cationes cambiables de K^{+} en el suelo afectado por el IF. Los cationes de Na^{+} no presentaron mayor diferencia mientras que los cationes $\text{Al}^{+3}+\text{H}^{+}$ no presentaron diferencia en los primeros 20 cm de profundidad pero si un aumento de los 20 a 40 cm respecto al testigo. De la misma forma la suma de cationes y bases intercambiables no presentan variaciones por el IF en los 20 primeros centímetros de profundidad mientras que de los 20 a 40 cm de profundidad se observa un aumento de los mismos en el suelo afectado por el IF. Respecto al porcentaje de saturación de bases no se observaron diferencias notables en los 20 primeros centímetros pero si un valor mayor entre los 20 a 40 cm en el suelo afectado por el IF.

El aumento de los cationes de cambio (K^{+} , Mg^{+2} , Ca^{+2} , etc.) en la solución del suelo es consecuencia directa de la disminución de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, al destruirse parte de la materia orgánica (Heras et al. 1991). Lo cual justifica los ligeros incrementos en los cationes cambiables de Ca^{+2} y Mg^{+2} , incrementos que probablemente fueron mayores tras el incendio ya que ellos se van perdiendo con el tiempo pudiendo todavía mantenerse sensibles hasta los dos años de ocurrido el incendio. Sin embargo la notable disminución de los cationes cambiables de potasio respecto al testigo se debe a que el potasio se lava con mucha facilidad y es rápidamente absorbido por las plantas. Las diferencias aún presentes en las capa más profunda del suelo pero no presentes en la capa superficial se explican por qué las capa más profunda (20 a 40cm) poseen una menor tendencia al lavado y una menor influencia de raíces en dicha profundidad que evitan mayores pérdidas de nutrientes. Mientras que la capa más superficial disminuye su capacidad del complejo absorbente para retener nutrientes.

Cuando se analiza los resultados de las propiedades físicas del suelo luego de 15 meses de ocurrido el IF (Cuadro 19) se puede afirmar que la temperatura alcanzada por el suelo durante el IF modificó la clase textural del suelo. Esta misma afirmación es manifestada por Varela et al. (2007) quien afirma que la temperatura del IF condiciona decisivamente el comportamiento físico del suelo.

Cuadro 19 Propiedades físicas del suelo del estrato 1 y 2, a los 15 meses de ocurrido el IF.

Profundidad del muestreo (cm)	Textura del suelo	
	Estrato 1*	Estrato 2**
0-20	Franco	Franco
20-40	Franco arcilloso	Franco

* Área afectada por el Incendio Forestal

** Área no afectada por el Incendio Forestal

Hepper et al. (2008) indica que temperaturas de 300°C a 400°C en el suelo reducen la fracción de arcilla presente en el suelo. Por su parte Nishita y Haug (1972) manifiestan que cuando el IF es de moderada intensidad, no se modifica la textura de los suelos. Por lo tanto considerando que las capas superficiales son las más afectadas por el fuego debido a que son las más expuestas a las mayores temperaturas, el aumento de arcilla en la profundidad de 20 a 40 cm obedecerá a la presencia del IF y a los procesos de lixiviación de las partículas más finas a las capas más profundas del suelo. Por su parte Nishita y Haug (1972) manifiestan que cuando el IF es de moderada intensidad, no se modifica la textura de los suelos.

La modificación de la textura del suelo tiene implicancias en el CIC, ya que las clases texturales más finas (limo y arcilla) son las que aportan una mayor superficie de intercambio de los cationes en el suelo (Hepper et al. 2006) haciéndolos más nutritivos.

Por su parte Agudelo (1997) manifiesta que otra propiedad física del suelo que cambia con la ocurrencia del IF es la temperatura del mismo. Según el autor la temperatura se incrementa lo cual estimula las formas solubles en el agua del fósforo y potasio favoreciendo las reducciones de la acidez en las partes superiores del suelo, así como la paulatina actividad microbiana.

Además de la alteración de la infiltración y la escorrentía superficial provocada por la eliminación de la cubierta forestal tras el incendio, el efecto que este provoca en determinadas propiedades físico-químicas del suelo contribuye a una alteración en el ciclo hidrológico de la zona afectada. La formación de sustancias hidrofóbicas debido a una acumulación de cenizas minerales y la combustión de la materia orgánica contribuyen a obturar adicionalmente los poros y sus consecuencias sobre la disminución de la permeabilidad del suelo y aumento de la escorrentía superficial, consecuencia de la pérdida directa de la cubierta vegetal y de otros efectos indirectos. Siendo este efecto más acusado cuando los suelos tienen textura arenosa (Temporetti 2006).

4.6 ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA ECONÓMICA OCASIONADA POR EL IF

Debido a la incidencia y severidad del daño y la calidad de la plantación sobreviviente de *Eucalyptus globulus Labill subsp. globulus* de 4 años de edad y su efecto negativo sobre el suelo se procedió a estimar la pérdida económica total ocasionada por el IF. Para lo cual se realizó una estimación del costo de restauración de la plantación, producto maderable leña y el servicio ecosistémico de captura de carbono.

La estimación del costo de restauración se realizó considerando los costos de las labores a efectuadas sobre la plantación afectada por el IF con el objetivo de lograr su recuperación. Teniendo en cuenta la evaluación previa a la plantación, se calculó el costo de rehabilitación para aquellas áreas afectadas por el IF basado en los costos actualizados de las labores de poda y riego aplicadas para la recuperación de los rebrotes de la plantación para volver al estado alcanzado en el mes 33 de la plantación (Cuadro 21).

De los resultados obtenidos, existe una pérdida de 4,61 m³/ha ocasionada por el IF lo que representa 42,412 m³ de madera en el total de área afectada evaluada (9,2 ha). Si la madera hubiera sido dedicada a la venta de leña, en la fecha de evaluación se estima una pérdida de \$576,92 /ha (1Tm de leña se cotiza actualmente en \$125) y \$5308 en toda el área afectada por el IF.

Continuando con el análisis de las pérdidas económicas ocasionadas por el IF, se puede afirmar que debido a los daños ocasionados en la plantación afectada por el IF, se ha dejado de producir 130,4 t/ha de biomasa que equivale a 108,79 tCO₂-e/ha (Cuadro 20). El precio promedio actual en el mercado voluntario de un crédito de carbono para proyectos de tipo reforestación y forestación es de \$9/tCO₂-e (Ecosystem Marketplace 2012), totalizando una pérdida de \$979,11/ha y ocasionando un perjuicio económico por el incendio forestal de \$9007 en el total del área evaluada afectada por el IF (Cuadro 21).

Cuadro 20 Estimación de biomasa y contenido de carbono para la plantación evaluada

Estrato	Biomasa (t/ha)	Carbono (t C/ha)	t CO₂-e/ha
Área afectada por IF	76,497	37,681	138,164
Área no afectada por IF	206,898	67,351	246,954
Contenido de carbono dejado de capturar	130,40	29,67	108,79

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 21 Estimación de la pérdida económica ocasionada por el incendio forestal

Concepto	Pérdida por hectárea (\$/ha)	Pérdida total (\$)
Costo de restauración*	496,44	4567
Combustible/leña	576,92	5308
Créditos de carbono (tCO ₂ -e)	979,11	9007

*El costo de restauración no cuantifica el daño al suelo ni los costos de extinción.

Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIONES

- La supervivencia de la especie *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. *globulus* en una plantación de 4 años de establecida después de haber sufrido un incendio forestal de superficie no se ve significativamente afectada si se realizan tratamientos silviculturales de poda y riego inmediatamente ocurrido el incendio forestal.
- El efecto del incendio forestal de superficie en el crecimiento de la plantación de *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. *globulus* es el retroceso en la distribución de las clases diámetrica y de altura.
- La calidad de la plantación de la especie *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. *globulus* se ve afectada negativamente por la ocurrencia del incendio forestal debido a la disminución del vigor de copa y del estado sanitario de la plantación.
- El daño del incendio forestal sobre los árboles de *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. *globulus* fue total y afectan seriamente el árbol, incluso ocasionó la muerte de alguno de ellos.
- El efecto del fuego a los 15 meses de ocurrido el IF, se manifiesta en un deterioro de las propiedades físicas y químicas del suelo, el suelo pasa de franco a franco arcilloso y a pesar de un ligero aumento del pH del suelo, el deterioro de las otras propiedades químicas es notoria.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar técnicas de silvicultura preventiva orientada básicamente al diseño de un adecuado programa de manejo de combustibles, como herramienta básica en la prevención de incendios forestales. Considerando y reconociendo la densidad de la plantación, los beneficios adicionales de las podas y de los raleos, como una forma de disminuir la cantidad y continuidad de combustibles existentes en una plantación, especialmente en el mediano y largo plazo.
- Evaluar realizar un control biológico del piojo del eucalipto (*Ctenarytaina eucalypti*) con *Psyllaephagus pilosus* al término de época de lluvias que por su biología y comportamiento facilita iniciar el control biológico en esta época tanto en campo definitivo como en el vivero, de esta manera los plantones serían instalados en terreno definitivo llevando consigo el controlador biológico.
- Desarrollar un plan de manejo de los rebrotes en la plantación con la finalidad de mejorar las tasas de crecimiento y la calidad de la plantación, realizando una selección de rebrotes y una poda antes del inicio de la época de lluvias.
- El análisis de las clases diamétricas nos proporciona una primera aproximación sobre el estado de la plantación, que debe ser contrastada con estudios posteriores. De esta manera se pueden realizar estudios sobre crecimiento y producción de plantaciones que fueron afectadas por un incendio forestal.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrios, GN.** 2005. Plant Pathology (en línea). 5 ed. Burlington, US, Academic Press.
Consultado 10 ago. 2012. Disponible
en http://books.google.com/books?id=CnzbgZgby60C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q=incidence&f=false
- Agrorural.** 2010. Informe N° 057-2010-AG-AGRO RURAL-DO-DZA /RRNN: informe valorizado del incendio forestal del Sector Quitacocha Distrito de Santo Toribio Provincia de Huaylas. Huaraz, Perú. 2 p.
- Agudelo, N.** 1999. Planificación de la defensa contra incendios en plantaciones forestales. Boletín de Protección forestal 4(1): 4-8.
- _____. 1997. Generalidades sobre incendios en plantaciones forestales. Boletín de Protección Forestal 2(1): 3-11.
- Aguirre, B.** 1981. Efecto del fuego en algunas propiedades físicas de suelos forestales. Publicación Especial. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. U.A.CH. Chapingo, México. 73p.
- Alonso, M.; Rózales, M.; Vega, J.; Bara, S.; Cuiños, P.** 1998. Parámetros químicos indicadores de daños producidos por fuego en *Pinus pinaster*. Investigación agraria: Sistema y recursos forestales 7(2): 5-27.
- Attiwill, P. M; Leeper, G. W.** 1987. Fire and forests. Soils and nutrient cycles. Melbourne University Press. Melbourne. p.184-194.
- Bara, S.; Vega, J.A.; Rozados, M.J.** 1994. Estudio de los daños producidos por el fuego en árboles utilizando métodos bioeléctricos. *Eucaliptus globulus*. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos forestales 3(2): 147-173.
- Bazán de Segura, C.** 1967. Enfermedades del eucalipto en el Perú. Instituto de Investigaciones Forestales. Boletín 10(1): 1-10.
- Bond, W.J.; Van Wilgen, B.** 1996. Fire and plants. New York, NY: Champman and Hall. 263p.

- Budi, A. S.** 2001. Effects of forest fire on wood: a biological (anatomical study). In: Kobayashi, S., Turnbull, J.W., Toma, T., Mori, T., Majid, N.M.N.A. (eds.). Rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems: workshop proceedings, 2-4 November 1999, Bogor, Indonesia, CIFOR. p. 57-68.
- Carlson, P.; Candelas, J.** 1985. Supervivencia de *Eucalyptus globulus* en plantaciones del PRAA (Campaña 1984/85) en cinco departamentos de la Sierra del Perú. Convenio AID-SEPAS. Lima. Perú. 23p.
- Castañeda, A.** 1999. Riesgo de incendios en plantaciones forestales en Colombia. Boletín de Protección forestal 4(1): 25-49.
- Congreso Nacional del Eucalipto.** “Eucalipto, fuente de desarrollo del país” (1,2001 jun 26-28, Huancayo-Perú). El Eucalipto en el Desarrollo Rural. **Carrillo, H.** Huancayo, Perú. 201p.
- Congreso Nacional del Eucalipto.** “Eucalipto, fuente de desarrollo del país”. (1,2001 jun 26-28, Huancayo, Perú). Manejo de Rebrotos de *Eucalyptus globulus* Labill. **Rodríguez, M.** Huancayo, Perú. 201 p.
- Cremer, K. W.; Cromer, R. N.; Florence, R. G.** 1978. Stand establishment. In: Hillos, W. E. Brown, A. G., eds. Eucalyptus for Wood production. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Australia. p. 81-135.
- De Bano, O. L. F.** 1990. Symposium on Management and Productivity of Western-Montane Forest Soils (1,1990 April 10-12, Boise, ID). The effects of fire in soil properties. Boise, ID: p.151-156.
- _____ & **Conrad, C. E.** 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. Ecology, 59 (3): 489-497.
- Delmy, A.** 1999. Fire resistance of trees species in Bukit Soeharto Education forest. East Kalimantan. Group report: impacts of fires on ecosystems. Indonesia. p. 27-34
- Díaz-Fierros, F.; Benito, E.; Soto, B.** 1994. Action of forest fires on vegetation cover and soil erodability. Geomorfa Ediciones. p.163-176
- Dickinson, M. B.; Johnson, E. A.** 2001. Fire effects on trees. In: Johnson, E. A. Miyanishi, K. eds. Forest fires: fire behavior and ecological effects. A. P. San Diego. p. 477-525.

- Doran, J. W.; Zeiss, M. R.** 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*15(1): 3-11.
- Ecosystem Marketplace.** 2012. State of the Voluntary Carbon Markets 2012. A reported by Ecosystem Marketplace & Bloomberg New Energy Finance. New York. 126 p.
- FAO.** 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Términos y definiciones. Documento de trabajo 144/S. (en línea). Roma. Consultado 20 nov. 2011. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/014/am665s/am665s00.pdf>
- _____. 2006. Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe (en línea). FAO Forestry Paper. Roma. Consultado 20 nov. 2011. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0470s/a0470s00.pdf>
- _____. 2005. Global Forest Resources Assessment 2005 – Thematic report on forest fires in the South American Region (en línea). Forest Fire Management Working Paper 5. Roma. Consultado 18 ene. 2012. Disponible en <http://www.fao.org/forestry/firemanagement/en/>
- _____.2005a. Forest Resources Assesment “FRA”. Hacia la ordenación forestal sostenible. Estudio Fao Montes 147. Roma. 320 p.
- _____. 1981. El eucalipto en la repoblación forestal. Roma.723 p.
- _____. 1959 Elección de especies arbóreas para plantación. Roma, Italia.375 p.
- Ferrere, P.; Lopez, G. A.; Boca, R. T.; Galetti, M. A.; Esparrach, C. A.; Pathauer, P. S.** 2005. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus* en un ensayo Nelder modificado. *Investigacion Agraria: Sistema de Recursos Forestales* 14(2). 174-184.
- Geldres, E.; Schlatter, J.** 2004. Crecimiento de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* sobre suelos rojo arcillosos de la provincia de Osorno, Decima Region. *Bosque* 25(1): 65-101.
- Gill, A. M.** 1981. Adaptative responses of Australian vascular plant species to fire. In: Gill, A. M. Groves, R. H. Noble, I. R., eds *Fire and the Australian biota*. Australian Acade, y of Science. Canberra. p. 243-272

- _____. **Ashton, D. H.** 1968. The role of bark type in relative tolerance to fire of three central Victorian eucalypts. *Australian Journal of Botany* 16: 491-498.
- Glasby, P.; Selkirk, P. M.; Adamson, D.; Dowing, A. J.; Selkirk, D. R.** 1988. Blue mountains ash (*Eucalyptus oreades* R. T. Baker) in the Western Blue Mountains. *Proc. Linnean Soc. New South Wales* 110: 141-158.
- Gonzales, M.** 1969. Consideraciones para un plan de ordenación en plantaciones de Eucaliptos. Instituto de investigación Forestal. Lima-Perú. 56 p.
- Haltenhoff, H.** 2010. Los grandes incendios forestales en Chile 1985-2009. Documento de trabajo N° 539. Corporación Nacional Forestal, Santiago. 79 p.
- Hepper, E.; Urioste, A.; Belmonte, V.; Buschiazzo, D.** 2008. Temperaturas de quema y propiedades físicas y químicas de suelos de la región semiárida pampeana central. *CI. Suelo* 26(1): 29-34.
- _____.; **Buschiazzo D.; Hevia, H.; Urioste, A.; Antón, L.** 2006. Cations exchange capacity and specific surface area of soils with different clay mineralogy. *Geoderma* 135: 216-223.
- Heras, I.J.; Martínez, S. J.; Herranz, S. J.** 1991. Impacto ecológico de los incendios forestales. *Al-basit*. 17(29): 105-117
- Hernández, T.; García, C.; Reindhart, I.** 1997. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soil. *Biology and Fertility of Soils* 25(1): 109-116.
- Hernández A. J.; Villavicencio G.R.; Flores M., A.** 1994. Manual de plantaciones forestales y urbanas. Departamento de Producción Forestal de la División de Ciencias Agronómicas del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. México. p. 7-8
- Hudson, J.; Salazar, M.** 1981. Las quemadas prescritas en los pinares de Honduras. Serie Miscelánea No. 1. Escuela Nacional de Ciencias Forestales. Siguatepeque, Honduras. 58 p.
- INDECOPI.** 2009. Norma Técnica Peruana NTP-ISO-2859-1 2009. Procedimiento de muestreo para inspección por atributos. 3 ed. Lima-Perú.

- International Conference on wildfire** (5, 2011, Sun City, South Africa). 2011. Global Change and wildfire in Peru; conference report. Sun City, South Africa.
- IPCC.** (Intergovernmental Panel on Climate Change, FR).1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- ITTO** (Organización Internacional de las Maderas Tropicales,PE). 2006. Informe: Prevención, manejo de incendios forestales e impactos ambientales en la cuenca baja y media del río Piura, Perú. 57p.
- Klemarewski, Massey, Wee** 2000. The Opportunity for Eucalyptus in Veneer and Wafer-Based Wood Products. Paper Presented at IUFRO Conference “The Future of Eucalypts for Wood Products”, Launceston, Tasmania.
- Kutiél, P.; Inbar, M.** 1993. Fire impacts on soil nutrients and soil erosion in a mediterranean pine forest plantation. *Catema* 20: 129-139.
- _____.; **Shaviv, A.** 1989. Effect of simulated forest fire on the availability of N and P in mediterranean soils. *Plant Soil* 120: 57-63.
- Lamont, B.B.; Runciman, H.V.** 1993. Fire may stimulate flowering, branching, seed production and seedling establishment in two kangaroo paws (*Haemodoraceae*). *Journal of Applied Ecology* 30: 256-264.
- Manta, M.** 2007. Evaluación de las causas naturales y socioeconómicas de los incendios forestales en América del Sur. 4º Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales. *Wildfire 2007*. Sevilla. España. 17p.
- _____. 2007a. Protección Forestal. Curso de Pre-Grado de la Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Manejo Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1000 diapositivas.
- _____. 2007b. Estado de avance de la sanidad forestal en el Perú. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional Agraria. 33 p.

- _____. 2007c. Silvicultura de Bosques y Plantaciones. Curso de nivel Graduado. Escuela de Post grado. Especialidad de Bosques y Gestión de Recursos Forestales. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1200 Diapositivas.
- _____.; **León, H.** 2004. Los incendios forestales en el Perú: Grave problema por resolver. Floresta 34 (2) Curitiba. p. 179-186.
- _____. 2003. Estructura y funcionamiento de dos índices de peligro meteorológico de incendios forestales aplicación a tres zonas climáticas de España peninsular. Tesis Ph. D. Madrid. ES. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Superior de Ingenieros de Montes.
- _____. 1997. Apuntes de las clases del curso de silvicultura. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.
- _____. 1988. Análisis silvicultural de dos tipos de bosque húmedo de bajura en la vertiente atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CR. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Marquina R.; R.E.** 2003. Evaluación del piojo del eucalipto *Ctenatyta eucalypti* Maskell Hom: Psylladae, en yemas terminales de eucalipto en Carhuaz, Perú. Tesis Ing. Forestal. Lima-PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 60p.
- Martínez, E.** 1995. Los incendios Forestales en la Argentina. Instituto Argentino de Investigación de las Zonas Áridas. Multequina. Mendoza, Argentina. p.105-114.
- Mataix, S.J.** 1999. Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Tesis doctoral (Ph-D). Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. Alicante. España. 330 p.
- McNabb, D.H.; Swanson, F.J.,** 1990. Effects of fire on soil erosion. In: Walstad, D., Radosevich, S.R., Sandberg, D.V. (Eds.), Natural and Prescribed Fire in Pacific Northwest Forests. Oregon State University Press, Corvallis, OR.
- Miller, M.** 2000. Fire autoecology. In: Brown, J. K. Smith, J. K., eds. Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on flora.Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42.Vol 2. USDA, FS. Rocky Mountain Research Station.Fort Collins. p. 9-34.

- MINAG** (Ministerio de Agricultura, PE). 2011. Perú Forestal en Números 2010 (en línea). Lima-Perú. Consultado 29 nov. 2011. Disponible en http://dgffs.minag.gob.pe/pdf/estadistica_forestal/anuarios/ANUARIO_PERU_FORESTAL_2010.pdf
- _____. 1976. Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales (I: 1976 may 3-15: Lima) Evaluación de las plantaciones forestales del Perú. IICA.
- MMBW**. 1980. Water supply catchment hydrology research: Summary of Technical Conclusions. Melbourne, Australia. Report MMBW – W – 0012. 41 p.
- Murillo, O.; Camacho, P.** 1997. Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas. *Agronomía Costarricense* 21(2): 189-206.
- ONERN**. 1973. Estudio de suelos del Callejón de Huaylas (Semidetallado). Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Perú.
- Pacheco, C. A.M.; Tome, J.; Delgado, P.O.; Silva, J.; Tome.** (1997). Pattern of water extraction, water availability and growth in young *E. globulus* planted with different spacing. Proceedings of the IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of *Eucalyptus*. Salvador. Brazil v. 4, p. 188-195.
- Patiño, V. F.** 1994. Algunas experiencias de investigación y desarrollo de tecnologías para plantaciones forestales. Plantaciones: Producir para Conservar. Plantaciones forestales IV Reunión Nacional. Memoria. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México. 548 p.
- Pereira, J.S.** 1994. *Eucalyptus* for biomass production in Europe. In: J. S. Pereira and H. Pereira (editors). *Eucalyptus* for Biomass Production. Commission of the European Communities. p. 5-10.
- Porrero- Rodríguez M.A.** 2001. Incendios forestales. Investigación de causas Ed. Mundo-Prensa. Madrid, España. 158 p.
- Prieto-Fernández, A.; Villar, M. C.; Carballas, M.; Carballas, T.** 1993. Short-term effects of wildfire on the nitrogen status and its mineralization kinetics in an atlantic forest soil. *Soil Biol. Biochem* 25: 1657-1664.

- PRONAMACHCS**, 1998. Manual de plantaciones forestales para la sierra peruana. Lima – Perú. 116 p.
- Rodríguez, S.; García, X.; Gutiérrez, A.** 1993. Efecto del fuego sobre algunos microorganismos en un sitio de plantación forestal. *Ciencia Forestal en México* 18(73):1-138.
- Romahn, V. C. F.; Ramírez, M.; Treviño, G.** 1994. *Dendrometria*, Universidad Autónoma Chapingo, México, D. F. 354 p.
- Sertsu, S. M.; Sanchez, P. A.** 1978. Effects of heating on some changes in soil properties in relation to an Ethiopian land management practice. *Soil Sci. Soc Am. J.* 42: 940-944.
- Shilsky, A.; Alencar, A.; Manta, M.; Curran, L.** 2009. Overview: Global fire regime conditions, threats, and opportunities for fire management in the tropics. In: *Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land use, and Ecosystems Dynamics*. Ed. by Mark Cochrane. Chichester, UK, Springer-Praxis Books In Environmental Sciences. p. 63-84
- Simbaña R, M.** 2011. Estimación de la captura de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. Tesis Mag. Sc. Lima, Perú. UNALM 99 p.
- Synnott, T.** 1979: Manual de procedimientos de parcelas permanentes para bosque húmedo tropical. Traducción por Valerio, J. 1991. Serie de apoyo académico N°12. Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 30 p.
- Tarrega, R.; Luis, E.; Zuaza, T.** 1986. Cambios edáficos en las primeras etapas de sucesión post-fuego en robledales. Fertilización natural. Actas XXVI reunión científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. p. 267-278.
- Temporetti, P.** 2006. Efecto a largo plazo de los incendios forestales en la calidad de agua de dos arroyos en la sub- región Andino- Patagónica, Argentina. *Ecología Austral* 16: 157-166.
- Torres, R.J.M.; Magaña, T.O.S.** 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Ed. Limusa, Mexico. 472 p.

- Ulery, A.L.; Graham, R.C.** 1993. Forest fire effects on soils color and texture. *Soil Science Society of America Journal* 57: 135-140
- Varela, M.E.; Rodríguez, A. M., Benito, E.** 2007. Impacto del fuego en la degradación física de dos suelos forestales en Galicia. *Cadernos Lab. Xeoloxico de Laxe* 32: 103-110.
- Vega, J.A.** 2007. Impacto de los incendios sobre suelo y vegetación forestales en Galicia y desarrollo de una silvicultura preventiva. *Cuestiones ecoloxicas e silvícolas*. Consello da Cultura Galego y Fundación Caixa Galicia, Santiago de Compostela: p. 87-126.
- Vélez, R.** 2000. La defensa contra los incendios forestales. *Fundamentos y Experiencias*. McGraw Hill. Madrid, España. 1800 p.
- Vera, V.V.; Rodriguez, T. A.** 2007. Supervivencia e incremento en altura de *Pinus hartwegii* a dos años de quemas prescritas e incendios experimentales. *Agrociencia* 41(2): 219-230.
- Viegas, D. X.** 2002. Forest Fire Research & Wildland Fire Safety. IV International Conference on Forest Fire Research 2002 Wildland and Fire Safety Summit, Coimbra, Portugal. 264p.
- Villers, R.M.** 2006. Incendios Forestales. *Universidad Nacional Autónoma de México Ciencias no.81*: 60-66
- Waldrop, T.A.; Vanlear, D. H.** 1984. Effect of crown scorch on survival and growth of young loblolly pine. *Southern Journal of Applied Forestry* 8(1): 35-40.
- Wang, MY.; Shu, LF.; Zhao, FJ.; Tian, XR.** 2007. Forest fuel characteristics and the impacts of climate change on forest fires in southeast Tibet. 4º Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales. *Wildfire 2007*. Sevilla. España. 9p.

ANEXO 1

ESQUEMATIZACIÓN DE LOS VALORES DE FORMA DE COPA (SYNNOTT, 1979).

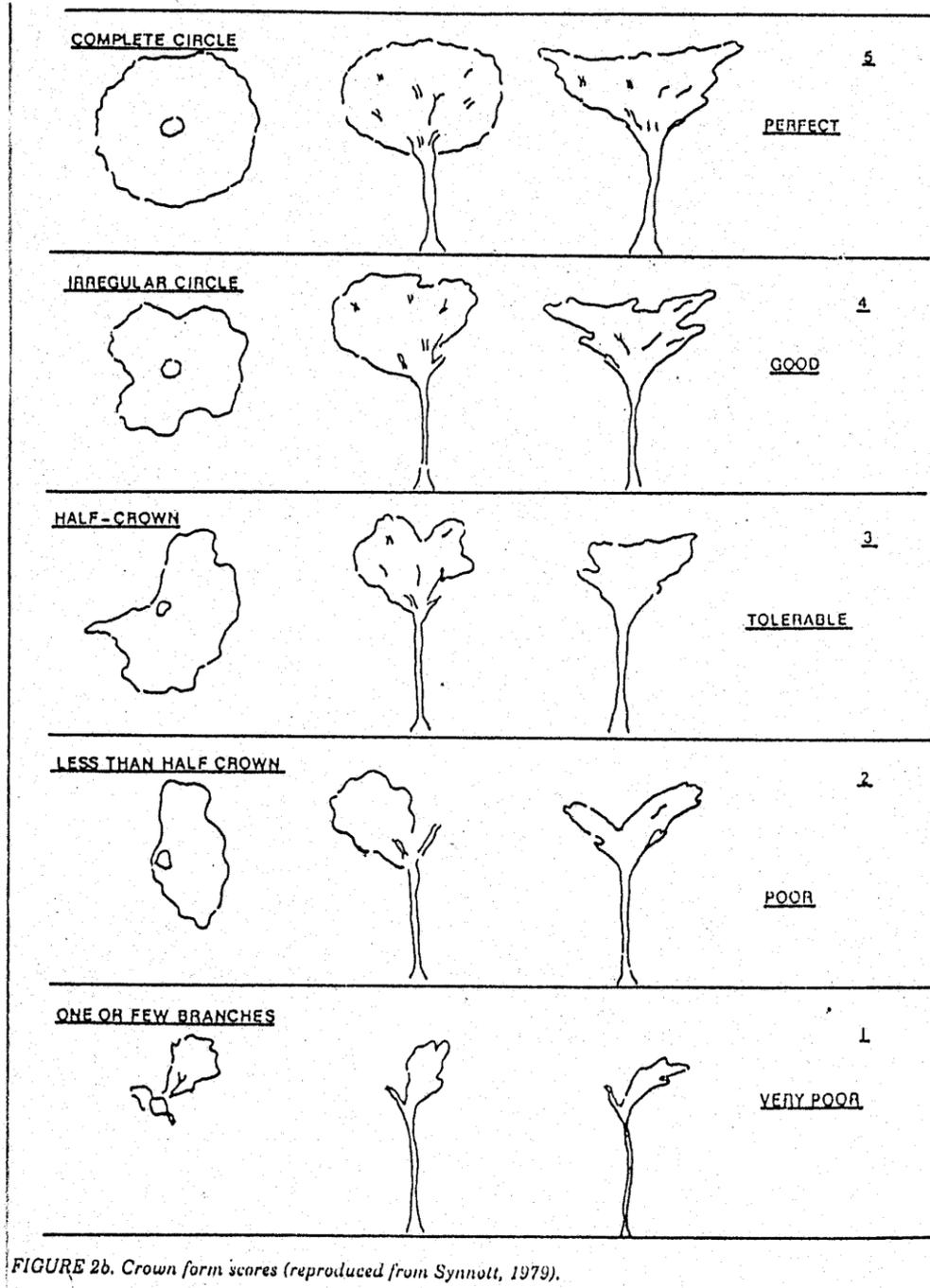


FIGURE 2b. Crown form scores (reproduced from Synnott, 1979).

ANEXO 2

DATOS METEOROLÓGICOS PARA EL PERIODO 2008-2011. ESTACIÓN YUNGAY. FUENTE: SENAMHI.

Cuadro 22 Datos meteorológicos para el periodo 2008-2011. Estación Yungay

Código	Estación	Variable	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
444	Yungay	Humedad Relativa Media Mensual (%)	2008	80,7	76,6	75,2	72,3	70,7	67,1	61,5	55,8	48,3	69,1	60,9	62,1
444	Yungay	Humedad Relativa Media Mensual (%)	2009	73,1	79,5	79,1	79,1	75	70,7	52,5	40	46,6	65,9	70,1	76,8
444	Yungay	Humedad Relativa Media Mensual (%)	2010	73,8	73,6	76,8	74,6	72,9	67,2	61,8	59,2	60,1	62	69,6	74,2
444	Yungay	Humedad Relativa Media Mensual (%)	2011	72,6	71,8	76,9	81,5	63,9	59	47,2	39,3	44	45	65,0	75,0
444	Yungay	Precipitación total Mensual (mm)	2008	119,9	119,8	235,2	98,1	9,2	15,4	0	0	1,1	119,4	71,2	19,4
444	Yungay	Precipitación total Mensual (mm)	2009	212,9	131,4	207,5	107,4	12,8	0	0	1,8	0	172,5	110,2	71,9
444	Yungay	Precipitación total Mensual (mm)	2010	63,7	120,4	137,8	74,6	26,1	4,2	0	0	4,2	23,5	159,3	191,1
444	Yungay	Precipitación total Mensual (mm)	2011	133,6	27,9	183,6	236,4	0	0	0	0	12,1	3,6	58,0	281,7
444	Yungay	Temperatura Media Mensual (°C)	2008	14,7	15,3	14,3	15	14,8	13,5	13,4	13,3	17,4	16,5	16,4	17,0
444	Yungay	Temperatura Media Mensual (°C)	2009	16,6	16,3	16,4	15,7	17,4	16,2	15,9	17,4	16,6	17,4	17,0	16,8
444	Yungay	Temperatura Media Mensual (°C)	2010	16,8	17,0	17,6	17,2	16,4	15,5	16,1	15,7	16,1	16,1	15,7	15,1
444	Yungay	Temperatura Media Mensual (°C)	2011	15,5	15,2	13,3	13,1	16,5	15	15,8	16,2	16,5	15	14,9	13,7
444	Yungay	Dirección predominante y velocidad media del viento (m/s)	2008	S/D											
444	Yungay	Dirección predominante y velocidad media del viento (m/s)	2009	SE-1,5	SE-1,1	NE-.9	NE-1,9	NE-2,4	SE-2,1	NE-2,4	NE-2,6	NE-2,3	NE-1,3	NE-1,1	C-0
444	Yungay	Dirección predominante y velocidad media del viento (m/s)	2010	NW-1,7	NW-1,9	NW-.8	NW-1,9	NE-1,9	NE-1,5	NW-2,1	NE-2,2	NE-2,8	NE-2,4	NE-2,3	NE-.7
444	Yungay	Dirección predominante y velocidad media del viento (m/s)	2011	NE-1,4	NW-1,4	NE-1,3	NW-1	NE-3,1	NE-2	NE-2,3	NE-2	NW-1	NW-1	C-0	C-0
*Leyenda: S/D = Sin Dato															

ANEXO 3

FORMATO DE EVALUACIÓN DE LOS ANTECEDENTES DE LA PLANTACIÓN

Cuadro 23 Formato de evaluación de los antecedentes de la plantación.

Datos del evaluador			
Solicitante : Cesar Samaniego Minaya		Teléfono y/o Fax 987245161	Correo electrónico cesamin@gmail.com
Domicilio: La Molina – Lima – Perú			
Tipo de evaluación			
Evaluación de los daños ocasionados por un incendio forestal en una plantación forestal de la sierra.			
Área de estudio			
País: Perú	Departamento: Ancash	Provincia: Huaylas	Distrito: Santo Toribio
Centro poblado: Pilli Ruri		m E: 176043	m S: 9020938 Zona Horario: 18L
Datos generales de la evaluación			
Fecha de inicio: 01/02/2012		Fecha de término: 06/02/2012	
Información de la evaluación			
Nombre común del árbol Eucalipto		Nombre Científico del árbol <i>Eucalyptus globulus Labill subsp. globulus</i>	
Descripción del daño observado en el árbol			
Raíz: Daño no es visible no se evaluó.			
Fuste: Fustes podados por tratamiento silvicultural y ligeramente afectados por el incendio forestal			
Copa: No está presente			
Otros: Evaluación de las propiedades físico químicas del suelo			
Causa del daño: Incendio forestal antropogénico		Distribución del daño: Uniforme	
Fechas que se observo por 1º vez: 01/02/2011		Otros lugares donde se observo el daño: Pasturas	
Datos generales de la plantación			
Lugar de procedencia de la semilla: Ancash	Fecha de trasplante: 01/02/2008	Área plantada: 25 ha	Área afectada 20 ha
Estado fenológico de la plantación: Fustal	Tipo de riego Pozas de captación y tubería		Cultivo anterior: Pastura
Rango del diámetro de la plantación (cm): 0.15-7.85	Rango de altura de la plantación (m): 0,05-6.05	Tipo de suelo: Franco	Profundidad efectiva del suelo (cm): 40
Drenaje del suelo	Pedregosidad: 30%	Altitud: 2900-3800 metros	Temperatura: 11°C
Humedad relativa (%): 75	Sequía (dd/mm/aaaa) y duración: Mayo a Agosto	Helada (dd/mm/aaaa) y duración: Junio	Inundación (dd/mm/aaaa)
Aplicación de fertilizantes y abonos			
Fertilizantes aplicados en el cultivo		Dosis (kg ó l/ha)	Fecha de aplicación
Guano de Isla		50	01/02/2008

ANEXO 4

FORMATO DE ENTREVISTA ORAL SOBRE LOS ANTECEDENTES DEL

IF

Cuadro 24 Formato de entrevista oral sobre los antecedentes del incendio forestal.

ENTREVISTA SOBRE LOS ANTECEDENTES DEL INCENDIO FORESTAL	
¿Qué fecha ocurrió el incendio forestal que afectó a la plantación de eucalipto?	
¿Dónde se inició el incendio?	
¿A qué horas del día empezó el incendio?	
¿A qué horas del día se apagó el incendio por completo?	
¿Cuáles fueron las causas del incendio?	
¿Cuál fue la dirección de avance del fuego?	
¿Qué altura tuvo la llama del fuego del incendio?	
¿El fuego alcanzó las copas de los árboles y estas se encendieron?	
¿Qué porcentaje de la plantación fue afectada por el fuego?	
¿Se realizaron esfuerzos por apagar el incendio?	
¿Cuántas personas intentaron apagar el incendio?	
¿Qué actividades se realizaron en la plantación de eucalipto posterior al incendio forestal?	

ANEXO 5

INFORME VALORIZADO DE INCENDIO FORESTAL DEL SECTOR QUITACOA DISTRITO DE SANTO TORIBIO


PERÚ Ministerio de Agricultura Viceministerio de Agricultura AGRORURAL DIRECCIÓN ZONAL ANCASH

"Decenio de las personas con Discapacidad en el Perú"
 "Año de la Consolidación Económica y social del Perú"

INFORME N° 057-2010-AG- AGRO RURAL-DO-DZA /RRNN

A : Ing. Manuel Román Echevarría
 Director Zonal Ancash – AGRO RURAL

ASUNTO : Remito informe valorizado de incendio forestal del Sector Quitacocha Distrito de Santo Toribio Provincia de Huaylas.

REFERENCIA : OFICIO N° 1802-2010-MP-1°/FPM.HY
 NOTA INFORMATIVA N° 371 – 2010-AG-AGRORURAL-DO-DZA/AZHYC

Fecha : 10 de Noviembre del 2010



ASPECTOS GENERALES

ANTECEDENTES:

La plantación forestal a la que se refiere se encuentra ubicada en las coordenadas UTM Datum WGS 1984 18L176043 y 9020938, en un área aproximada de 25.00 ha.

La plantación forestal se ha realizado en dos campañas, la primera los meses de enero, febrero del año 2008, y la segunda en los meses de enero y febrero del año 2009 con plántones donados por AGRO RURAL de Ministerio de Agricultura. Mencionadas plantaciones fueron realizadas con aporte de mano de obra de construyendo Perú y la Municipalidad Distrital de Santo Toribio, posteriormente la municipalidad ha apoyado continuamente en la protección y riego de la plantación.

OBJETIVOS

- 1.- Verificar el estado situacional de la plantación después del incendio.
- 2.- Realizar la valorización del impacto del incendio forestal.

METODOLOGIA

Vista de campo el día 24 de Octubre del año en curso con apoyo del personal de la Agencia Zonal Huaylas Yungay Carhuaz del AGRO RURAL, Los Ingenieros Rafael Alfaro Nureña y El Ingeniero Jesus Jara Valenzuela, asimismo contamos con la presencia del Alcalde y Regidores de Municipio de Santo Toribio.

Entrevista a las personas del lugar.

RESULTADOS.

Luego de la verificación y entrevista en campo se confirmo que el fuego fue ocasionado en los pastizales ubicados en la parte baja de la plantación, el mismo que por efecto de los fuertes vientos y las condiciones secas de los pastos naturales, el fuego se extendió hasta la parte superior afectando a aproximadamente 40 ha de pastos naturales y 25 ha de la plantación de eucalipto realizada en Convenio entre la Municipalidad y el AGRO RURAL del Ministerio de Agricultura

PROGRAMA DE DESARROLLO PRODUCTIVO AGRARIO RURAL - AGRORURAL
 AV. RAUMONDI S/N Teléfono N° 043-421490
 Email: GIMANCASH@PRONAMACIICS.GOB.PE




PERÚ Ministerio de Agricultura Viceministerio de Agricultura AGRORURAL

La valorización realizada es por el costo de inversión.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Plántones de Eucalipto	Unid.	40,000.00	0.30	12,000.00
Protección con alambre de púas y postes de madera	Ha	15.00	1,200.00	18,000.00
Aporte con pago de mano de obra de construyendo Perú.	Plántones	30,000.00	1.00	30,000.00
Aporte con pago de mano de obra de la Municipalidad Distrital de Santo Toribio.	Plántones	10,000.00	1.00	10,000.00
Aporte con mano de obra en Riego y Protección de la plantación	Jornales	80,000.0	20.00	160,000.00
TOTAL INVERSIÓN				230,000.00

El monto Total de inversión del proyecto es de 230,000.00 nuevos soles correspondiendo 30,000.00 nuevos soles de costo directo de AGRO RURAL, Construyendo Perú 30,000.00 y 170,000.00 nuevos soles de la Municipalidad de Santo Toribio.

El daño ocasionado por la plantación forestal ha alcanzado a toda la plantación, con daño irreversible en el fusto y follaje en árboles plantados el año 2008 que al momento del incendio tenían en promedio una altura de 1.5 m, mientras que las plantaciones más jóvenes (plantados el año 2009) fueron quemados al 100%, estos plántones al momento del incendio tenían una altura de 40cm en promedio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El incendio afecto al 95% de la plantación Forestal, Sobreviviendo únicamente las raíces en las plantaciones adultas.

Debido a que el eucalipto es una especie que rebrota se recomienda lo siguiente:

1. Realizar riegos frecuentes en el área afectada por el incendio.
2. Realizar la tala de todos los tallos (fuste) de eucalipto afectado por el incendio, de acuerdo a los criterios técnicos implementados al personal que realizara dichos trabajos.
3. Existe el compromiso de AGRO RURAL del Ministerio de Agricultura conjuntamente con la Municipalidad Distrital de Santo Toribio hacer el seguimiento permanente a dicha plantación.

Es todo cuanto informo a usted para su conocimiento y fines pertinentes.


 DIRECCIÓN ZONAL ANCASH
 Ing. MANUEL ROMÁN ECHEVARRÍA
 DIRECTOR ZONAL

PROGRAMA DE DESARROLLO PRODUCTIVO AGRARIO RURAL - AGRORURAL
 AV. RAUMONDI S/N Teléfono N° 043-421490
 Email: GIMANCASH@PRONAMACIICS.GOB.PE

ANEXO 6

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE LA PLANTACIÓN EN CAMPO

Cuadro 25 Formulario de evaluación de la plantación en campo.

Especie:	Ubicación:
Estrato:	Área (ha) de la plantación:
Fecha de siembra:	Fecha de medición:
Sistema de producción:	Pendiente (%):
Dueño:	Evaluador:

Nº árbol	Diámetro (cm)	Altura total (m)	Supervivencia	Anomalías de crecimiento ¹	Estado fitosanitario	Daño mecánico	Vigor de copa	Calidad de rebrotes	Observaciones
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									

¹ Torcedura de la base, bifurcación e inclinación del fuste.

ANEXO 7

EVALUACIÓN DE INCIDENCIA Y SEVERIDAD DEL INCENDIO FORESTAL

Cuadro 26 Formato de evaluación de incidencia y severidad del incendio forestal

<i>Nº árbol</i>	<i>Incidencia</i>	<i>Severidad</i>				
		0	1	2	3	4
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

ANEXO 8

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : CESAR SAMANIEGO MINAYA

Departamento : ANCASH

Distrito : SANTO TORIBIO

Referencia : H.R. 34358-009C-12

Bolt: 8597

Provincia : HUAYLAS

Predio :

Fecha : 21/02/12

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
2189	PQ - 0-20	4.84	0.14	0.00	3.07	3.2	160	40	40	20	Fr.	14.08	3.33	1.52	0.39	0.10	0.30	5.64	5.34	38
2190	PQ - 20-40	4.86	0.05	0.00	1.64	6.7	97	36	34	30	Fr.Ar.	13.12	2.96	1.40	0.18	0.12	0.60	5.26	4.66	36
2191	ZNA - 0-20	4.74	0.19	0.00	4.14	3.3	425	38	38	24	Fr.	14.72	3.12	1.25	0.77	0.10	0.30	5.54	5.24	36
2192	ZNA - 20-40	4.69	0.07	0.00	2.05	5.6	186	40	36	24	Fr.	14.88	2.43	0.95	0.38	0.13	0.40	4.30	3.90	26

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Ing. Braulio La Torre Martínez
 Jefe del Laboratorio

ANEXO 9

IMÁGENES DE LA PLANTACIÓN



Figura 17 Vista general de la plantación evaluada



Figura 18 Defecto de crecimiento: torcedura basal.



Figura 19 Defecto de crecimiento: bifurcación.



Figura 20 Defecto de crecimiento: inclinado.



Foto: © C. Samaniego Minaya

Figura 21 Ataque del piojo el eucalipto (*Ctenarytaina eucalypti*)



Foto: © C. Samaniego Minaya

Figura 22 Presencia y anclaje de múltiples rebrotes



Foto: © C. Samaniego Minaya

Figura 23 Presencia de cancro en el tallo de los árboles afectados por el fuego



Foto: © C. Samaniego Minaya

Figura 24 Árbol no afectado por el fuego



Figura 25 Rebrote de árbol afectado por el fuego