

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

DETERMINACION DEL RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES
UTILIZANDO UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA

por

Pablo Santiago IRAOLA VACCA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2003

Tesis aprobada por:

Director:

Esteban Graf

Juan Pablo Chiara

Alvaro Roel

Fecha:

23 de diciembre de 2003

Autor:

Pablo Santiago Iraola Vacca

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos para:

Verónica Baldovino
Ana María Vacca
Víctor Alejandro Iraola
Víctor Federico Iraola
Gloria Errazquin
Esteban Graf
Juan Pablo Chiara
Alvaro Roel
Fabián Barbato
Jorge Faure
Ariel Pérez
Alejandro Castromán
Virginia Fernández
Carlos Antonio Batista
Silvio Ferraz
Gustavo Scaglione
Javier Lizarraga
Manuela Sarasola
Carlos Kunst
Hugo Zerda
Alvaro Califra
Ana Marina Quintillán
Gonzalo Torres
Pablo Bañales
Gabriel Caldevilla
Lía Venturino
Tabaré Villamil
Cecilia Petraglia
Albear Pereyra
Freddy San Martín
Alipio Andreoli
Humberto Rodríguez
Dormilio Rocha
Dardo De Cuadro
Todo el personal de la Reserva Forestal
Alejandro Méndez
Enrique Neme
Diego Cárdenas
Luis Sayagués
Wayne L. Damerow
Silvia Pardo San Gil
Danielle dos Santos de Oliveira
David Fontans

Cecilia Pereyra
Mauro Real de Azúa
April Bailey
Emilio Chuvieco
Gerardo Barrios
María Emilia Repetto
Gonzalo Pedrosa
Mary Carrera
Luis Viega
Miriam de Hugarte

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION	II
AGRADECIMIENTOS	III
TABLA DE CONTENIDO	IV
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS	V
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	3
2.1. FACTORES QUE INCIDEN EN EL INICIO DE INCENDIOS FORESTALES	3
2.1.1. <u>Acción antrópica directa</u>	3
2.1.1.1. Quemas de limpieza	8
2.1.1.2. Centros poblados y campamentos	8
2.1.1.3. Carreteras, caminos y vías férreas	11
2.1.1.4. Líneas de alta tensión	12
2.1.2. <u>Educación y difusión</u>	12
2.1.3. <u>Agrupaciones de productores</u>	14
2.2. FACTORES QUE INCIDEN EN LA PROPAGACIÓN DE INCENDIOS FORESTALES	15
2.2.1. <u>Pendiente</u>	15
2.2.2. <u>Cortacombustibles</u>	15
2.2.2.1. Fajas cortafuegos	15
2.2.2.5. Areas cortafuegos	18
2.2.3. <u>Caminos forestales</u>	20
2.2.4. <u>Sistema de vigilancia</u>	22
2.2.5. <u>Sistema de comunicación</u>	24
2.2.6. <u>El combate</u>	24
2.3. FACTORES QUE INCIDEN EN EL INICIO Y EN LA PROPAGACIÓN DE INCENDIOS FORESTALES	27
2.3.1. <u>Combustible forestal</u>	27
2.3.2. <u>Silvicultura preventiva</u>	32
2.3.3. <u>Efecto de la especie</u>	36
2.3.3.1. Adaptación ecológica al fuego	37
2.3.3.2. Género Pinus	37
2.3.3.3. Género Eucalyptus	38
2.3.3.4. Género Acacia	39
2.3.3.5. Bosque nativo	40
2.3.3.6. Vegetación herbácea	40
2.3.4. <u>Modelos de combustible</u>	41

2.3.5. <u>Meteorología</u>	43
2.3.5.1. Humedad Relativa	43
2.3.5.2. Precipitaciones	45
2.3.5.3. Viento	46
2.3.5.4. Temperatura del aire	48
2.3.5.5. Descargas eléctricas	48
2.3.6. <u>Suelos</u>	49
2.4. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA COMO HERRAMIENTA EN LA DETERMINACIÓN DE ZONAS DE RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES	49
2.5. PONDERACIÓN DE LOS FACTORES PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES	53
2.5.1. <u>Caminería</u>	54
2.5.2. <u>Orientación de las laderas</u>	55
2.5.3. <u>Pendiente de las laderas</u>	56
2.5.4. <u>Tipos vegetacionales</u>	57
2.5.5. <u>Cortafuegos</u>	58
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	59
3.1. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	59
3.2. INVENTARIO DEL COMBUSTIBLE FORESTAL SUPERFICIAL	65
3.2.1. <u>Estratificación del área boscosa</u>	65
3.2.2. <u>Evaluación del material combustible</u>	67
3.2.3. <u>Ubicación de las parcelas</u>	68
3.3. ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES	70
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	78
4.1. INVENTARIO DE COMBUSTIBLE SUPERFICIAL	78
4.1.1. <u>Los estratos de Eucalyptus</u>	81
4.1.2. <u>Las estratos de Pinos</u>	88
4.1.3. <u>Las categorías de combustible</u>	97
4.1.3.1. Comparación entre estratos	97
4.1.3.2. Correlaciones dentro de estratos	104
4.2. MAPAS DE RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES	107
4.2.1. <u>Mapas de los factores que inciden en el inicio de un incendio forestal</u>	107
4.2.2. <u>Mapas de los factores que inciden en la propagación de un incendio forestal</u>	110
4.2.3. <u>Mapas de los factores que inciden en el inicio y la propagación de un incendio forestal</u>	116
4.2.4. <u>Mapas resultantes</u>	118
5. <u>CONCLUSIONES</u>	121

6. <u>RECOMENDACIONES</u>	122
7. <u>RESUMEN</u>	123
8. <u>SUMMARY</u>	124
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	125

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

LISTA DE CUADROS

Cuadro Nº		Página
1.	Incendios forestales en Uruguay: orígenes durante el quinquenio 1980 – 1984 (DNB citado por Quintillán <u>et al</u> , 1988)	1
2.	Clasificación de las causas de incendios forestales según ICONA (1987)	5
3.	Clasificación de las causas de incendios forestales según CONIF (1997)	6
4.	Clasificación de las causas de incendios forestales según Batista & Soares (1997)	7
5.	Clasificación de las causas de incendios forestales según DNB (2002)	7
6.	Número de incendios forestales y de campo, y superficie afectada en el Uruguay para las temporadas 1985/1986 a 1989/1990 en los meses de diciembre a marzo (Knockaert, 1991 citado por Fariña <u>et al</u> , 2002)	8
7.	Recomendaciones sobre el ancho de áreas cortafuegos según la topografía (ICONA, 1987)	19
8.	Recomendaciones sobre el ancho a desbrozar en áreas cortafuegos con un camino en el medio, utilizando como criterio la altura de la vegetación (ICONA, 1987)	19
9.	Interpretación de la longitud de llama en relación con el ataque al incendio (Martínez Ruíz, 1996)	26
10.	Clasificación del combustibles forestal superficial en función de su tamaño	28
11.	Nivel de riesgo de incendios forestales en función de la carga de combustible fino (TRAN, 2002)	29
12.	Contenido de humedad de la vegetación en función de su estado de desarrollo (Batista & Soares, 1997)	30
13.	Condiciones meteorológicas para lograr una quema efectiva de matorral y monte bajo	35

14.	Estimación del Contenido de Humedad del combustible fino a partir de la Humedad Relativa, con descripción del comportamiento del fuego (Adaptado de Artus <u>et al</u> , 1997)	44
15.	Contenido de Humedad de Equilibrio para el período agosto del 2000 a febrero del 2002 para seis departamentos de Uruguay (De Castro, 2002)	45
16.	Escala modificada (Servicio Meteorológico Polaco) del índice de Nesterov y el porcentaje de ocurrencia de incendios forestales (Sequeira <u>et al</u> , 1994)	46
17.	Ejemplos de mapas de riesgo de incendios forestales	52
18.	Ponderación de los factores que afectan el inicio de un incendio forestal (Salas & Chuvieco, 1994)	53
19.	Ponderación de los factores que afectan la propagación de un incendio forestal (Salas & Chuvieco, 1994)	53
20.	Ponderación de los factores de riesgo de incendios forestales (Vettorazzi & Feraz, 2001)	54
21.	Distancia de influencia de la caminería según distintos autores	54
22.	Ponderación del riesgo de incendios forestales de distintos tipos de caminería (Salas & Chuvieco, 1994)	55
23.	Ponderación del riesgo de incendios forestales según la orientación de la ladera (Salas & Chuvieco, 1994)	55
24.	Ponderación del riesgo de incendios forestales según la orientación de la ladera (Fernández <u>et al</u> , 2000)	55
25.	Ponderación del riesgo de incendios forestales según la orientación de la ladera (Oliveira, 2002)	56
26.	Ponderación del riesgo de incendios forestales según la pendiente de la ladera (Soares, 1984 citado por Vettorazzi & Feraz, 2001).....	56
27.	Ponderación del riesgo de incendios forestales según la pendiente de la ladera (Salas & Chuvieco, 1994)	56

28.	Ponderación del riesgo de incendios forestales según la pendiente de la ladera (Fernández <u>et al</u> , 2000)	57
29.	Ponderación del riesgo de incendios forestales según la pendiente de la ladera (Oliveira, 2002)	57
30.	Ponderación del riesgo de incendios forestales según el tipo vegetacional (Vettorazzi & Feraz, 2001)	57
31.	Ponderación del riesgo de incendios forestales según el tipo vegetacional (Oliveira, 2002)	58
32.	Ponderación del riesgo de incendios forestales según la presencia o no de cortafuego y según el tipo de cortafuego (Salas & Chuvieco, 1994)	58
33.	Descripción de los Estratos	66
34.	Direcciones de avance	70
35.	Rango de ponderación y su interpretación	71
36.	Importancia relativa de los factores que inciden en el inicio de un incendio forestal	72
37.	Importancia relativa de los factores que inciden en la propagación de un incendio forestal	72
38.	Ponderación de las categorías de caminos	73
39.	Ponderación de las categorías de orientación de la ladera	73
40.	Ponderación de las categorías de los tipos vegetacionales	74
41.	Ponderación de las categorías de pendiente de la ladera	74
42.	Ponderación de las categorías de cortafuegos	75
43.	Ponderación de las categorías de distancia desde el depósito de herramientas de combate de incendios a los distintos puntos del área de estudio	75
44.	Ponderación de las categorías según su ubicación	

	con respecto a la torre de vigilancia.....	76
45.	Ponderación de las categorías según su ubicación en el área de estudio en relación a los vientos predominantes.....	76
46.	Valor de la r de Spearman entre Combustible Total vs Combustible fino	104
47.	Valor de la r de Spearman entre la categoría Corteza vs Ramas de diámetro < 0,7 cm para los estratos de Eucalyptus	104
48.	Valor de la r de Spearman entre la categoría Corteza vs Ramas de diámetro entre 0,7 y 2,5 cm para los estratos de Pinos	105
49.	Valor de la r de Spearman entre la categoría Ramas de diámetro entre 2,5 y 7,6 cm vs Ramas de diámetro entre 0,7 y 2,5 cm para los estratos de Pinos	105
50.	Valor de la r de Spearman entre la categoría Ramas de diámetro entre 2,5 y 7,6 cm vs Corteza para los estratos de Pinos	105
51.	Superficie ocupada por las distintas zonas de riesgo	120

LISTA DE FIGURAS

Figura N°		Página
1.	Ubicación del área de estudio dentro de Uruguay	60
2.	Ubicación del área de estudio dentro del departamento de Rocha (Adaptado de GTI – Uruguay).....	61
3.	Area de Estudio (Adaptado de DGRNR – MGAP)	62
4.	Ubicación de las estaciones meteorológicas con respecto al área de estudio (Adaptado de www.balneariolapaloma.com)	64
5.	Mapa de los estratos	66
6.	Ubicación aproximada de las parcelas	69
7.	Promedio de la carga total de los estratos	79
8.	Carga promedio de combustible forestal superficial fino	80
9.	Carga total de las parcelas de <i>Eucalyptus grandis</i> fustal	81
10.	Promedio de las categorías de combustible de <i>Eucalyptus grandis</i> fustal	82
11.	Carga total de las parcelas de <i>Eucalyptus grandis</i> tallar	83
12.	Promedio de las categorías de combustible de <i>Eucalyptus grandis</i> tallar	84
13.	Proporción de cada categoría de combustible en los estratos de <i>Eucalyptus grandis</i>	85
14.	Comparación de la media, máximo y mínimo de la carga total de combustible en estratos de <i>Eucalyptus grandis</i>	86
15.	Comparación de los promedios de las categorías de combustible en estratos de <i>Eucalyptus grandis</i>	87

16.	Carga total de las parcelas de <i>Pinus taeda</i>	88
17.	Promedio de las categorías de combustible de <i>Pinus taeda</i>	89
18.	Carga total de las parcelas de <i>Pinus elliottii</i>	90
19.	Promedio de las categorías de combustible de <i>Pinus elliottii</i>	91
20.	Carga total de las parcelas de <i>Pinus pinaster</i>	92
21.	Promedio de las categorías de combustible de <i>Pinus pinaster</i>	93
22.	Proporción de cada categoría de combustible en los estratos de Pinos.....	94
23.	Comparación de la media, máximo y mínimo de la carga total de combustible en estratos de Pinos	95
24.	Comparación de los promedios de las categorías de combustible en los estratos de Pinos	96
25.	Comparación entre la carga promedio de corteza	97
26.	Comparación entre la carga promedio de Hojas + Residuos de selección	98
27.	Comparación entre la carga promedio de Piñas	99
28.	Comparación entre la carga promedio de Combustible fino + Hojarasca (no incluye la categoría Piñas)	100
29.	Comparación entre la carga promedio de Ramas de diámetro <0,7 cm	101
30.	Comparación entre la carga promedio de Ramas de diámetro entre 0,7 y 2,5 cm	102
31.	Comparación entre la carga promedio de Ramas de diámetro entre 2,5 y 7,6 cm	103
32.	Mapa de cercanía a zonas pobladas	107

33.	Mapa de la caminería	108
34.	Mapa de principios de incendios	109
35.	Mapa de la pendiente de las laderas	110
36.	Mapa de cortafuegos	111
37.	Mapa de cercanía a las herramientas de combate	112
38.	Mapa de cercanía a abastecimientos de agua	113
39.	Mapa de visibilidad y cercanía a la torre de vigilancia	114
40.	Mapa de los vientos más frecuentes	115
41.	Mapa de los tipos vegetacionales	116
42.	Mapa de la orientación de las laderas	117
43.	Mapa de riesgo de inicio de incendios forestales	118
44.	Mapa de riesgo de propagación de incendios forestales	119
45.	Mapa de riesgo de incendios forestales	120

1. INTRODUCCION

El sector forestal uruguayo ha tenido un crecimiento muy importante en la última década como consecuencia de los incentivos que define la ley forestal (Nº 15.939). Con el desarrollo de un nuevo sector productivo surgen una serie de interrogantes que apremian la necesidad de generar investigación, siendo uno de los puntos fundamentales la protección de las masas forestales frente a agentes bióticos y abióticos, siendo los incendios forestales la causa más importante de destrucción de áreas boscosas en todo el mundo.

Pese a que la superficie ocupada por bosques en Uruguay no alcanza el 7% del territorio nacional, principalmente en las zonas de mayor concentración boscosa, los incendios forestales podrían, en el futuro, alcanzar una importancia poco conocida en el país (Caldevilla & Quintillán, 2000). A su vez Baptista (1998) considera que la temática de los incendios forestales es desconocida en Uruguay y que observando el desarrollo que ha tenido el sector forestal, es lógico suponer que más pronto que tarde el país tendrá que enfrentar incendios de grandes proporciones, de hecho ya se han producido incendios catalogados de "gran magnitud" como ser el incendio del Parque Nacional de Santa Teresa que abarcó 8.000 ha (Bianchi *et al*, 1997) y un incendio de un bosque de Eucalyptus en Paysandú que alcanzó unas 1.200 ha (Quintillán & Torres, 2001).

La lucha contra los incendios forestales se compone básicamente de las siguientes tres etapas: la prevención, la pre-supresión y el combate, siendo la prevención fundamental dado que consiste en combatir los incendios forestales antes que estos ocurran evitando daños humanos, ecológicos y económicos.

El objetivo principal del presente trabajo es la elaboración de un mapa que permita evaluar el riesgo de incendios forestales en función de factores relativos a la susceptibilidad de ocurrencia y propagación.

Este trabajo se llevó a cabo en la Reserva Forestal de Cabo Polonio, ubicada sobre la costa atlántica al SE del departamento de Rocha (Uruguay), donde se aplicó en nuestro país una nueva metodología en la prevención de los incendios forestales, al utilizar un sistema de información geográfica (SIG) al que se le introdujeron datos obtenidos por un sistema de posicionamiento global (GPS), una imagen satelital y fotografías aéreas.

Algunas de las utilidades de los mapas de riesgo de incendios forestales son las que se mencionan a continuación:

- Es una herramienta fundamental para elaborar o perfeccionar un plan de protección contra incendios forestales;
- Es posible determinar con más certeza la ubicación, densidad y diseño de los cortafuegos, la ubicación y número de las torres de detección, reservorios de agua y equipo de combate;

- Permite definir dónde y cuándo es prioritario destinar más recursos a las tareas de prevención y pre-supresión de incendios forestales
 - Se ajusta a lo que exige la ley forestal de Uruguay en el decreto reglamentario 188/02
 - Representa un material cartográfico digital que puede ser fácilmente actualizado y que resulta de utilidad para planificar otras actividades propias de un área forestada
 - Resulta muy práctico para planificar quemas prescriptas
 - Permite predecir el comportamiento de un incendio forestal y se puede complementar con un simulador de incendios forestales
- Las hipótesis planteadas en este trabajo fueron las siguientes:
1. Los mapas de riesgo de incendios forestales permiten visualizar la distribución del riesgo en el espacio y consideran factores de carácter más permanente en el tiempo que los índices meteorológicos de riesgo de incendios forestales
 - ;
 2. Los sistemas de información geográfica son una herramienta adecuada para la elaboración de mapas de riesgo de incendios forestales;
 3. Existen diferencias tales -dentro del área de estudio- entre la carga de combustible forestal superficial de los estratos de *Eucalyptus grandis* y los estratos de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* y *Pinus pinaster* que justifica la diferenciación de zonas con distintos niveles de incidencia en el inicio y propagación de incendios forestales

Existen tres fases convencionales en el manejo de los incendios forestales que son la determinación del riesgo, la detección y combate, y la evaluación post-incendio (Carvacho, 1999). El riesgo de incendio o la expectativa de que se produzca un incendio se refiere a la probabilidad de que ocurra un incendio en determinada área durante un período específico de tiempo (Phillips & Nickey, 1978 citado por Vettorazzi *et al*, 2001). La probabilidad de que un fuego ocurra y se propague en una determinada área es función de la probabilidad de que haya una fuente de fuego y de la probabilidad de que hayan condiciones favorables para que ese fuego se propague (Soares, 1985 citado por Batista, 2000). Por lo tanto, del análisis de estos dos grupos de factores (de inicio y de propagación) es posible determinar el riesgo potencial de que se desarrolle un incendio en una región y permite establecer dónde y cómo se va a propagar potencialmente el fuego (Batista, 2000).

2.1. FACTORES QUE INCIDEN EN EL INICIO DE INCENDIOS FORESTALES

2.1.1. Acción antrópica directa

En Uruguay prácticamente el 100% de las causas de los incendios forestales son imprudencias, descuidos o negligencias de origen humano (Tamburi, 2000), como se aprecia en el cuadro 1.

Cuadro 1. Incendios forestales en Uruguay: orígenes durante el quinquenio 1980 – 1984 (DNB citado por Quintillán *et al*, 1988).

Origen	Número de incendios	Porcentaje
Imprudencia o descuido	1617	95.40
Intencionado	66	3.89
Incidencia climática	12	0.71
Total	1695	100

La mejor manera de reducir los daños producidos por los incendios forestales es prevenirlos y para prevenirlos es necesario conocer las causas que los originan y

actuar contra ellas. Se considera que cuando se desconoce la causa, en más de un 40% de los incendios ocurridos, resulta difícil organizar una eficaz prevención (ICONA, 1987). Un incendio puede originarse de un hecho tan simple como la confluencia de calor, material combustible, oxígeno y un agente. Los agentes se pueden subdividir en tres grupos: naturales, sociales y técnicos. Como ejemplos de agentes de tipo natural podemos encontrar veranos prolongados, pendientes mayores a 45° (no muy comunes en Uruguay) y especies resinosas. Ejemplos de agentes sociales son: quemas, cultos religiosos y hogueras; y de agentes de tipo técnico, falta de vigilancia, falta de material y equipo adiestrado en el combate de incendios y ruptura de líneas eléctricas (CONIF, 1997).

La prevención de incendios consiste en evitar que éstos ocurran, dado que si un incendio es evitado no requiere ser combatido y no produce daño. La prevención puede ser realizada actuando sobre las fuentes de fuego o sobre el material combustible. Para disponer de un efectivo control sobre las fuentes de riesgo, hay que conocer cómo es que éstas actúan localmente y cuándo y dónde es que los incendios ocurren normalmente. Esta información resulta del análisis de las experiencias pasadas, a través de las estadísticas locales de registros individuales de ocurrencia de incendios. Los datos más utilizados como guías para los programas de prevención son la época y lugar de ocurrencia, extensión del área quemada y las causas de los incendios (Soares & Batista, 1997).

Como una gran clasificación de las causas de los incendios forestales, ICONA (1987) divide las causas de incendios en causas estructurales, que son las que facilitan la aparición y desarrollo de los incendios forestales, y las causas próximas que son las que llevan el fuego al monte. Al igual que ICONA, la CONIF (1997) sostiene que el origen de un incendio puede estar asociado a factores físicos estrechamente relacionados con la plantación (vulnerabilidad o predisposición del elemento expuesto a sufrir daños) o a factores de orden externo (amenazas) y fundamentalmente, del medio ambiente de las zonas aledañas. A continuación se presenta en los cuadros 2, 3, 4 y 5 distintas clasificaciones de las causas de los incendios forestales según la fuente indicada.

Cuadro 2. Clasificación de las causas de incendios forestales según ICONA (1987).

1era clasificación	2da clasificación
Negligencias	Quemas de campo
	Quemas de basureros
	Quemas de residuos
	Hogueras de excursionistas
	Fumadores
	Concentración de rayos solares por reflejo de vidrios
	Niños jugando
	Tareas propias de las explotaciones forestales
Rayos y otras causas naturales	Rayos
	Combustión espontánea de vegetales o residuos
Accidentes	Escape de chispas de un ferrocarril
	Líneas eléctricas que se rompen
	Maniobras militares
	Cohetes o globos de combustión
	Caños de escape de un motor
	Accidentes de automóviles o aviones
Incendiaros	Para obtener algún provecho
	Por venganza
	Por oposición
	Por conductas irracionales

Cuadro 3. Clasificación de las causas de incendios forestales según CONIF (1997).

1era clasificación	2da clasificación	3era clasificación
Naturales	Sequías	
	Rayos	
	Inflamabilidad de las especies	
Sociales	Económicas	La caza
		Cercanía a chimeneas de industrias
		Cinturones de miseria
	Orden público	Venganzas personales
		Vandalismo
	Socio- políticas	Carencia de cultura forestal
		Ausencia o incongruencia de políticas agrarias
		Áreas forestales con indefinición de su vocación
	Culturales	Prácticas tradicionales agropecuarias
		Piromancia
Rituales		
Áreas de turismo		
Técnicas	Carencia de medidas de contingencia	Imprudencias
		Descuidos
		Accidentes
		Carencia de infraestructura preventiva
		Carencia de infraestructura de control
		Prácticas silvícolas inadecuadas
	Intersección con redes de infraestructura	Líneas eléctricas
		Carreteras
		Caminos
		Ferrocarriles
		Gasoductos
	Negligencia	Fumadores
		Hogueras
		Incineración de basuras y restos de cosecha
		Uso inadecuado de máquinas
		Maniobras militares
		Falta de vigilancia

Cuadro 4. Clasificación de las causas de incendios forestales según Batista & Soares (1997).

Causas	Descripción
Rayos	-
incendiarios	-
Quemas para limpieza	-
Fumadores	-
Operaciones forestales	-
Fuegos de recreación	-
Vías de tren	-
Diversos	Son las causas que si bien son conocidas no entran en ninguno de las otras siete categorías

Cuadro 5. Clasificación de las causas de incendios forestales según la DNB (2002).

Causas
Fumadores
Hogueras
Quema de pastos
Trabajos forestales con empleo de fuego
Otros trabajos
Líneas eléctricas
Motores y máquinas
Juegos pirotécnicos
Rayos
Varios

2.1.1.1. Quemas de limpieza

Con el fin de favorecer el reverdecimiento de pasturas, una práctica muy generalizada es la "quema de campo" o "quema de pastizales" o "quema de malezas", siendo ésta la principal causante de los incendios de campo. En ocasiones se utiliza el fuego para quemar los rameros en la entrefila. En plantaciones de pino, se queman los rameros sobre la cepa, buscando acelerar su degradación y al mismo tiempo refertilizar el área con las cenizas previo al laboreo y posterior plantación (Baptista, 1998).

2.1.1.2. Centros poblados y campamentos

En la franja costera de la zona Sur-Este de nuestro país se registra una gran frecuencia de incendios en verano, explicado en gran medida por ser ésta una zona balnearia, es decir, con importante presencia de turistas y acampantes durante el período estival (Baptista, 1998). El incendio forestal más grave registrado en Uruguay, ocurrió en el Parque Nacional Santa Teresa (Departamento de Rocha), el cual afectó aproximadamente 8.000 ha y se originó por descuido humano (Bianchi *et al*, 1997). Damerow (1994) afirma que todos los años durante el verano, en los departamentos de Rocha, Maldonado y Canelones, ocurren muchos incendios asociados a la actividad turística (cuadro 6). Propone crear un comité a nivel nacional que trabaje en forma coordinada con autoridades de Argentina y Brasil, con el fin de identificar los problemas asociados con el turismo y los incendios forestales, de modo de prevenir los incendios sin perjudicar el turismo.

Cuadro 6. Número de incendios forestales y de campo, y superficie afectada en Uruguay para las temporadas 1985/1986 a 1989/1990 en los meses de diciembre a marzo (Knockaert, 1991 citado por Fariña *et al*, 2002).

	Incendio forestal		Incendio de campo		Totales		Totales %	
	Nº	Sup. (ha)	Nº	Sup. (ha)	Nº	Sup. (ha)	Nº	Sup. (ha)
Rocha	151	19.147,0	270	1.351,5	421	20.498,5	13	48,8
Maldonado	231	2.109,7	158	412,8	389	2.522,5	12	6,0
Canelones	249	1.433,0	751	1.182,0	1.000	2.615,0	31	6,2
Resto del país	552	4.139,3	860	12.225,8	1.412	16.364,6	44	39,0
TOTALES	1.183	26.829	2.039	15.172	3.222	42.001	100	100

Batista & Soares (1997) hacen referencia a la importancia de que exista una reglamentación propia de cada área forestal, es decir un reglamento o normas internas, principalmente en áreas con fines recreativos debido a que previenen los daños producidos por las personas que hacen uso de dicha área. Una posibilidad puede ser la prohibición del acceso de personas a las zonas con mayor riesgo de incendios y/o en épocas críticas. Las normas internas se diferencian de la legislación justamente por su carácter más localizado. A modo de ejemplo, dentro del plan de protección contra incendios forestales del parque de vacaciones para funcionarios UTE-ANTEL, se propuso una reglamentación referida a la prevención de incendios forestales que es complementaria de la legislación vigente. Este conjunto de disposiciones generales, hacen referencia al comportamiento de los visitantes, el

personal afectado a las tareas forestales y los funcionarios en general (Quintillán, Tamburi, Parentini, 1988).

En la campaña de prevención de incendios forestales organizada por la Dirección Nacional de Bomberos "todos contra el fuego" se recomienda que en caso de encender un fogón, se lleve a cabo en los lugares especialmente autorizados, a cubierto de vientos, limpiando el suelo de toda vegetación en un diámetro de más de 5 metros, rodeando el mismo con montículos de tierra o arena o con piedras o similares (ladrillos, bloques, etc.), especialmente si no se está cerca de un curso de agua. Mantener siempre un recipiente con agua cerca del fogón y previamente a retirarse del campamento se debe apagar bien el fogón, cubriéndolo con agua, arena o tierra (Uruguay-DNB, 1992 & 2001).

En el artículo 2º del decreto reglamentario Nº 584/990 se establece que en los departamentos de Colonia, San José, Montevideo, Canelones, Maldonado y Rocha, está permitido únicamente acampar en las zonas expresamente autorizadas o en predio de propiedad del acampante (Uruguay-DNB, 1992). El decreto reglamentario 111/989 hace referencia a los predios dedicados al asentamiento temporal de acampantes, donde en el artículo 3º determina que los mismos deberán tener delimitadas una o más zonas específicamente destinadas a carpas y estacionamientos de casas rodantes. A su vez en el artículo 4º aclara que dichas zonas deben estar limpias de materiales combustibles, arbustos, residuos de podas, hojas, pinocha seca, pastos y en caso de estar forestada los árboles deberán estar podados hasta los 3,5 metros. El artículo 5º del mismo decreto reglamentario dispone que la zona de carpas se subdividirá en parcelas y en el artículo 6º aclara que las mismas deben contar con un lugar prefijado para encender fuego. En su defecto, los fogones que se realicen en el suelo deben estar ubicados a una distancia mínima de cinco metros de la carpa o vehículo más cercano.

Otra de las causas de incendios son las tareas de explotación forestal (cosecha, raleo, poda y otras) (Baptista, 1998), debido a que implica que se incremente el tránsito y permanencia (campamentos) de personas dentro de las áreas forestadas. En los próximos años, se prevé un notable incremento de las actividades de cosecha en las plantaciones forestales, y por ende, será mayor el riesgo de incendios (Caldevilla & Qunitillán, 2003).

Dentoni & Muñoz (2001) definen como incendio de interfase aquel que se desarrolla en áreas de transición entre zonas urbanas y rurales, donde las estructuras edilicias se entremezclan con la vegetación, por ejemplo: los balnearios en Uruguay.

Si bien las urbanizaciones no son terreno forestal, muchas veces se encuentran dentro de zonas boscosas y por ende constituyen áreas peligrosas. Su peligrosidad radica en que representan concentraciones de personas, las cuales pueden originar incendios y porque un incendio que se origine en el bosque puede alcanzar una zona urbanizada y causar daños a las casas y amenazar vidas humanas. Es por lo tanto, preciso aislar en lo posible la zona urbanizada del bosque.

Esto también es recomendable para campamentos, hoteles, hospitales y cualquier otro edificio que se encuentre dentro o limítrofe a áreas forestales (ICONA, 1987).

ICONA (1987) enumera una serie de precauciones a considerar dentro de un área urbana que se encuentre dentro o limítrofe a una zona boscosa, las cuales incluyen disponer de vías de acceso y evacuación, los techos y fachadas de las casas deben ser de un material resistente al fuego o si es madera debe haber sido tratada con ignífugos, alrededor de cada edificio debe haber una faja de 10 m de ancho en que se elimine toda la vegetación inflamable, los edificios deben estar separados por al menos 10 m, los techos deben estar limpios de material combustible, se deben eliminar las ramas que se acerquen a menos de 3 m de una chimenea, los basureros deben estar separado por al menos 500 m del arbolado, protegidos de los vientos predominantes y aislados con muros o zanjas.

ICONA (1987) recomienda construir una zona aislante o de seguridad, entre la zona urbanizada y la zona boscosa, la cual consiste en una faja de 25 m de ancho donde no habrán edificios, será desbrozada y sobre la misma debe haber un camino o carretera perimetral. A su vez, en la zona forestal contigua se desbrozará y se podarán los árboles hasta 3 m de altura en una faja de también 25 m de ancho. En el mismo sentido, el decreto reglamentario 584/990 impone que las áreas urbanizadas boscosas deben estar separadas de los predios boscosos no urbanizados por una faja corta-fuego igual o superior a los 20 metros de ancho y no podrán haber áreas urbanizadas boscosas continuas superiores a las cuatro hectáreas.

El decreto reglamentario N° 584/990 dictamina que los predios ubicados en áreas costeras urbanizadas, en caso de encenderse fuegos para la cocción de alimentos al aire libre, se deberán preferentemente realizar dentro de un quemador, los cuales deben estar contruidos de mampostería o piedra y estar dotado de campana y chimenea provista de un filtro adecuado para evitar la dispersión aérea de chispas o elementos encendidos. Según el mismo decreto reglamentario, dentro de los predios ubicados en áreas costaneras urbanizadas, la quema de desechos vegetales, sólo podrá realizarse entre el 1º de abril y el 14 de diciembre de cada año. A su vez, deberá realizarse con cantidades prudenciales, ser vigilado por lo menos por una persona mayor de 15 años, deberá disponerse de palas o recipientes y tierra o arena, o suministro de agua, en condiciones de inmediato uso y a una distancia inferior a los tres metros. Una vez cumplida la finalidad de la quema, se deberá apagar y enfriar totalmente los rescoldos, las brasas o las cenizas.

Según lo establecido en el mismo decreto, en las áreas costaneras urbanizadas está prohibido mantener árboles dominados o enfermos, especies herbáceas y otras especies leñosas de fácil combustión, así como paja mansa, chilca, espina de la cruz, molles, dodonea y similares. Deben tener el suelo limpio de elementos vegetales leñosos secos o caídos (hojas, pinochas, o similares), o cualquier otro tipo de desecho. Está prohibido tener apilados al aire libre, ramas, restos vegetales, u otros materiales combustibles como ser solventes, pinturas, sustancias plastificadas, explosivos o deflagrantes o similares. También se prohíbe

la distribución y venta de elementos pirotécnicos para lanzamiento aéreo, del tipo "cañitas voladoras" o similares.

2.1.1.3. Carreteras, caminos y vías férreas

Los caminos y/o rutas representan áreas de alto riesgo de incendios debido a la influencia de las actividades humanas (Almeida, 1994). Se consideran como causas de incendios forestales las carreteras, caminos, gasoductos, operaciones forestales, fuegos de recreación, vías de tren, escape de chispas de las máquinas de ferrocarril o por el rozamiento del ferrocarril, hogueras del personal que trabaja en las vías del ferrocarril, fumadores que tiran cigarrillos o fósforos encendidos, caño de escape de un motor, accidentes de automóviles y aviones en los que arde el depósito de combustible (ICONA, 1987; CONIF, 1997; Batista & Soares, 1997).

La Asociación Técnica de Carreteras (1995) considera que el aumento de la intensidad del tráfico en las carreteras, se debe principalmente al desarrollo económico de grandes áreas metropolitanas, zonas de desarrollo industrial, y turístico, lo que conlleva un aumento de la población, de la renta y el grado de motorización. La disminución en la intensidad del tráfico se produce en zonas en regresión, como zonas rurales en las que existe una fuerte emigración o en épocas de crisis económica. También será decreciente en algunos casos excepcionales, como cuando se construye una autopista, alternativa de una carretera existente.

Generalmente las intensidades de tráfico son mayores durante los meses de verano (especialmente en enero) y son menores en los meses de invierno, a su vez el aumento durante el verano es mucho mayor en carreteras de zonas turísticas que en zonas industriales. En carreteras de tipo turístico y especialmente en las cercanas a grandes ciudades la intensidad durante sábados y domingos es mucho mayor que durante el resto de la semana, siendo aún mayor el domingo, que el sábado. Este fenómeno se acentúa durante los meses de verano pero también se da durante todo el año. En relación a las variaciones diarias de intensidad de tráfico, durante la noche son muy bajas, presentándose un valor mínimo generalmente entre las 3 am y 5 am, creciendo luego éste rápidamente hasta las 8 am o 9 am. A partir de esta hora, la evolución depende del tipo de vía y de su emplazamiento. En carreteras (fuera de zona urbana), la intensidad horaria sigue aumentando mas lentamente hasta las 11 am o 12 am, en que alcanza un valor máximo; luego disminuye hasta alcanzar un mínimo a las 3 pm y se logra otro máximo a las 7 u 8 pm, para luego disminuir rápidamente (Asociación Técnica de Carreteras, 1995).

A través del decreto reglamentario N° 188/02 se exige que todo predio forestado debe establecer áreas cortafuegos perimetrales, así como a lo largo de vías férreas, carreteras y caminos públicos. En el Parque Nacional Santa Teresa se recomienda a los visitantes, a modo de prevención de incendios, controlar que el vehículo no presente pérdidas de combustible y que el caño de escape esté sin averías, lo cual evitará que salten chispas (Uruguay-SEPAE, 2002)

2.1.1.4. Líneas de alta tensión

Se menciona como posible causa de incendios forestales las líneas eléctricas, considerando la posibilidad que caigan sobre la vegetación o que rocen el arbolado (ICONA, 1987; CONIF, 1997). Quintillán *et al* (1988) entienden que las líneas de alta tensión aumentan el riesgo de incendios por cortocircuito, sin embargo Batista & Soares (1997) consideran que los incendios originados por esta causa son poco frecuentes.

El decreto reglamentario N° 188/02 menciona que los predios forestados que lindan o sean atravesados por líneas de alta tensión, deberán acatar lo establecido en la reglamentación de UTE, es decir, dejar libre de árboles una franja que varía según la tensión (Uruguay-Presidencia de la República, 2002).

2.1.2. Educación y difusión

Como se pudo deducir de lo mencionado anteriormente, son las personas las que representan el principal riesgo de incendio en las áreas forestadas. La educación de la población, junto con la aplicación de la legislación, la eliminación de las fuentes de fuego y la reducción de la viabilidad de propagación de incendios, son los instrumentos más utilizados en la prevención de incendios forestales (Batista & Soares, 1997).

Las campañas de educación consisten en una enseñanza dirigida y en contactos personales (Quintillán *et al*, 1988). Damerow (1994) afirma que los programas de prevención de incendios, especialmente los orientados a cierto tipo específico de público, requieren estar basados en datos estadísticos de registros de incendios que incluyan las causas, horas del día y fechas en que ocurrieron los siniestros. Previo a determinar cuál es el medio educativo a utilizar, es necesario conocer en forma detallada las causas de los incendios forestales, qué tipos de personas los causan, qué actitud tienen esas personas y cuál es el problema concreto (Agudelo & Moreno, 1997).

Batista & Soares (1997) expresan que si las personas que transitan o viven próximos a las plantaciones forestales tuvieran conciencia de la importancia que éstas tienen, los posibles daños a los que están expuestas, si estuvieran informados sobre cómo evitar esos daños y tuvieran la suficiente motivación como para actuar correctamente, se evitarían muchos incendios. Por ejemplo, en los Centros Forestales de la Caja de Jubilaciones y Pensiones Bancarias de Uruguay se instruye de manera continua al personal de los Centros, a las empresas contratistas y a la población de la zona, sobre los factores de riesgo de incendio (CJPB, 1998).

Para Soares (2000), la técnica más eficiente para prevenir el inicio de incendios por causas humanas en el mediano y largo plazo es a través de una educación ambiental, donde las personas tomen conciencia de los problemas y daños que causan los incendios forestales. La legislación es un instrumento apropiado para llevar adelante la educación ambiental, sin embargo, el "prohibir quemar" es una medida incorrecta e ineficaz; lo que se debe hacer es "enseñar a

quemar" de modo de reducir los riesgos y obtener los beneficios de un correcto uso del fuego.

Las campañas de difusión consisten en la emisión de mensajes e ideas a través de medios impresos, visuales y auditivos (Quintillán *et al*, 1988). La comunicación debe mostrar cómo y por qué evitar los incendios forestales, pero la dificultad consiste en llegar a las personas responsables del inicio de incendios forestales (Damerow, 1994; Batista & Soares, 1997). Damerow (1994) afirma que en una campaña de difusión, los mensajes no deben ser demasiado complicados y se deben enfocar en una actitud o problema específico, hay que definir a qué público se pretende llegar y cuál es el mejor método, teniendo en cuenta la relación costo-eficacia. Los principales medios de comunicación para educar a la población son los libros, revistas, folletos, televisión, conferencias, películas, carteles y contactos personales (Damerow, 1994; Batista & Soares, 1997).

Agudelo & Moreno (1997) sugieren una serie de técnicas de educación y difusión, para la prevención de incendios forestales: regulación de quemas, cartas anuales a personalidades, que contengan información sobre la forestación, contacto con organizaciones deportivas y agropecuarias, funcionarios comunales, áreas demostrativas, clubes de ecología, esfuerzos intensivos en puntos críticos, aplicación de la ley, cartas de agradecimiento, semana nacional de prevención de incendios, artículos en periódicos, organizar sistemas de información sobre incendios forestales, contactos personales, programas radiales, defensa rural de incendios, programas escolares, giras de demostración, recompensas especiales, programa de televisión y crear un personaje simbólico de la prevención.

Todos los medios son eficientes si son utilizados adecuadamente, considerando la época oportuna, el lugar adecuado y la persona correcta (Batista & Soares, 1997). Damerow (1994) recomienda como campaña de difusión orientada a los turistas argentinos y brasileños, la impresión y distribución de 15.000 a 25.000 folletos en puntos de entrada desde Argentina y Brasil. Posteriormente a toda campaña de difusión, se debería analizar la efectividad de la misma, por ejemplo, realizar encuestas a turistas argentinos y brasileños en los departamentos de Canelones, Maldonado y/o Rocha para evaluar si recibieron y/o entendieron la información, y determinar si es necesaria una campaña de difusión mayor.

Uno de los medios de comunicación más utilizados son los carteles ubicados en lugares estratégicos que tienen frases sugestivas como por ejemplo, "evite incendios y la muerte de los animales", "prohibido cazar y pescar - ley N°..." (Batista & Soares, 1997). Damerow (1994) considera excesiva la instalación de carteles de prevención de incendios forestales a lo largo de las rutas por lo que sugiere utilizar letreros en los puntos de entrada al Uruguay. Actualmente, las empresas forestales y la Dirección Nacional de Bomberos han ubicado carteles de advertencia en los lugares más riesgosos de las rutas nacionales, los cuales en general presentan buena visibilidad, ubicación y calidad. Los propietarios de urbanizaciones balnearias ubicadas en zonas forestales urbanizadas deberán colocar y mantener, en lugares claramente visibles para el público, los anuncios y

prevenciones que proporcione la Dirección Nacional de Bomberos, según lo definido en el artículo 9º del decreto reglamentario 584/990.

La creación de símbolos ilustrativos favorece la memorización de los mensajes a través de la visualización de las figuras (Soares, 2000). En Uruguay debería ser implementado un símbolo nacional de prevención de incendios forestales, como sucede en otros países (Damerow, 1994). Dentro del plan de protección de incendios forestales para el Parque de Vacaciones para Funcionarios de UTE-ANTEL se creó un símbolo basado en un guazubirá, con el objetivo de suscitar la simpatía del público, al que se le llamó Guazú-Gervasio (Quintillán *et al*, 1988). Guazú-Gervasio, podría ser el símbolo nacional de prevención de incendios forestales, pero previamente habría que comprobar la efectividad de dicho símbolo, por ejemplo, se debería mostrar el símbolo a niños escolares tanto de la ciudad como del campo y preguntarles qué representa ese símbolo para ellos (Damerow, 1994).

El artículo 33 de la ley Nº 15.939 establece que toda persona está obligada a denunciar de inmediato a la autoridad más próxima la existencia de fuego en un bosque o sus proximidades. Tanto la aplicación como la obediencia de la legislación son directamente dependientes del nivel educacional de la población y muchas veces los reglamentos, avisos y normas no tienen efecto, por lo que en estos casos se deben aplicar las penalidades previstas por la legislación vigente. (Batista & Soares, 1997).

2.1.3. Agrupaciones de productores

Todo sistema de prevención y control de incendios rurales (forestales, pastizales y matorrales) depende de una planificación previa y un plan de protección de incendios implica definir objetivos y acciones. Existen acciones que son comunes para distintos productores vecinos y al compartirlas no sólo se reducen costos, sino que además aumentan la eficiencia. Algunas de estas acciones pueden ser: la capacitación, la detección, el mantenimiento de cortafuegos comunes, el mantenimiento de accesos, los sistemas de guardias, la suma de equipamiento, la estandarización de equipamiento, la incorporación inmediata de personal extra, la aplicación de un sistema de anillos de protección. Hay dos tipos de acciones a realizar en el control de los incendios. Las acciones directas, como son: la silvicultura preventiva, el diseño y mantenimiento de corta combustibles; y las indirectas, entre las cuales la organización es la principal. Nadie es autosuficiente en el control de incendios forestales, por lo que resulta imprescindible agruparse, ordenarse y establecer roles (Rodríguez, 1999).

En Uruguay, a diferencia de las grandes empresas forestales los pequeños productores forestales (con superficies entre 30 y 500 ha), generalmente no disponen de suficiente equipo, ni personal para el combate de incendios. Tampoco logran realizar un correcto trabajo de prevención. El costo de los trabajos de prevención de incendios, como ser la instalación y mantenimiento de torres de vigilancia debería ser compartido por propietarios de bosques vecinos, lo cual significaría un incentivo para productores pequeños (Damerow, 1994). La ley

forestal en el decreto reglamentario N° 188/02 incentiva la constitución y funcionamiento de asociaciones civiles de propietarios de bosques que tengan como objetivo la prevención y combate de incendios forestales. Damerow (1994) considera que debería haber una reglamentación específica referida a las asociaciones y cooperativas de este tipo.

2.2. FACTORES QUE INCIDEN EN LA PROPAGACIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

2.2.1. Pendiente

Cuando un fuego avanza a favor de la pendiente se produce el mismo efecto que cuando el fuego avanza a favor de un viento muy fuerte (Artus *et al.*, 1997). El fuego se propaga más rápidamente en pendiente arriba porque el fuego seca y calienta más los materiales que se encuentran en la parte superior de la cuesta que los que se encuentran en la parte de abajo debido a que (Batista & Soares, 1997):

- la pendiente aproxima el material a las llamas que incluso llegan a tocar los materiales combustibles que están en la parte más alta;
- el calor asciende (convección) y a ello, se suma el hecho de que la corriente de aire originada va en dirección a la parte superior de la cuesta, mientras que la entrada de aire frío se produce por debajo;
- es mayor la exposición del combustible a la radiación emitida por el fuego.

Un fuego quemando en pendientes de 20 a 39 % se propaga dos veces más rápido que uno en terreno llano (Artus *et al.*, 1997), pero el fuego también avanza contra la pendiente y/o el viento, pero consumiendo oxígeno más lentamente que el fuego frontal y produciendo llamas de menor altura (Dentoni & Muñoz, 2001).

Batista & Soares (1997) hacen referencia a que la topografía incide sobre el clima, afecta en gran medida a los vientos y condiciona la ubicación de los diversos tipos de combustible, su crecimiento e inflamabilidad. Si el fuego avanza por una pendiente y coincide con que el viento es muy fuerte, se produce un achatamiento de la llama contra el suelo que disminuye la intensidad del mismo (Artus *et al.*, 1997).

2.2.2. Cortacombustibles

2.2.2.1. Fajas cortafuegos

Las fajas cortafuegos son una franja de terreno desprovista total o parcialmente de vegetación, denominados cortafuego mineral y cortafuego verde, respectivamente (Quintillán & Tamburi, 1994; JULIO ALVEAR, 1996, Maldonado, 1977 citado por Zucchini & Irigoien, 1998).

Las fajas cortafuegos persiguen un doble propósito: en primer lugar, el de romper la continuidad horizontal del combustible y por consiguiente, detener un incendio o al menos disminuir su velocidad de propagación y en segundo lugar,

permiten el acceso de personas y equipos para combatir el fuego, realizar vigilancia y realizar trabajos silviculturales (Quintillán & Tamburi, 1994; JULIO ALVEAR, 1996, Maldonado, 1977 citado por Zucchini & Irigoín, 1998).

La construcción de cortafuegos es esencial en regiones donde el uso cultural del fuego es permanente y debe ser prioritaria en aquellos rodales que presenten mayor riesgo de incendio y/o mayor valor económico (Zucchini & Irigoín, 1998). No son rentables las fajas cortafuegos que no sean transitables y que tengan 20% o más de pendiente. Los cortafuegos limpios y transitables son una práctica cultural necesaria, pero en ocasiones puede no ser suficiente para prevenir y controlar incendios (Zucchini & Irigoín, 1999). En general, una faja cortafuego limpia hasta el suelo mineral, es capaz de detener el paso de un incendio superficial (Quintillán & Torres, 2002). En cambio, si la velocidad de propagación del incendio es muy rápida, es de esperar que los cortafuegos no sean capaces de impedir el paso del frente del incendio, pero sí de los flancos (Zucchini & Irigoín, 1998).

No es posible determinar el ancho mínimo que asegure que el fuego no lo va a sobrepasar, pero un criterio es que presente un ancho tal, que permita el paso de maquinaria (Zucchini & Irigoín, 1999). Cuando se emplea una rastra de discos excéntricos para mantener los cortafuegos, generalmente, resulta suficiente que el ancho de la franja laboreada coincida con el ancho de trabajo del implemento, en ocasiones se efectúan dos o más pasadas adyacentes (Quintillán & Torres, 2002). El ancho de las fajas cortafuegos depende de la vegetación, del tipo de material combustible, su localización en relación a la configuración del terreno, la pendiente del terreno, es decir, del comportamiento esperado del fuego en ese sector del rodal bajo condiciones meteorológicas severas (Quintillán & Tamburi, 1994; Batista & Soares, 1997; Zucchini & Irigoín, 1998). Soares (2000) considera que lo ideal sería que el ancho de los cortafuegos sea cercano a dos veces la altura de los árboles, pero esto implica una gran pérdida de área productiva, por lo que recomienda en forma genérica que los cortafuegos internos sean de 5 a 20 m de ancho, y los externos de 20 a 100 m, dado que raramente los incendios comienzan en el interior de la forestación.

Es preferible que las fajas cortafuegos se complementen con fajas auxiliares libres de vegetación arbustiva a ambos lados de los cortafuegos, de 5 a 20 metros de ancho en las que se realiza un raleo fuerte para disminuir la densidad de plantación (llevarla a 200 árboles por hectárea) y se poda a una altura no menor a los 4 metros, o sino, tan solo podar las 4 o 5 primeras filas adyacentes al cortafuegos hasta una altura de 1,5 - 1,8 metros (Quintillán & Tamburi, 1994; Agudelo & Moreno, 1997; Padula citado por Zucchini & Irigoín, 1998).

En nuestro país el artículo 10º del decreto reglamentario N° 188/02 habla de áreas cortafuegos constituídas por fajas cortafuegos de un mínimo de 12 m de ancho complementadas con franjas adyacentes de seguridad. Entendiendo por franjas adyacentes de seguridad, a franjas libres de arbustos y de residuos de podas y raleos, y con árboles podados hasta una altura de 2 m. Las franjas adyacentes de seguridad deberán tener un ancho mínimo de 4 u 8 m si son interiores o perimetrales, respectivamente. Para el caso particular de áreas

forestadas que lindan con bosques nativos se deberá dejar entre ambos una "faja cortafuego con vegetación controlada", con un mínimo de 20 m de ancho. La SAGPyA (2000) sostiene que en Argentina, en las plantaciones en macizos, las calles cortafuegos no deberán tener un ancho menor de 15 m.

Soares (2000) entiende que según el punto de vista económico lo ideal es que los rodales sean grandes pero desde el punto de vista de la protección, va a ser mejor cuanto más chicos sean. Por lo que recomienda que la red interna de cortafuegos divida la plantación en rodales de 20 a 50 ha pero nunca mayores de 100 ha. La SAGPyA (2000) recomienda que en Argentina no hayan bloques forestados mayores a 40 ha sin cortafuegos en su interior. En Uruguay el artículo 10º del decreto reglamentario 188/02 establece que los cortafuegos deben proteger superficies boscosas no superiores a las 50 ha. Para Maldonado (1977) citado por Zucchini & Irigoien (1998), en el caso de rodales lindantes a poblaciones, rutas y vías de ferrocarril, la superficie forestada sin cortafuegos no debería ser superior a las 10 ha.

En términos de la superficie que ocupan los cortafuegos en relación a la superficie total forestada, se recomienda destinar del 5 al 10% de la superficie total forestada. La experiencia de Chile, señala que la superficie destinada a cortafuegos debe oscilar entre un 5 y 8% del total del área de plantaciones (Zucchini & Irigoien, 1998). En Argentina, la superficie comprendida entre las calles cortafuegos no podrá ser inferior al 10% de la superficie forestada (SAGPyA, 2000). Para una densidad de cortafuegos dada, cuanto mayor sea su ancho mayor será la distancia entre ellos (Zucchini & Irigoien, 1998).

Preferentemente, los cortafuegos deberían seguir las curvas de nivel del terreno porque el diseño sinuoso frena la velocidad del viento, evitando de este modo "corredores de aire" que se pueden originar a partir de cortafuegos rectos que coincidan con la dirección predominante del viento y también se evita el "efecto chimenea" que pueden producir los cortafuegos rectos que siguen la línea de máxima pendiente (Zucchini & Irigoien, 1998). Para Agudelo & Moreno (1997) el problema básico de las fajas cortafuegos está en su conservación, la cual es muy costosa. Al momento de planificar la red de cortafuegos se deben considerar tanto los costos de construcción de los cortafuegos, como mantenimiento de los mismos y por ende, se deben construir sólo aquellos cortafuegos que podrán ser mantenidos limpios y transitables, en especial durante la época de mayor riesgo de incendios (Zucchini & Irigoien, 1999).

Con la finalidad de reducir los costos de construcción y mantenimiento de los cortafuegos, es muy importante aprovechar las barreras naturales como: lagos, ríos, arroyos, cañadas, afloramientos rocosos o médanos (Quintillán & Tamburi, 1994; JULIO ALVEAR, 1996 citado por Zucchini & Irigoien).

Los cortafuegos limpios son especialmente efectivos contra los incendios de pastizales (Zucchini & Irigoien, 1998). Según CHENEY citado por Zucchini & Irigoien (1998) el no mantener los cortafuegos limpios de pastizales altos y arbustos, puede tener un efecto opuesto al buscado. Existen diversos métodos para conservar los

cortafuegos: quemas controladas, pastoreo controlado, pasaje de pastera (rotativa), o aplicación de herbicidas (Quintillán & Tamburi, 1994). Otro método consiste en una o dos pasadas de una excéntrica en las fajas cortafuegos, que permite eliminar totalmente la vegetación, hasta que aflore el suelo mineral a fin de detener los fuegos de suelo que lleguen hasta ellas (Quintillán & Torres, 2002). Lo ideal sería mantener los cortafuegos en suelo mineral todo el año, pero en su defecto, al menos debe efectuarse la limpieza de los cortafuegos antes del inicio de la temporada de peligro de incendios (en setiembre u octubre). Dado que según el tipo de suelo y la pendiente del terreno, la limpieza de cortafuegos con maquinaria en acciones repetidas puede producir erosión del suelo, es necesario evaluar las características del sitio y determinar en cada caso la viabilidad de su uso, así como la eventual aplicación de medidas de mitigación (por ejemplo, alternancia con zonas empastadas) (Quintillán & Torres, 2002).

En la República Argentina los cortafuegos deberán ser transitables durante todo el ciclo productivo de la forestación y estar libres de material combustible en épocas de riesgos de incendios (SAGPyA, 2000). En Uruguay se exige que los cortafuegos se mantengan limpios de vegetación capaz de propagar el fuego y de cualquier tipo de material o sustancia combustible de diciembre a marzo.

2.2.2.2. Areas cortafuegos

Las áreas cortafuegos son zonas relativamente anchas en las cuales la vegetación natural se modifica para disminuir su biomasa o inflamabilidad al romper con la continuidad del combustible, basándose en el principio de la diversidad, logrando zonas arboladas y no arboladas, y las cuales se diferencian de las fajas cortafuegos en que se auto conservan mediante el aprovechamiento de su vegetación o de su espacio (Agudelo & Moreno, 1997). Para Zucchini & Irigoin (1999) un área cortafuego es una franja de terreno construida de forma irregular, donde se modifica la vegetación para disminuir los defectos existentes en las fajas cortafuegos, es decir, evitar la velocidad de propagación cuando el viento y los cortafuegos presentan la misma dirección, disminuir los problemas de erosión, reducir el calentamiento del suelo y atenuar el impacto sobre el paisaje. Según ICONA (1987) las áreas cortafuegos tienen el fin de detener o facilitar el control de los incendios forestales al emplearse como base para la construcción de líneas de defensa, las cuales son sendas limpias de matorral que se pueden utilizar para movilizarse por el monte, pero que en caso de incendio puede limpiarse rápidamente con herramientas manuales para apoyar un contrafuego.

La anchura del área cortafuego debe ser tal, que permita el trabajo de los hombres sin que sufran quemaduras por el calor radiante y evite que pase el fuego al otro lado por radiación. La distancia necesaria para evitar quemaduras es el doble que la necesaria para evitar la propagación del incendio por radiación. Las distancias mínimas para evitar quemaduras depende de la vegetación y de la topografía (ICONA, 1987). Butler (2003) considera que la distancia necesaria para evitar quemaduras es superior a cuatro veces la altura máxima de las llamas.

Para condiciones de peligro meteorológico alto o extremo y para áreas cortafuegos sin vegetación y limpia las distancias recomendadas serían las siguientes: 12 m para terreno llano y 20 m para pendientes del 70% (las cuales no son usuales en Uruguay), si la vegetación que bordea está constituida de arbolado y matorral ligero. Para el caso de vegetación de arbolado y matorral denso, las distancias recomendadas serían de 25 y 35 m respectivamente. Si el área cortafuego conserva parte de la vegetación, los anchos deben ser mayores (ICONA, 1987). Para Agudelo & Moreno (1997) el ancho de las áreas cortafuegos es muy variable, pero es recomendable que tengan entre 60 y 100 m. En áreas perimetrales que rodeen un macizo forestal pueden llegar a 200 m (cuadros 7 y 8).

Cuadro 7. Recomendaciones sobre el ancho de áreas cortafuegos según la topografía (ICONA, 1987).

Relieve	Ancho (m)
Divisorias con pendientes superiores al 50%	60
Divisorias con pendiente fuerte en una ladera (50%) y suave en la otra (20%)	80
Divisorias con pendientes suaves (20%)	60 - 100
Llanuras o valles estrechos	100
Vaguadas estrechas	150

Cuadro 8. Recomendaciones sobre el ancho a desbrozar en áreas cortafuegos con un camino en el medio, utilizando como criterio la altura de la vegetación (ICONA, 1987).

Tipo de vegetación circundante u otras características	Ancho a desbrozar a uno de los lados del camino
Matorral denso	4 veces la altura del matorral y como mínimo 8m
Matorral ligero	2 veces la altura del matorral y como mínimo 4m
Arbolado con sotobosque de matorral espeso	4 veces la altura del matorral. Se cortan los árboles que dominan el camino o se corta el arbolado en un ancho de 6 veces la altura del matorral
Cuando el camino va por la mitad de la ladera	Aguas arriba, 3 veces la altura del matorral y aguas abajo, 6 veces

La densidad de las áreas cortafuegos debe aumentar en la medida que aumenta el riesgo de incendios y el valor de las masas boscosas a proteger. Los bloques forestados a proteger oscilan entre 300 ha y 1000 ha. La ubicación debe ser acorde a las estadísticas de incendios, es decir, que deben ubicarse en los puntos y lugares de iniciación más frecuentes (Nicolás, 2000). Deben ser diseñadas de modo que estén conectadas a caminos para que puedan ser utilizadas como vías de penetración y extracción de madera o residuos forestales (Zucchini & Irigoien, 1999). Cuando se planifica una red de áreas cortafuegos es conveniente considerar zonas

que se van a aclarar próximamente, zonas recreativas, áreas cultivadas y zonas de matorral que se van a repoblar (Agudelo & Moreno, 1997). ICONA (1987), sugiere que se ubiquen en zonas perimetrales a las zonas arboladas, de modo que separen zonas habitadas o zonas de cultivos, o a lo largo de cursos de agua, siguiendo divisorias o vaguadas anchas. En zonas de vaguadas, a veces es posible establecer vegetación higrófila pero tiene la desventaja de que en caso de incendio y si la vaguada es muy cerrada se puede acumular humo, lo que dificultaría el combate del incendio. En zonas con fuertes vientos es recomendable ubicar las áreas cortafuegos detrás de la cresta y seguir una dirección perpendicular al viento.

El tratamiento que recibe la vegetación en el área cortafuego varía según la zona (Quintillán & Tamburi, 1994):

- en las zonas forestadas se cortan los árboles muertos, enfermos y de mala conformación, así como todos los pies aprovechables que sea necesario cortar para evitar la superposición de copas. La vegetación arbustiva y subarbustiva debe eliminarse. Los árboles que quedan deben podarse como mínimo a 1,50 metros de altura. Finalmente, debe obtenerse un suelo sombreado que evite el crecimiento del matorral.
- Las zonas de vegetación arbustiva y subarbustiva deben limpiarse hasta lograr una separación mínima de 2,50 metros entre matas. Las plantas a eliminar serán: aquellas secas y enfermas, las espinosas que dificultan el tránsito dentro del monte, las que contribuyen menos al sustento de la vida silvestre o a evitar la erosión del suelo.
- En los bordes de los cursos de agua y en las zonas húmedas, el tratamiento se limitará a eliminar la vegetación seca.
- Las zonas cultivadas, praderas, áreas rocosas y arenales no reciben ningún tratamiento.

En el caso del matorral, no es suficiente reducir el volumen y la densidad de arbustos, sino que debe convertirse en un pastizal que se mantenga por el ganado (Agudelo & Moreno, 1997). ICONA (1987) plantea como métodos para conservar las áreas cortafuegos las quemas controladas, el pastoreo controlado, la trituración, la aplicación de fitocidas y la implementación de una cubierta vegetal de baja biomasa.

2.2.3. Caminos forestales

Los caminos forestales son esenciales no solo para la extracción de madera, sino también para dar acceso al bosque con fines de manejo y control (Duslam & Macfudh, 1997 citado por Cortacáns *et al.*, 2001), Según Zucchini & Irigoien (1998) los caminos forestales y las vías de saca pueden actuar de cortafuegos. En España y California se ha ido reemplazando la idea de anchos cortafuegos, por un sistema de pistas y vías de circulación, es decir, se ha ido sustituyendo la idea de las barreras que actúan automáticamente, por vías de acceso para el combate (Maldonado, 1977; SAGyP-INTA, 1994 citado por Zucchini & Irigoien, 1998). Agudelo & Moreno (1997) entienden que la eficacia de las fajas cortafuegos es muy limitada y que su conservación es muy costosa, por lo que se ha tratado de sustituirlas por caminos forestales donde el mantenimiento del suelo mineral resulta más fácil e igualmente

permite construir líneas de defensa. En términos generales, debe orientarse hacia la construcción de cortafuegos periféricos, combinados con caminos u otras vías de comunicación (Maldonado, 1977 citado por Zucchini & Irigoien, 1998).

Algunas características generales de las vías para protección de los bosques son (Alcantara, 1999):

- Previsión de los lugares de cruce suficientemente cercanos en razón de su carácter aleatorio.
- Considerar los lugares de retorno para abordar los lugares más peligrosos.
- Creación de una franja lateral lo más larga posible.
- Diseño y colocación, en los sitios estratégicos, de una señalización adecuada e inteligible en cualquier circunstancia.
- Diseño construcción y mantenimiento de un sistema de drenaje que permita el aprovechamiento del agua y disminuya los efectos de la erosión hídrica.
- Evitar crear un corte innecesario en el macizo boscoso.
- Evitar crear cortes que no estén en armonía con el esquema general planeado.
- Evitar presentar una visibilidad deficiente.
- Evitar crear callejones sin salida.
- Evitar, de preferencia, que las vías de protección sean utilizadas como vías turísticas, o cuando menos, las que sean estratégicas.

La relación plantación-caminería sugerida por el Wattle Research Institute (1972) citado por Uruguay-Dirección Forestal (1995) es de un kilómetro de camino por cada 17-18 ha de plantación, de modo que la caminería ocupa más del 5% del área potencial de plantación. Una red de carreteras (caminos) de aprovechamiento forestal incluye la carretera principal que es la más importante, porque por ella transita toda la madera, por lo que debe permanecer en buen estado durante varios años y debe ser transitable durante todo el año. También incluye las carreteras secundarias que desembocan en la carretera principal y son utilizadas durante una o dos campañas, por lo que no exigen mantenimiento, y por último las carreteras de acceso que no requieren más que algunas operaciones que prácticamente se limitan al desmonte (Le Ray, 1964 citado por Cortacáns *et al*, 2001).

Alcantara (1999) entiende que los caminos existentes o proyectados, tanto vías principales, vías secundarias y brechas de saca, además de ser utilizados en la comunicación y extracción, también permiten la penetración rápida a los macizos boscosos ante cualquier principio de incendio y juegan un papel retardador para cierto tipo de incendios en ausencia de vientos fuertes. Los caminos mejor conservados, con menor número de curvas, mejor visibilidad y menores pendientes, permiten desarrollar velocidades mayores de circulación (Neuenschwander, 1998 citado por Cortacáns *et al*, 2001). La calidad de los caminos forestales condiciona tanto la velocidad del transporte en el interior del monte, como su posible utilización por diferentes vehículos y su posibilidad de uso en épocas lluviosas (Tolosana *et al*, 2000 citado por Cortacáns, GALLERO & RUIK, 2001). Resulta imprescindible que los caminos permitan la circulación en toda su extensión y que en cualquiera de sus partes se tengan posibilidades de escape en ambas direcciones, por lo que deberán

tener el ancho suficiente y los enlaces estratégicos necesarios a fin de que se faciliten las maniobras (Alcantara, 1999).

Si en una plantación forestal fuera necesaria la construcción de nuevos cortafuegos, se emplearía como base, el sistema de caminos forestales existentes (Zucchini & Irigoien, 1998; Alcantara, 1999). Los cortafuegos se deben hacer coincidir con las calles de saca para facilitar las operaciones de control de incendio, madereo y transporte. Preferentemente, los caminos deben estar ubicados en las posiciones topográficas más altas donde aflora el material geológico, lo cual implica un terreno bien afirmado y por ende, permite que sean siempre transitables y permite darle utilidad a zonas en las que el suelo, por ser superficial, no es tan productivo. Los caminos forestales deben construirse considerando los drenajes, los puntos de retorno para los camiones cargados, las playas de estacionamiento y carga de madera (Wattle Research Institute, 1972 citado por Uruguay-Dirección Forestal, 1995). Los puntos críticos de la red vial son: las pendientes, el radio mínimo de las curvas, la capacidad de soporte de las rutas, los puentes, y la armonización del tráfico (Mac Donagh, 2002). La pendiente no debe exceder 1 m de desnivel en 15 m de longitud del camino, excepto en tramos cortos inevitablemente empinados (Wattle Research Institute, 1972 citado por Uruguay-Dirección Forestal, 1995).

El mayor costo de los caminos forestales es su mantenimiento, el cual debe realizarse al menos cada 4 años (Qiu-Rong Zu *et al.*, 1999 citado por Cortacáns *et al.*, 2001). La construcción de caminos presenta como principales desventajas, el aumento de la erosión de los suelos con la consecuente sedimentación, pérdida de capacidad productiva de las masas forestales, el deterioro de la calidad del agua y el impacto sobre la vegetación y fauna silvestre (CARDOSO *et al.*, 1981; Burroughs *et al.*, 1991; Tolosana, 2000 citado por Cortacáns *et al.*, 2001). A través de la planificación, se debe minimizar la cantidad de alteración causada por la construcción del camino e identificar "zonas frágiles" en donde no se deberán construir caminos (Goyaso *et al.*, 1999 citado por Cortacáns *et al.*, 2001).

2.2.4. Sistema de vigilancia

La forma más efectiva de protección contra incendios forestales es la vigilancia, la cual puede ser ejercida a través del patrullaje (vigilancia móvil) o a través de puntos fijos de vigilancia. La vigilancia fija puede ser realizada por medio de torres de observación y garitas de seguridad, aunque desde hace algunos años se vienen desarrollando sistemas más complejos que utilizan cámaras de vídeo o rayos infrarrojos instalados en torres o en aviones ligeros (Soares & Batista, 1997; Junta de Andalucía, 2002). La vigilancia móvil puede realizarse en vehículos (terrestres o aéreos), a caballo o a pie dependiendo de las características del lugar. Normalmente el patrullaje se lleva a cabo en las entradas, caminos, en los límites del establecimiento, en lugares próximos a centros poblados y en lugares que presenten mayor prioridad para ser protegidos (Soares & Batista, 1997).

Los objetivos básicos de una protección contra incendios es reducir al máximo el número de incendios y en caso de ocurrencia, combatirlos eficazmente, lo cual implica (Soares & Batista, 1997; Junta de Andalucía, 2002):

- Reducir al mínimo el tiempo transcurrido entre el inicio de un fuego y su descubrimiento por el sistema de vigilancia.
- Permitir disponer de una completa información sobre la localización y las características del incendio.
- Transmitir la información al centro de operaciones en forma rápida, clara y precisa.

Un sistema de vigilancia también debe tener una acción preventiva por la simple presencia intimidatoria de los vigilantes o al descubrir a las personas que accidentalmente, por negligencia, o de forma intencionada puedan provocarlos (Junta de Andalucía, 2002). Damerow (1994) recomienda que se considere el índice de riesgo de incendios forestales para determinar la necesidad o no, de realizar vigilancia.

Soares & Batista (1997) recomiendan que las torres de observación sean instaladas en lugares estratégicos que permitan una buena visibilidad y que estén equipadas con instrumentos de comunicación y de determinación de la dirección del humo, para poder ubicar con precisión el incendio. Las torres de detección pueden ser instaladas formando una red y dependiendo de la topografía, cada torre de 30 m de altura puede lograr una cobertura de más de mil hectáreas (Caldevilla & Quintillán, 2003).

Actualmente existen satélites que obtienen información actualizada de un incendio (ubicación, tamaño e intensidad) permitiendo realizar su detección y monitoreo, siendo en ciertos casos más apropiados que los métodos tradicionales de detección, debido a que desde la superficie terrestre, el campo visual está limitado y hay interferencia de la topografía y la vegetación (Aguado, 1999).

Más de la mitad de los incendios forestales son controlados por las fuerzas que realizan el primer ataque, cuando recorrieron menos de 5 hectáreas, evitando de este modo que se produzcan daños mayores (ICONA, 1987). Un buen sistema de detección debe ser capaz de detectar un incendio antes de 15 minutos después de su inicio y disponer de una rápida red de comunicación y movilización del personal (Soares, 2000). Si la detección no es eficaz, el incendio puede adquirir grandes proporciones y eso dificulta su combate. Muchos incendios se extienden a superficies mayores debido a detecciones tardías (ICONA, 1987).

2.2.5. Sistema de comunicación

El sistema de comunicaciones es la base para el desarrollo de todo plan de protección contra incendios. Debe ser rápido y confiable, y sus objetivos son (Dalla Tea, 1999; Junta de Andalucía, 2002):

- La transmisión de las novedades sobre vigilancia y detección de los incendios.
- La canalización y coordinación de las funciones de extinción de los incendios.

Una red de radiotelefonía permite la comunicación entre los diversos elementos operativos asignados a la red, por ejemplo: torres y garitas de vigilancia, retenes, medios aéreos y terrestres, bomberos. El elemento fundamental de la red de comunicaciones es el equipo radiotransmisor, también denominado transceptor o más comunmente "emisora", que es un aparato capaz de emitir y recibir ondas de radio (Junta de Andalucía, 2002).

ICONA (1987) sugiere que una red de comunicaciones presente la siguiente estructura:

- Estación central fija en la capital de la provincia.
- Subcentrales fijas en los centros de las comarcas forestales.
- Equipos transceptores fijos instalados en casetas y torres de vigilancia.
- Equipos transceptores móviles instalados en vehículos.
- Equipos transceptores portátiles a disposición de personal técnico y de guardería.

2.2.6. El combate

La historia de grandes y catastróficos incendios ocurridos en el mundo, demuestran que no existe ningún país del mundo con tecnología capaz de combatir un incendio forestal de alta intensidad. A partir de cierta intensidad, solamente puede ser detenido por lluvia, nieve, otras modificaciones de las condiciones meteorológicas o con grandes obstáculos. Pese a todas las medidas que se tomen para evitar la ocurrencia de incendios forestales, sería falso suponer que no van a ocurrir, por lo que siempre se debe estar preparado para su combate (Soares, 2000).

ICONA (1987) aclara que una vez recibido el aviso de un incendio, hay que asegurarse que se ha recibido suficiente información como para localizar el fuego, se recomienda no salir hasta saber dónde está exactamente el incendio y determinar a través de un mapa cuál es el mejor camino para llegar, considerando la velocidad del fuego, extensión estimada del mismo, tipo de combustible que está ardiendo, masas forestales y otros valores amenazados. Una vez que se llega al incendio, hay que observarlo con tranquilidad para tener una idea completa de él y se debe decidir por dónde atacar (frente o flanco o cola), cómo atacarlo (ataque directo y/o indirecto; contrafuego), localización, longitud, ancho y tipo de línea de defensa, apoyo que se necesitará y medios que se necesitan para construir la línea de defensa y mantenerla.

Básicamente, todas las tácticas usadas en el control de incendios forestales se basan en establecer una línea de control alrededor del área del incendio y confinar el incendio dentro de dicha área retirando el combustible que no se haya consumido y combatiendo los focos que se originen fuera de la línea de control. El fuego, o mejor dicho, el proceso de combustión, requiere de tres componentes: oxígeno, combustible y calor. La ausencia o la reducción por debajo de ciertos límites, de uno sólo de dichos componentes, impide la combustión, por lo que todas las técnicas de combate de incendios se basan en "quebrar" alguno de los tres componentes con el uso de productos, herramientas y equipos adecuados. En el combate de incendios forestales se ataca principalmente el combustible (Batista & Soares, 1997).

Martínez Ruíz (1996) señala que en el combate de un incendio forestal se distinguen tres etapas: Ataque, Control (se basa en cercar al fuego) y Liquidación. En el ataque (que es la primera fase del combate) se pueden aplicar tres métodos: Método directo, Método indirecto y Contrafuegos (aunque generalmente se incluye como método indirecto). Ejemplos de métodos indirectos son: Línea de fuego, Línea de control, Cortafuego químico y Quema de ensanche. En la Línea de fuego se extrae el combustible y se deposita del lado contrario a donde avanza el fuego. En la Línea de control se establece el perímetro que puede tener el incendio una vez controlado. En el Cortafuego químico, que constituyen una Línea de fuego temporal, se trata el combustible con una mezcla de agua y retardante. La quema de ensanche es una quema controlada que se utiliza para ampliar las Líneas de defensa y de control. El contrafuego consiste en combatir el fuego con fuego a través de una "quema controlada" del combustible comprendido entre el frente del incendio y la línea de fuego, en cuya margen se inicia el fuego, para que avance en dirección contraria a la del incendio. Bianchi *et al*, (1997) considera que el ataque directo se aplica generalmente en incendios superficiales, mientras que el ataque indirecto se emplea principalmente en incendios de copa, cuando la intensidad es muy alta (cuadro 9).

Cuadro 9 .Interpretación de la longitud de llama en relación con el ataque al incendio (Martínez Ruíz, 1996).

Longitud de llama (m)	Interpretación
< 1	El ataque directo con herramientas manuales por el frente o los flancos puede ser efectivo.
	Una línea de defensa hecha a mano bastará normalmente para contener el incendio.
	Esta es la situación normal para las quemas controladas bajo arbolado.
1 - 2,5	El ataque directo con herramientas manuales no se puede hacer debido a la intensidad de calor desprendido.
	Las líneas de defensa hechas a mano pueden ser insuficientes para contener el incendio.
	Se necesitarán tractores con pala, vehículos autobomba y aviones apagafuegos.
2,5 - 3,5	El incendio es difícil de controlar, ya que se puede producir fuego de copas y focos secundarios.
	Es probable que el ataque al frente del incendio no sea efectivo.
	No es posible acercarse a menos de 10 metros del incendio sin grave peligro.
> 3,5	Es muy probable que haya fuegos de copa y focos secundarios.
	El ataque al frente del incendio no es efectivo.
	Será preciso recurrir al contrafuego.

Se recomienda que los grupos de combatientes de incendios forestales estén compuestos por entre 6 y 10 operarios, y que sean liderados por un jefe del grupo (Batista & Soares, 1997). En la mayoría de los casos, con un sólo grupo de combatientes donde cada uno conoce perfectamente su función, se logra controlar un incendio forestal, pero en grandes incendios se requiere de más grupos de combate y es indispensable la presencia de un técnico que comande toda la operación (Batista & Soares, 1997).

Dentoni & Muñoz (2001) consideran que las herramientas manuales pueden clasificarse según su función, en herramientas de corte, raspado, cavado y sofocado. Las brigadas de combate de la Junta de Andalucía (España) disponen de las siguientes herramientas manuales y útiles: batefuegos, motosierras, palas, motodesborzadoras, hachas-azadas, rastrillos-azada, azadas, extintores de mochila y podones, emisoras portátiles y prismáticos. Las actividades que se realizan con herramientas manuales también pueden ser realizados con equipos mecanizados, aunque de todos modos las herramientas manuales siguen siendo necesarias en el combate de cualquier incendio forestal y de hecho, son el equipo más empleado en todo el mundo (Batista & Soares, 1997). La Junta de Andalucía emplea en el combate de incendios vehículos de extinción del tipo autobombas, vehículos cisternas y cisternas remolque, los cuales están debidamente equipados de mangueras, mantotes, lanzas y material diverso, y cuando es necesario, maquinaria pesada, principalmente tractores bulldozer o con gradas de disco, para la apertura de cortafuegos o líneas de defensa (Junta de Andalucía, 2002). Un tractor con excéntrica se puede emplear de manera efectiva para la construcción de una línea de defensa, durante el combate de incendios (Quintillán & Torres, 2002).

La resolución 610/99 de la SAGPyA dispone que en Argentina dentro de los bosques cultivados deben existir fuentes de abastecimiento de agua cercanas a las zonas de riesgo de incendios forestales y en caso de no existir, se deberán construir reservorios, tipo tajamares o cualquier otro que facilite la carga de equipos de control de fuego. Según el artículo 9º del decreto reglamentario 111/989 los predios dedicados al asentamiento temporal de acampantes que no dispongan de fuentes de agua aptas para el abastecimiento de los vehículos de bomberos en un radio de tres kilómetros por camino accesible, deberán contar con un depósito a tales fines con una capacidad mínima de 25 m³.

En Uruguay según el artículo 1º del decreto reglamentario 849/988, la dirección del combate de incendios forestales, debe ser exclusivamente de atribución y responsabilidad de la Dirección Nacional de Bomberos. No obstante, el decreto reglamentario N° 188/02 establece que todo emprendimiento forestal debe incluir al menos una vez al año actividades de capacitación del personal, actuando en coordinación y colaboración con la Dirección Nacional de Bomberos.

2.3. FACTORES QUE INCIDEN EN EL INICIO Y EN LA PROPAGACIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

2.3.1. Combustible forestal

El fuego es el fenómeno que se produce cuando se aplica calor a un cuerpo combustible en presencia de aire, por lo que un requisito indispensable para que haya fuego es la presencia de combustible (García de Pedraza & García Vega, 1987). Se considera combustible a todo aquel material de origen vegetal en condiciones de arder, favoreciendo la iniciación y propagación del fuego (Artus, 1997). Para Bianchi *et al* (1997) en un incendio forestal, el material combustible se compone básicamente de copas de árboles vivos, acumulación de cubierta muerta,

restos vegetales compactos, árboles muertos (caídos y en pie), residuos de corta en el suelo, arbustos muertos o secos.

La inflamabilidad es la facilidad relativa con la cual una sustancia entra en ignición y sostiene la combustión (Dentoni & Muñoz, 2001) y a diferencia de lo que comúnmente se cree, la madera no es inflamable pero sí combustible, dado que por efecto del calor se descompone y produce gases que sí son inflamables (Facultad de Arquitectura, 2000). Al calentarse la madera, ésta consume el calor rápidamente por una reacción endotérmica que se produce, pero a partir de 250°C se inicia una reacción exotérmica con una rápida elevación de temperatura, que favorece la combustión y la formación de gases inflamables (Tuset & Duran, 1979). Toda sustancia posee determinada temperatura de ignición, es decir, una temperatura a la cual el material entra en combustión y en la mayoría de los combustibles forestales esta oscila entre 260 y 400 °C (Batista & Soares, 1997).

La composición química del combustible afecta su inflamabilidad y su calor de combustión. Los combustibles naturales se clasifican de "alta" o de "baja" volatilidad, según su composición química y su facilidad para generar pavesas. En los combustibles vegetales la celulosa y otros hidratos de carbono son los principales responsables del calor de combustión, pero puede existir cierta proporción de ceras, aceites esenciales y grasas que proporcionan más calor (Artus *et al*, 1997).

En función de su tamaño, los combustibles forestales superficiales se pueden clasificar de distintas maneras (cuadro 10).

Cuadro 10. Clasificación del combustible forestal superficial en función de su tamaño.

AUTOR	CLASES		DIAMETRO	DESCRIPCION o EJEMPLOS
	Denominación1	Denominación2		
ICONA (1987)	ligeros		< 1 cm	
	pesados		> 1 cm	
BATISTA & SOARES (1997)	peligroso		< 1 cm	Ramas < 1cm, hojas, líquenes, musgos y gramíneas (todo en estado seco)
	semi-peligroso		>1 cm	Ramas > 1 cm, troncos caídos, tocones y humus
	verde			Vegetación viva
ARTUS <i>et al</i> (1997)	de 1 hora	fino	< 0,5 cm	
	de 10 horas	mediano	0,6 - 2,5 cm	
	de 100 horas	grueso	2,5 - 7,5 cm	
NICOLÁS (2000)	fino		< 0,5 cm	Hojarasca, pasto, acículas
	regular		0,5 - 2,5 cm	Ramitas, tallos chicos
BIANCHI <i>et al</i> (1997)	mediano		2,5 - 7,5 cm	Ramas
	grueso		> 7,5 cm	Ramas gruesas, troncos
DENTONI & MUÑOZ (2001)	de 1 hora	fino	0,1 - 0,6 cm	
	de 10 horas	regular	0,6 - 2,5 cm	
	de 100 horas	mediano	2,5 - 7,5 cm	
	de 1000 horas	grueso	7,5 - 20 cm	

Artus *et al* (1997) distingue el humus como la materia orgánica en descomposición que constituye el horizonte O₂ y una categoría compuesta por arbustos y plantas herbáceas. A su vez Brown *et al* (1984) citado por Artus *et al*

(1997) menciona la hojarasca como el material ubicado en el horizonte O_1 , que incluye hojas frescas caídas en forma reciente, hojas secas sin descomponer, exfoliaciones de corteza, escamas de conos, y aquellos conos que se encuentran sueltos o enterrados hasta la mitad de su volumen. Artus *et al* (1997) define el tiempo de retardo, como el tiempo medido en horas necesario para el que el material combustible muerto gane o pierda el 66% de su humedad hasta equilibrarse con el ambiente en que se encuentra. Por lo que es posible clasificar los combustibles en función de su tiempo de retardo: los combustibles de 1 hora son los elementos de combustible cuyo tiempo de retardo varía entre 0,1 y 2 horas, los combustibles de 10 horas son aquellos cuyo tiempo de retardo varía entre 2 y 20 horas, los combustibles de 100 horas son los que tienen un tiempo de retardo que varía entre 20 y 200 horas, mientras que los combustibles de 1000 horas tienen un tiempo de retardo mayor a 200 horas (Artus *et al*, 1997; Dentoni & Muñoz, 2001).

ICONA (1987) categoriza los combustibles forestales según su composición en ligeros y pesados. Los combustibles ligeros se inflaman fácilmente y se consumen rápidamente cuando están secos, en cambio los pesados son más difíciles de inflamar y arden más despacio. La Facultad de Arquitectura (2000) divide el comportamiento del fuego según se trate de piezas de poca escuadría o de gran escuadría, las primeras arden rápidamente mientras que en las piezas de mayor diámetro, el avance de la combustión es lento (generalmente no alcanza a 1mm/1min) y a su vez, se genera una capa carbonizada en la superficie expuesta al fuego que "protege" a la sección no quemada.

La temperatura a la cual están sometidos los tejidos vegetales depende principalmente de la intensidad y duración del fuego. Los fuegos desarrollados en mantillo con 12 a 25 t/ha de combustible fino arden entre 75 y 150 segundos respectivamente, mientras que un fuego con 5 t/ha de pasto seco estará en llama sólo 5 segundos (URUGUAY-DF, 2000c). Según Batista & Soares (1997) la cantidad de combustible determina si un incendio se va a propagar o no. Debe existir un mínimo de 1,23 ton/ha de material combustible fino, seco, distribuido en forma continua, en un área para que un incendio superficial se propague. Un valor de 12 ton/ha de combustible superficial fino determina el límite a partir del cual se desencadenan incendios forestales no controlables por métodos tradicionales (Sarasola *et al*, 2001) (cuadro 11).

Cuadro 11. Nivel de riesgo de incendios forestales en función de la carga de combustible fino (TRAN, 2002).

Nivel de riesgo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto	Extremo
Carga de combustible fino (t/ha)	< 4	4 - 8	8 - 12	12 - 20	> 20

La producción de combustible está ligada a la edad de la plantación, al diseño de la misma en lo referente a la densidad de plantas utilizada, a la calidad del sitio y a la especie arbórea (Artus *et al*, 1997). Los monocultivos con especies de rápido crecimiento como son los *Eucalyptus* y *Pinus* presentan tasas de producción de hojarasca alta y que no está en equilibrio con la tasa de descomposición, lo que los

hace extremadamente vulnerables a incendios de alta intensidad y duración (AGUDELO, 1997; Artus *et al*, 1997).

El contenido de humedad es la propiedad más importante que controla la inflamabilidad de los combustibles vivos y muertos (Batista & Soares, 1997). Bianchi *et al* (1997) entienden que el contenido de humedad determina la cantidad de calor requerida para encender el material combustible, porque para que la madera arda es necesario que se evapore el exceso de agua. En la medida que el combustible forestal esté más seco, mayor cantidad del mismo arderá y cuanto más combustible arda, mayor cantidad de calor se desprenderá y cuanto más calor desprenda, más se propagará el incendio (ICONA, 1987). El combustible fino y muerto se encuentra más húmedo cerca del suelo mineral y más seco en la superficie (Artus, *et al*, 1997). Las variables que afectan el secado de la madera son la velocidad del aire, temperatura del aire, humedad relativa del aire, permeabilidad de la madera, densidad de la madera, espesor de la madera y contenido de humedad inicial de la madera (Facultad de Arquitectura, 2000).

El combustible se clasifica según su naturaleza en vivos y muertos. Debido al alto contenido de humedad del material verde a veces se lo considera como no inflamable, con excepción de las coníferas (Batista & Soares, 1997; Nicolás, 2000). Dentoni & Muñoz (2001) clasifican los combustibles en vivos cuando su contenido de humedad es igual o mayor al 30% y como combustibles muertos cuando su contenido de humedad es menor al 30%. Batista & Soares (1997) afirman que el material muerto responde más rápidamente a las variaciones meteorológicas que el material vivo, por lo que es el principal responsable de la propagación de los incendios. El contenido de humedad del material vivo es mayor y más estable que el contenido de humedad del material muerto. El contenido de humedad del material muerto puede variar desde menos de 2% (raramente) hasta valores superiores a 200% luego de largos períodos de precipitación. En cambio, el contenido de humedad del material vivo generalmente se encuentra entre 75 y 150%, aunque puede oscilar entre 30% y 300%, dependiendo del estado de crecimiento (cuadro 12).

Cuadro 12. Contenido de humedad de la vegetación en función de su estado de desarrollo (Batista & Soares, 1997).

Estado de desarrollo de la vegetación	Contenido de humedad (%)
Brotación nueva, al principio del ciclo de crecimiento	300
Follaje madurando, creciendo con vigor	200
Follaje maduro, crecimiento completo o nuevo estado de crecimiento	100
Comienzo del reposo vegetativo, comienzo del cambio de color	50
Completamente seco (considerado como combustible muerto)	<30

Por ser la combustión una reacción química donde la superficie de contacto entre el combustible y el comburente juega un papel fundamental, la forma del combustible es importante, ya que ésta condiciona la superficie específica (MARCOS et al., 2001). La relación superficie/volumen de los combustibles condiciona la rapidez con que absorben el agua y el calor. Cuanto más fino es el combustible (mayor relación superficie/volumen) alcanzan más rápidamente su temperatura de ignición y se queman más rápido. La forma del combustible también incide en la capacidad de éstos en rodar y originar focos secundarios (Bianchi et al., 1997).

Otro factor a considerar es la compacticidad o densidad del combustible, por lo que el material combustible se puede dividir en ligero, el cual arde rápidamente y en combustible pesado, el cual arde lentamente por tener menor contenido de aire entre los diferentes materiales (Bianchi et al., 1997). Según Batista & Soares (1997) cuando los combustibles están poco compactados las partículas de combustible están suficientemente cerca como para recibir intenso calor por radiación de las que se están quemando pero están lo suficientemente separadas como para permitir el flujo de oxígeno. La madera es considerada como mala conductora de la energía calórica, debido a que contiene aire en sus cavidades. Por lo tanto, la conductividad del calor a través de la madera va a variar con la especie, dado que las distintas especies presentan distinta densidad aparente de la madera. Cuanto más densa sea la madera, mejor se va a transmitir el calor, también es mejor la conducción del calor en la dirección longitudinal que en la transversal, a su vez, cuanto más húmeda esté la madera mejor va a conducir el calor (Facultad de Arquitectura, 2000).

También se clasifica el combustible según su posición, en combustibles de suelo a todos aquellos que forman el estrato herbáceo y arbustivo hasta 2 metros de altura, incluyendo el mantillo y en combustibles aéreos a los que están colgados de otros o que llegan desde el suelo a altura superior a 2 metros (ICONA, 1987). Dentoni & Muñoz (2001) mencionan tres categorías de combustible en función de su ubicación, los combustibles subterráneos que incluye todo material combustible ubicado bajo la superficie del suelo; se incluyen ramitas, mantillo, raíces, elementos en descomposición y otros combustibles leñosos. Los combustibles superficiales, que son los que se encuentran localizados sobre la superficie del suelo o inmediatamente por encima de ella y hasta una altura de 1,80 m y los combustibles aéreos que se encuentran localizados a una altura mayor a 1,80 m.

Para Batista & Soares (1997) toda la biomasa existente en un área no está disponible para ser quemada. En la práctica el "combustible disponible" es la cantidad de combustible que es normalmente consumida en un incendio forestal, que corresponde aproximadamente al 70-85% de la cantidad total de combustible menor a 2,5 cm de diámetro. La cantidad de "combustible disponible" depende de la proporción de combustible vivo y muerto, del tamaño, del contenido de humedad y la continuidad. Bianchi et al. (1997) sostienen que la continuidad o distribución del combustible en el bosque se puede clasificar en horizontal y/o vertical, y hace referencia a la existencia o no de una sucesión continua de estratos en relación al plano horizontal que forma el suelo.

2.3.2. Silvicultura preventiva

Los tres factores que condicionan el comportamiento de un incendio forestal son la topografía, el tiempo atmosférico y los combustibles, de los cuales sólo es posible la actuación sobre el tercero. El conocimiento de cuál será el comportamiento del fuego es necesario antes de adoptar cualquier medida de prevención (Bardaji & Molina, 1998). La silvicultura preventiva es el manejo de las plantaciones forestales o bosques nativos con el propósito de modificar la estructura del material combustible disponible con el fin de satisfacer los objetivos de protección contra los incendios, pero sin olvidar la mejora en la producción y la calidad del medio ambiente (Haltenhoff, 1998 citado por Soares, 2000). Para ICONA (1987) el objetivo de la silvicultura preventiva u ordenación del combustible es reducir la inflamabilidad de la masa forestal, lo cual incluye la construcción de fajas y áreas cortafuegos (creación de discontinuidades), la conversión de la vegetación para reducir volumen y/o inflamabilidad, mezcla de edades, construcción de espacios abiertos entre superficies arboladas.

Soares (2000) considera que la silvicultura preventiva debe enfocarse en las zonas de mayor riesgo dado que si bien se puede originar un incendio intencional en cualquier lugar del área forestada, lo normal es que se origine de actividades previsibles.

En las plantaciones forestales que tienen como objetivo producir madera para aserrado es normal el uso de la poda, pero los casos en que el objetivo es la madera para pulpa de papel generalmente no se realizan podas, por lo que una alternativa es podar algunas hileras (entre 5 y 10 m) en los bordes de los cortafuegos y retirar los residuos. Si bien las podas y los raleos disminuyen la inflamabilidad de la masa forestal, producen una cantidad apreciable de desechos de alta inflamabilidad (Quintillán & Tamburi, 1994). Según Graham *et al* (1999) citado por Soares (2000) se produce un doble efecto, por un lado se disminuye la continuidad horizontal y disminuye el riesgo de incendios de copa, pero a su vez puede aumentar la intensidad de un incendio.

Existen cuatro grandes métodos para modificar los combustibles: traslado, eliminación, reordenación y conversión. Por lo general, el traslado del material combustible implica su reubicación para su posterior utilización, almacenaje o eliminación (Agudelo & Moreno, 1997). Soares (2000) sugiere la posibilidad de trasladar los combustibles de zonas con mayor riesgo de incendios a zonas con menor riesgo para luego quemarlo. El extraer del área forestada todos los combustibles finos y medianos sería la manera más eficiente de prevenir incendios forestales, aunque no es lo ideal del punto de vista ecológico y económico. La extracción de combustibles fuera de la plantación puede ser total o parcial, la cual consiste en extraer solamente los desechos de un diámetro mayor a 2 cm. Para el caso de grandes superficies boscosas se recomienda la extracción total de los combustibles en todo el perímetro de la misma y en lugares cercanos a caminos y asentamientos humanos. Una vez extraídos pueden ser eliminados de inmediato mediante quemas controladas, modificadas por desmenuzamiento mecánico o utilizados con fines energéticos.

La eliminación total del combustible en zonas de extensión considerable y en forma económica, sólo puede realizarse mediante quemas controladas, la eliminación parcial puede realizarse a través del pastoreo controlado (Agudelo & Moreno, 1997). En varios países, tal es el caso de Nueva Zelanda, España y Uruguay se realiza un manejo silvopastoril. El uso de ganado bovino, ovino o caprino consume la vegetación de menor porte como gramíneas, hierbas y arbustos, logrando de este modo reducir el riesgo de incendios y también un ingreso económico adicional. A su vez, el pisoteo del ganado produce compactación del combustible (Soares, 2000).

También es posible la aplicación de herbicidas, que presenta como inconveniente su alto costo y que al matar la vegetación existente se produce un aumento de la cantidad de combustible seco y por consiguiente un aumento en el riesgo de incendio. Por lo que debe ser aplicado en ciertas condiciones especiales y a su vez se deben adoptar medidas que disminuyan la cantidad de combustible muerto y seco resultante (Soares, 2000).

La Reordenación es la distribución del combustible en el terreno para disminuir el riesgo y lograr una rápida descomposición. Cuando no es posible la extracción de los desechos se procede a su apilado. El apilado de combustible en terrenos planos puede efectuarse en franjas entre las líneas de plantación, dejando un espacio entre las franjas y la base de los árboles. Cuando el terreno tiene pendiente se recomienda efectuar el apilado en sentido perpendicular a la pendiente. También puede apilarse los desechos en montículos distribuyendo los materiales entre las líneas de plantación, rompiendo su continuidad a determinados tramos y dejando un espacio entre las pilas y los árboles (Agudelo & Moreno, 1997).

En los rodales donde se haya realizado un raleo, se produce una gran cantidad de combustible que muchas veces es acondicionado en largas fajas, las cuales son más un peligro que una solución. Estas fajas muchas veces son dispuestas paralelas a la pendiente, siendo una rápida vía de propagación del fuego (Artus et al, 1997). Quintillán & Torres (2001) mencionan que en un incendio forestal de 3,2 ha producido en una plantación de *Pinus taeda* del litoral oeste de nuestro país que había recibido una poda de 3,5 m de altura cinco meses antes y donde los desechos se concentraron en rameros distribuidos sin ningún ordenamiento, se observó una correlación directa entre la muerte de ejemplares y los sectores de mayor concentración de ramas provenientes de la poda.

También es posible la modificación del combustible a través de su reducción de tamaño mediante una chipeadora y su posterior distribución en el piso del bosque para su descomposición o realización de quemas controladas (Quintillán & Tamburi, 1994). Soares (2000) indica que la compactación de los combustibles también reduce el riesgo de incendios, la cual puede ser llevada a cabo por equipamiento pesado.

Agudelo & Moreno (1997) entienden por Conversión del combustible al reemplazo de la cobertura vegetal por otra. Según Quintillán & Tamburi (1994) la sustitución de especies busca el empleo, en sitios adecuados, de especies con

menor grado de combustibilidad o con menor cantidad de combustible disponible, por ejemplo, especies subarbutivas sustituidas por herbáceas. Se pueden utilizar cortinas de especies menos inflamables preferentemente ubicadas en dirección perpendicular a los vientos predominantes en los bordes de cortafuegos y caminos (Soares, 2000).

El riesgo de que ocurra un incendio forestal en las reforestaciones o repoblaciones es en promedio veinte veces mayor que en las masas maduras, debido a que tienen ramas desde el suelo y corteza muy delgada que las hace muy inflamables. Para reducir la inflamabilidad de las repoblaciones recomienda preparar el terreno eliminando el matorral, restos de cortas y otros combustibles, elegir un marco de plantación de 2x4m en lugar de 2x2m, preferentemente ubicar las plantaciones junto a masas maduras con tratamientos preventivos y mezclar especies. Las masas forestales compuestas por diversas especies presentan inflamabilidades diversas lo cual altera la intensidad de propagación y facilita su combate, por lo que no se recomienda plantar grandes áreas con una única especie. (ICONA, 1987; Quintillán & Tamburi, 1994; Soares, 2000).

Batista & Soares (1997) definen la quema controlada como la aplicación de fuego bajo determinadas condiciones (tiempo atmosférico, de humedad del combustible, carga de combustible, topografía, etc) dentro de un área predeterminada y con determinada intensidad de calor y tasa de propagación como para lograr diversos objetivos tales como la reducción del material combustible, preparación del terreno, mejora del hábitat para la fauna silvestre, control de especies indeseables, control de plagas y enfermedades, mejora de las pasturas y mejora de la estética. Porque si bien los incendios pueden producir graves daños en las áreas forestales, el fuego también puede ser controlado y usado para lograr efectos positivos sobre los ecosistemas forestales.

Existen diversas técnicas de quema controlada que varían según los objetivos de la quema, las condiciones climáticas, topográficas y del combustible (Batista & Soares, 1997). Algunas técnicas de quema utilizadas son la quema por puntos, quema en franjas, quema central, quema "chevron" y la quema perimetral (Dentoni & Muñoz, 2001). Batista & Soares (1997) consideran que cualquier tipo de quema se puede clasificar en 3 grupos: quema a favor del viento, quema en contra del viento y quema por flancos, que viene a ser la que forma un ángulo recto con el viento. La quema a favor del viento, se caracteriza por ser la de mayor intensidad debido a que tiene mayor tasa de propagación, mayor longitud de llamas y que abarca mayor área de quema. La quema en contra del viento, presenta todas las condiciones opuestas a las mencionadas para el caso de la quema a favor del viento, y por último la quema en dirección perpendicular al viento tiene características intermedias a las dos anteriores. En el fuego frontal, la mayor liberación de calor se produce a la mitad de la altura del frente de llamas, mientras que en el fuego en retroceso, la mayor liberación de energía se produce en la base de las llamas, por lo que este último consume una mayor proporción de combustible fino.

El momento más oportuno para iniciar una quema controlada, es luego de que hayan ocurrido las horas de mayor calor del día, porque es cuando el combustible está más seco y por lo tanto arde mejor, pero a su vez se acerca la noche donde aumenta la humedad y por consiguiente disminuye el riesgo de propagación. Se recomienda para quemas de vegetación herbácea que hayan vientos de menos de 15 km/h y humedades relativas del aire entre 50 y 60% (ICONA, 1987). Para realizar quemas prescriptas debajo de un dosel de pinos se recomiendan las siguientes condiciones meteorológicas (Kilgore & Curtis, 1987; Wade & Lunsford, 1989 citados por Artus *et al*, 1997):

- Temperatura del aire < 20° C
- Humedad relativa del aire: 35 – 50 %
- Humedad del combustible fino: 10 – 20 %
- Velocidad del viento: 2-6 km/h

En el cuadro 13 se presentan las condiciones recomendadas por ICONA (1987) para lograr una quema de matorral y monte bajo efectivas con bajo riesgo de incendio.

Cuadro 13. Condiciones meteorológicas para lograr una quema efectiva de matorral y monte bajo.

Condición	Baja intensidad	Alta intensidad
Humedad relativa del aire (%)	58	26
Temperatura del aire (°C)	5	30
Velocidad del viento (km/h)	0	15
Humedad del combustible menudo (%)	10	6

Es posible que algún factor exceda los valores de alta intensidad cuando se compensa con otro factor que está por debajo del nivel de baja intensidad. Habría que considerar por ejemplo: la cantidad y estado del combustible, la pendiente, la extensión de la quema, la dificultad de defender los terrenos colindantes, tamaño de los cortafuegos y la humedad del suelo (ICONA, 1987; Artus *et al*, 1997; Batista & Soares, 1997).

Las llamas no deben superar los 30 a 50 cm de altura, por lo que el fuego debe desarrollarse en contra del viento o ladera abajo (ICONA, 1987). Según Wade & Johansen (1986) citado por Artus *et al* (1997) el largo de llama sugerido para una quema prescripta para reducir combustibles finos bajo dosel es < 1 m y preferentemente entre 30 y 80 cm. La intensidad lineal resultante de este tipo de fuego es menor a 300 kW/m, la cual es tolerada por la mayoría de las especies de pino comerciales de más de 7 años de edad.

El momento más adecuado para realizar estas quemas es a finales del invierno o en la primavera, cuando el mantillo está húmedo, incluso se recomienda que haya llovido de uno a tres días antes de la quema (ICONA, 1987). Artus *et al*

(1997) sugieren realizar las quemas prescritas debajo de dosel de pinos, luego de una lluvia de 20 mm, para evitar daños al ecosistema.

Según Batista & Soares (1997) si se pretende reducir la acumulación de combustible a través de la quema controlada, no es imprescindible cubrir el 100% del área, ya que el objetivo es quebrar la continuidad del combustible, por lo que generalmente basta con reducir el combustible en una superficie que sea el 75-80% del área total. La cantidad de combustible consumido por el fuego en una quema controlada varía entre 50-90% del material menor a 7,6 cm. Soares (2000) recomienda quemas controladas para reducir la cantidad de combustible en la periferia de las áreas forestales y en los lugares que son limítrofes con zonas de alto riesgo para obtener fajas desprovistas de combustible que impiden la penetración de incendios provenientes de afuera.

En Uruguay no existe una legislación que prevea o regule un calendario de quemas controladas (Baptista, 1998). Según el artículo 11º del Decreto Reglamentario 849/988 es obligación avisar al destacamento de bomberos, comisaría o destacamento de policía más próximo y al propietario del predio con bosque lindero, previamente a efectuar quemas de campo, de residuos forestales, agrícolas o de cualquier otra índole. El edicto de policía del fuego publicado anualmente restringe el uso del fuego en todo el país entre el 1º de diciembre y el 24 de abril, quedando prohibida toda iniciación de fuego y quemas de campo en todo predio forestado del país (Uruguay-DNB, 1999). Según Damerow (1994), en Uruguay deberían estar prohibidas las quemas de campo entre las 11:00 am y las 5:00 pm entre el 15 de diciembre y el 15 de marzo y especialmente en los meses de enero y febrero. Por lo que las quemas de campo durante este período deberían quedar restringidas a las horas del atardecer. Esta prohibición implicaría la difusión de mensajes recordatorios a través de la radio, carteles y folletos. Damerow (1994) considera que un sistema de quemas autorizadas donde se emiten permisos que definen el momento y el tipo de quema autorizada, no sería necesario, hasta el momento, para Uruguay, mientras no se incrementen sustancialmente los incendios originados por las quemas de campo o de residuos y mientras no se identifique dicha causa como significativamente responsable de los incendios forestales.

2.3.3. Efecto de la especie

No existen especies vegetales resistentes al fuego, porque todos los tejidos vegetales a determinada temperatura mueren (ICONA, 1981). A su vez, Bianchi et al (1997) afirman que el daño que el fuego ocasiona depende de cada especie y de cada individuo. Según Quintillán & Tamburi (1994) la constitución de la masa boscosa influye tanto en el número de incendios como en el grado de expansión del fuego. El grado de combustión, que es consecuencia de la facilidad intrínseca de arder y la velocidad de propagación, varía de una especie a otra.

Existen especies que si bien no son resistentes al fuego, las formaciones vegetales a las que pertenecen forman una barrera contra el fuego (barrera física y no biológica). Pueden ser ejemplos las formaciones en galería o las praderas naturales cuyas especies características son higrófilas, es decir que están acostumbradas a vivir en zonas con abundante humedad freática (Nicolás, 2000). Las masas de frondosas higrófilas retienen la humedad en el mantillo que forman y contribuye a retardar el avance del incendio, mueren las plantas que estaban delante, pero se salva el resto. Esto no se puede lograr en cualquier sitio; debe ser un lugar suficientemente húmedo. Ejemplos de especies que pueden reunir estas características son: los álamos (*Populus sp.*), los sauces (*Salix sp.*), los fresnos (*Fraxinus sp.*), los plátanos (*Platanus sp.*), *Quercus robur*, *Castanea sativa*, *Fagus sylvatica* y *Betula alba* (Quintillán & Tamburi, 1994; ICONA, 1981).

Existen plantas adaptadas al fuego en su regeneración y son llamadas pirofitas, que se pueden clasificar en (ICONA, 1981):

- Pirofitas pasivas: las que arden mal gracias a ciertas características químicas o a su gruesa corteza, por ejemplo, alcornoque (*Quercus suber*). En general, los árboles con menor espesor de corteza y de corteza con constitución más blanda son más susceptibles al fuego. La estructura de la corteza varía con la especie, edad y en particular con la época del año (Bianchi *et al.*, 1997).
- Pirofitas activas, de reproducción vegetativa: las que poseen rizomas o echan brotes estimulados por el fuego (numerosísimas especies del sotobosque mediterráneo, los eucaliptos, etc.);
- Pirofitas activas, de reproducción por semillas: las que su propagación se ve favorecida al ser abiertos sus frutos por el calor (eucaliptos y algunos pinos). El fuego también acelera la germinación de algunas especies, tal es el caso de la *Acacia longifolia* (Padula, 1992).

El lupino, las salicáceas, la acacia blanca, el olmo y el fresno, así como las herbáceas *Bromus*, *Festuca*, *Santolina*, *Lolium*, *Phalaris* y *Agropyron* son recomendables para implantar en áreas cortafuegos, por ser especies resistentes al fuego (SAGyP-INTA, 1994 citados por Zucchini & Irigoien, 1999). Nicolás (2000) comparte que hay que hay especies pirofitas por su baja inflamabilidad debido a barreras físicas o a ciertas características químicas por ejemplo sales en *Tamarix*, en *Atriplex* las sales minerales impiden la salida al exterior de gases inflamables que actúan como ignífugo inhibitorio; por su capacidad de reproducción vegetativa (ej. *Quercus*); o por poseer órganos reproductivos adaptados al fuego (*P. pinaster* y *P. halepensis*).

2.3.3.2. Género Pinus

En España la frecuencia de incendios en masas de coníferas es diez veces mayor que en masas de frondosas, aún cuando éstas últimas producen mayores volúmenes de despojos, al estar en lugares más húmedos generalmente, la descomposición de los mismos es mucho más rápida (ICONA, 1981). Las coníferas

presentan alto contenido de resina o aceites en las hojas aciculares, contribuyendo de esta forma a la rápida quema (Uruguay-Dirección Forestal, 2000b).

Quintillán & Tamburi (1994) afirman que los bosques de coníferas son más propensos a arder que los bosques de latifoliadas. Según Soares (2000) las plantaciones de coníferas son más inflamables que los eucalyptus y otras frondosas y son más susceptibles a los incendios de copa. En la zona costera del Sur Este de nuestro país donde son muy frecuentes los incendios en verano, las especies dominantes son *Pinus pinaster* y *Acacia longifolia*, las cuales carecen de manejo y es común que exista continuidad horizontal y vertical del combustible, lo que favorece la propagación del fuego y que éste suba a los árboles e inicie un incendio de copas (Baptista, 1998; Soares, 2000).

Sarasola *et al* (2001) sostiene que desde la introducción en 1885 del *Pinus pinaster*, la *Acacia longifolia* y varias especies del género *Eucalyptus* (siendo el *Pinus pinaster* el que predomina en la región) en toda la costa este de nuestro país (desde Montevideo al Chuy), el principal disturbio que afecta este ecosistema costero son los incendios forestales.

En el trabajo titulado "Diagnóstico de los ecosistemas boscosos costeros del Uruguay" realizado por Sarasola *et al* (2001) se clasificaron los bosques costeros en tres grandes grupos: Pinares, Eucaliptales y Acaciales (los dos últimos grupos se describen más adelante). En el grupo Pinares (especie *Pinus pinaster*) se distinguieron subgrupos de alta y baja densidad. Los de alta densidad oscilan entre los 800 y 1000 arb/ha y presentan generalmente un sotobosque de Acacias con una densidad promedio de 300 a 800 individuos/ha. Este ecosistema de Pinares con sotobosque de Acacia (*Acacia longifolia*) presentó una carga promedio de combustible superficial fino que iba de 10 a 23 ton/ha, encontrándose también Pinares y Acaciales de alta densidad que presentaron una carga de combustible forestal superficial promedio de 47 ton/ha, superior al resto de los ecosistemas boscosos de la costa este de Uruguay. El grupo de Pinares de baja densidad se caracterizó por densidades de 100 a 200 arb/ha y por formar parte de bosques mixtos de *Pinus pinaster*, *Acacia longifolia* (con densidades de 100 a 500 arb/ha) y *Eucalyptus spp* y tener una carga de combustible forestal superficial fino de entre 5 y 21 ton/ha.

2.3.3.3. Género Eucalyptus

Dada la frecuencia de incendios forestales espontáneos en Australia las distintas especies han desarrollado varios mecanismos de adaptación. Las especies del género *Eucalyptus* presentan un crecimiento rápido que hace que pierdan temprano las ramas bajas, dificultando de este modo el traslado del fuego hacia la copa. Las especies que presentan corteza fibrosa o semifibrosa tienen la particularidad que los fragmentos de corteza incandescente pueden ser arrastrados por el viento lo cual dificulta el combate del incendio (Brussa, 1994; Quintillán & Tamburi, 1994). En las especies de *Eucalyptus*, el grosor de la corteza es lo que aporta su capacidad protectora actuando como aislante térmico incluso en especies de comportamiento caduco. La corteza varía notablemente en morfología y

contenido de humedad, su grosor varía entre especies y aumenta con el diámetro del árbol. Un fuego avanzando en la pastura alta del cortafuego, puede llamear por unos segundos y afectar la copa, pero el tronco protegido por corteza gruesa, queda indemne. Muchas especies de *Eucalyptus* presentan gruesas cutículas en sus hojas (Brussa, 1994; Uruguay-Dirección Forestal, 2000c).

Otra adaptación de este género es la presencia de yemas axilares latentes y producción de brotes epicórnicos si el fuego hubiera afectado ramas secundarias y brotes. A su vez, son capaces de una gran producción de semillas fértiles a partir de frutos que maduran luego de un incendio, lo que da lugar a una importante regeneración natural, como se ha dado en Uruguay con el *Eucalyptus globulus* (Brussa, 1994). Sarasola *et al* (2001) distinguieron en la costa este uruguaya un ecosistema que lo denominaron Eucaliptal el cual se caracteriza por presentar densidades promedio de 800 árboles/ha asociados a Acaciales compuestos por la *Acacia longifolia* de 300 árboles/ha promedio y una acumulación de combustible forestal superficial promedio de 16 ton/ha, con valores mínimos de 8 ton/ha y máximos de 35 ton/ha.

Los bosques implantados con fines comerciales no habían registrado hasta la temporada estival de 1999-2000 incendios catalogados como de "gran magnitud" en relación con la superficie afectada, a diferencia de la zona turística costera. Dicha temporada estival se caracterizó por condiciones de sequía que contribuyó a que se produjera un incendio en el Departamento de Paysandú, donde se quemaron unas 1200 ha de bosques de *Eucalyptus* (Quintillán & Torres, 2001).

2.3.3.4. Género Acacia

El incendio forestal más grave registrado en Uruguay, ocurrido en el Parque Nacional de Santa Teresa, se originó en un monte de acacias carente de manejo extendiéndose luego, a montes de pinos y eucalyptos también carentes de manejo (Bianchi *et al*, 1997). En la zona litoral sur del país (zona turística costera) en dunas costeras prospera con vigor la *Acacia longifolia* también conocida como *Acacia trinervis*, la cual presenta un buen poder calorífico y aparece junto al *Pinus pinaster* y otros pinos que se plantan con igual finalidad en segunda línea (Padula, 1992). En muchas zonas de bosques costeros del este de Uruguay que han experimentado incendios se observa la sustitución del bosque por densos matorrales de *Acacia longifolia* sin que disminuya la susceptibilidad a futuros incendios (Sarasola *et al*, 2001).

Sarasola *et al* (2001) han definido como Acacial a los bosques formados casi totalmente por *Acacia longifolia* ubicados a lo largo de la costa este de Uruguay. Estos Acaciales pueden estar asociados a Pinares o Eucaliptales o pueden formar bosques puros. Cuando forman parte de ecosistemas de Pinares y Eucaliptales frecuentemente existen claros entre los árboles y las acacias presentan diámetros gruesos y alturas que generalmente superan los 3 metros, mientras que cuando ocupan el sotobosque de Pinares de alta densidad presentan menor porte. Los acaciales puros alcanzan densidades promedio de 4.300 arb/ha lo que lleva a que presenten troncos de diámetro más fino y constituyan un bosque o matorral alto de

muy difícil acceso haciendo muy dificultoso el combate de incendios. Por otro lado, producen la menor acumulación de combustible superficial fino de todos los grupos de vegetación del ecosistema costero Este del Uruguay con una carga de 7 ton/ha.

2.3.3.5. Bosque nativo

Una plantación forestal presenta mayor inflamabilidad y mejores condiciones para la propagación del fuego que un bosque nativo (Batista & Soares, 1997 & Soares, 2000). El tipo de cubierta vegetal condiciona el ambiente y las propiedades de los combustibles, por lo que una forestación densa y cerrada a diferencia de una rala y abierta determina un microclima tal que los combustibles presentan un contenido de humedad mayor y más estable, haciendo que el fuego se propague con menor facilidad (Batista & Soares, 1997). Las masas forestales compuestas por diversas especies son las que mejor se defienden frente al fuego, así como también las formaciones en galería constituyen barreras físicas contra el fuego (ICONA, 1987; Quintillán & Tamburi, 1994; Soares, 2000). Incluso hay propuestas de utilizar fajas permanentes o cortinas compuestas por especies arbóreas de latifoliadas nativas en los márgenes de las plantaciones forestales para dificultar la propagación del fuego (Magro, 1997 citado por Uruguay-Dirección Forestal, 2000a). Sin embargo, Sarasola et al (2001) considera que el bosque psamófilo está desapareciendo debido a la actividad del hombre y que los incendios forestales podrían estar contribuyendo con su destrucción.

2.3.3.6. Vegetación herbácea

Las plantas leñosas son las más peligrosas en los incendios por la gran cantidad de energía que liberan y porque puede producir pavesas (fragmentos pequeños que saltan de una materia inflamada y se convierten en ceniza) que salten y provoquen fuegos secundarios. En cambio, las herbáceas anuales si bien son peligrosas para la iniciación de los incendios, son menos importantes para la propagación de los mismos (ICONA, 1987). En las áreas de pasturas contiguas a bosques húmedos tropicales, la temperatura es hasta 10°C más alta que en los bosques y la humedad relativa decrece de 86% a 51%, aumentando la velocidad de propagación del fuego (UHL et al citado por Uruguay-Dirección Forestal, 2000a).

Al principio de la estación seca, después que la vegetación herbácea ha madurado y semillado, la hierba seca proporciona la continuidad de combustible necesaria para que corra el fuego. Con el propósito de mantener baja la acumulación de biomasa en las áreas cortafuegos y al mismo tiempo reducir la necesidad de un cuidado continuo sin tener que dejar el suelo desnudo, se pueden crear pastizales en zonas húmedas (ICONA, 1987).

2.3.4. Modelos de combustible

La misma especie vegetal puede presentar niveles completamente distintos de riesgo de incendios, debido a que el comportamiento del fuego depende principalmente de la morfología de la vegetación (altura, densidad, compactación, relación entre individuos muertos y vivos), fisiología (contenido de aceites, contenido de humedad) o de la continuidad horizontal y vertical, y no depende tanto de la especie vegetal (Aguado, 1999).

Un modelo de combustible es un conjunto de descriptores numéricos que caracteriza un determinado complejo de combustible, y son utilizados para ingresar las características de los complejos de combustible, a los modelos matemáticos de predicción de comportamiento del fuego (Dentoni & Muñoz, 2001). La sistematización y creación de grupos de combustibles (modelos de combustibles) facilita el estudio del comportamiento del fuego, y por lo tanto, permite prever cual será el comportamiento en una zona determinada (Bardaji & Molina, 1998). La mayoría de los modelos de combustible fueron desarrollados considerando que la regla son los incendios de superficie, por lo que dentro de un área forestada, consideran principalmente las características debajo del dosel, sobre la superficie del suelo (Aguado, 1999).

Richard C. Rothermel definió 13 modelos de combustibles forestales que se ajustan a la mayoría de las situaciones de EEUU, los cuales han sido adoptados por algunos países europeos, entre ellos España (Bardaji & Molina, 1998). El método de Rothermel divide los modelos en cuatro grupos (Pardo, 2000):

- Pastos: cuando el fuego se propaga principalmente por el pasto, y le corresponde a los modelos 1, 2 y 3;
- Matorral: cuando el fuego se propaga principalmente por el matorral o por la hojarasca debajo del matorral, y le corresponde a los modelos 4, 5, 6 y 7;
- Hojarasca bajo arbolado: cuando el fuego se propaga principalmente por la hojarasca debajo del arbolado, y corresponde con los modelos 8, 9 y 10;
- Restos de corta y operaciones silvícolas: cuando el fuego se propaga principalmente por los restos de corta o de tratamientos silvícolas, y corresponde con los modelos 11, 12 y 13.

También existen otras clasificaciones de modelos de combustibles forestales, como ser la National Fire Danger Rating System (NFDRS) de Estados Unidos o la Forest Fire Behavior Prediction (FBP) de Canadá (Aguado et al, 1999).

Pardo (2000) en el "Plan de protección contra incendios forestales para la Reserva Forestal de Cabo Polonio y Aguas Dulces" se basó en los modelos de Rothermel y asignó los modelos 1, 2, 3, 4, 6, 9 y 10 en base a los siguientes criterios:

Modelo1:

- Cortafuegos en la época estival, con pasto seco

Modelo2:

- Pinar raleado y podado, sin matorral, sin pinocha abundante en el suelo y sin restos de cortas.
- Eucaliptar raleado en el que se ha hecho la selección de rebrotes, sin restos de la corta

Modelo3:

- Pajonal circundante a una laguna.

Modelo4:

- Pinar o eucaliptar raleado con regeneración de más de 2 m de altura.
- pinar o eucaliptar raleado con invasión de acacia
- pinar o eucaliptar sin raleo ni poda, con ramas muertas desde la base
- monte bajo de eucalipto sin selección de rebrotes
- mezcla de pinar achaparrado y acacia en los rodales costeros
- masas de acacia
- pinar sin poda con desechos de raleos acordonados por calles

Modelo 6:

- cortafuegos invadidos por chirca de monte

Modelo 9:

- pinar o eucaliptar con poda baja, sin sotobosque y con abundante pinocha u hojarasca en el suelo

Modelo 10:

- pinar o eucaliptar podado con desechos de raleo

La asociación a un rodal de un modelo de combustible no es una foto fija que perdure en el tiempo, sino que va cambiando con el estado silvícola de la masa, y por tanto, varía con el paso del tiempo, se haya o no actuado en la masa. Esto es tener muy en cuenta a la hora de aplicar estos modelos de combustible en la predicción del comportamiento del fuego (Pardo, 2000).

La sistematización en 13 modelos presenta la gran ventaja de poder reunir con un sólo número las características más importantes de una formación combustible, pero presenta limitaciones, debido a que la gran heterogeneidad de los montes origina multitud de variantes de algunos de los modelos establecidos. La heterogeneidad se aprecia fundamentalmente en aspectos de inflamabilidad y porcentaje de combustible muerto, por lo que, cada situación requiere una

“adaptación” particular de estos modelos. Dos formaciones vegetales clasificadas bajo un mismo modelo de combustible pueden originar dos modos de propagación bien distintos, entonces se propone subdividir los modelos de combustible en dos submodelos: xérico (menor humedad) y méxico (más humedad). Las variables utilizadas para distinguir entre submodelos fueron: sombreado, continuidad vertical altitud y exposición (orientación de la ladera); que no hacen más que diferenciar entre el combustible disponible, que es el que arde y se consume en un incendio, y el combustible restante que es la fracción de combustible que no está en condiciones de quemarse (Bardaji & Molina, 1998).

A la cubierta arbórea menor o igual a 75% (menor sombra) se le adjudica la categoría de xérico, en cambio a más de 75% la categoría de méxico. En cuanto a la continuidad vertical de combustibles, si ésta es nula, se considera méxico, si es local se considera intermedio y si es general, se considera xérico. Con respecto a la variable altitud el criterio fue considerar todos los modelos ubicados a 725m de altitud o menos como xéricos y a los ubicados a más de 725m de altura como méxicos (Bardaji & Molina, 1998). Con respecto a la variable altitud, Almeida (1994) coincide en que la influencia de la altura es solamente significativa por encima de los 700m, debido a que hay diferencias importantes en el porcentaje de oxígeno y de temperatura. La orientación de la ladera describe hacia qué punto cardinal mira la topografía en cada sitio, lo cual determina la cantidad de horas de radiación directa que puede recibir cada lugar y por ende la cantidad de calor (Fernández & Resnichenko, 2000). En una montaña se pueden definir dos laderas, una umbría que es más húmeda y fría y otra solana que es más seca y cálida. En el hemisferio sur corresponden a la ladera sur y norte respectivamente (García de Pedraza & García Vega, 1987). Por su parte Fernández & Resnichenko (2000) coinciden en que la ladera norte y la sur son las de mayor y menor riesgo de incendios respectivamente, pero consideran que la ladera orientada hacia el oeste tiene mayor riesgo que la orientada hacia el este. Sin embargo, Pereyra *et al* (2001) estima que la exposición al sol no es un factor de gran relevancia relativa para el riesgo de incendios.

2.3.5. Meteorología

2.3.5.1. Humedad Relativa

La humedad relativa es el elemento más empleado para medir el contenido de humedad de la atmósfera cuando se trata de evaluar el peligro de incendios (Artus *et al*, 1997). La humedad relativa sirve como indicador de la dificultad para combatir los incendios, cuando ésta presenta valores de 30% o menos resulta muy dificultoso el combate de un incendio. La humedad relativa del aire es uno de los factores más importantes en la propagación de los incendios forestales, sobretodo en regiones donde la ocurrencia de incendios se da principalmente en invierno (Soares & Batista, 1997).

El momento más fresco y húmedo del día, se registra de madrugada (alrededor de las 6 am, hora solar) y la temperatura máxima, es decir el período más seco y cálido de la jornada se da entre las 3 y 5 pm, hora solar. La mayoría de

los incendios y particularmente los más importantes comienzan entre las 11:00 am y las 5:00 pm, lo cual coincide con el momento en que la temperatura y el viento son mayores y la humedad relativa es baja (Damerow, 1994), aunque la humedad relativa tiene una gran variabilidad espacial y temporal (Artus *et al*, 1997). ICONA (1987) sostiene que en España, en invierno los combustibles, principalmente los pesados, tienen alto contenido de agua por lo que no arden ni favorecen la propagación del fuego. La velocidad con que el agua se evapora desde una superficie muy húmeda, depende principalmente de la velocidad del aire y de la humedad relativa del aire (Bianchi *et al*, 1997). Cuanto más baja es la humedad relativa del aire, más rápida es la velocidad de secado del combustible (Tuset & Duran, 1979).

La cantidad de humedad que un material muerto puede retener depende básicamente de la humedad relativa del aire dado que existe un intercambio continuo de vapor de agua entre la atmósfera y el material combustible. El material seco absorbe agua de una atmósfera húmeda y libera agua cuando el aire está seco. Durante períodos muy secos se puede afectar incluso el contenido de humedad del material vivo (Soares & Batista, 1997). Tuset & Duran (1979) definen el equilibrio higroscópico como el contenido de humedad (inferior al punto de saturación de las fibras) en determinada pieza de madera, donde ésta no cede humedad a la atmósfera ni tampoco la incorpora desde aquella. Si bien, la madera no llega nunca a un estado de equilibrio total dado que la humedad relativa y la temperatura son dinámicas, es útil conocer los valores normales del contenido de humedad de equilibrio higroscópico de las distintas zonas para saber el nivel de humedad que buscará la madera a la intemperie. Como se observa en el cuadro 14, es posible estimar aproximadamente el contenido de humedad del combustible fino muerto a partir de la humedad relativa (Artus *et al*, 1997):

Cuadro 14. Estimación del Contenido de Humedad (CH) del combustible fino a partir de la Humedad Relativa (HR), con descripción del comportamiento del fuego (Adaptado de Artus *et al*, 1997).

HR (%)	CH (%)	Comportamiento del fuego
100	30	El fuego no puede propagarse aún bajo luz solar directa
> 40	-	En una quema prescripta, el peligro de pavesas es mínimo
> 30	15	Ideal para una quema prescripta
40 - 20	-	Los combustibles finos queman fácilmente
-	> = 11	En una quema prescripta, los escapes de fuego son raros
< 20	-	En una quema prescripta, aumenta el peligro de pavesas

Según De Castro (2002) en el departamento de Tacuarembó (Uruguay) rollizos verdes y descortezados de 10 a 20 cm de diámetro y de 1m de largo de *Eucalyptus maidenii* demoran en promedio 237 días en alcanzar el CHE (Contenido de Humedad de Equilibrio, en base seca), en cambio los mismos rollizos pero de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus grandis* demoran un promedio de 180 y 131 días respectivamente. Por su parte, tablas verdes de 38 mm de espesor por 150 mm de ancho por 600mm de largo demoran en promedio 90, 76 y 60 días en alcanzar el CHE para *E.grandis*, *P.elliottii* y *P.taeda* respectivamente. En el cuadro 15 se puede apreciar diferencias en el CHE entre los distintos sitios, mientras que para *E.grandis* el rango va de 15% a 17,3%, en las especies de pino el rango es de 17,1% a 20,1%, se aprecia que los valores mínimos se dan en Montevideo y los máximos en Paysandú. Al considerar un promedio general de todos los sitios, el CHE de los pinos es un 2,1% superior al de *E.grandis*.

Cuadro 15. Contenido de Humedad de Equilibrio (%) para el período agosto del 2000 a febrero del 2002 para seis departamentos de Uruguay (De Castro, 2002).

CHE promedio para el período: agosto 2000 - febrero 2002		
Tablas verdes de 38x150x600 mm		
Sitios	<i>Pinus taeda y elliottii</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>
Rivera	17,2	16,5
Paysandú	20,1	17,3
Tacuarembó	19,9	16,9
Soriano	18,1	16,5
San José	18,8	s/d
Montevideo	17,1	15,0

2.3.5.2. Precipitaciones

El fuego es la mayor causante de daños de los bosques de todo el mundo con la excepción de las zonas tropicales lluviosas. La importancia de las lluvias es debido a que mantienen el combustible húmedo, dificultando o haciendo imposible el inicio y la propagación del fuego (Batista & Soares, 1997). En febrero de 1997, se produjo un incendio en la Reserva de Fauna del cerro Pan de Azúcar que en tres días alcanzó las 1.100 hectáreas quemadas, y que finalmente se detuvo gracias al comienzo de las lluvias (Batista & Soares, 1997; El Observador 05/02/97 citado por Baptista, 1998).

Batista & Soares (1997) resaltan que el período normal de peligro de incendios, es decir, los meses del año en que se producen más cantidad de incendios son principalmente dependientes del clima, caracterizado por la frecuencia y distribución de las lluvias y el efecto de estas sobre la vegetación. No se debe considerar únicamente la cantidad de precipitación anual sino también su distribución estacional, hay regiones donde la estación lluviosa se concentra en algunos meses y hace que exista una estación seca definida que determina condiciones extremadamente favorables para los incendios. Hay regiones donde la precipitación es uniforme durante todo el año –como es el caso de Uruguay-,

entonces lo que marca la mayor susceptibilidad a la ocurrencia de incendios es la evapotranspiración.

El índice de Nesterov corregido por el servicio meteorológico polaco es el Índice Meteorológico de Riesgo de Incendios empleado por la Dirección Nacional de Meteorología, el cual considera tanto la cantidad de lluvia, como la temperatura y humedad relativa, los cuales son los principales elementos meteorológicos que inciden en Uruguay en el aumento de las probabilidades de ignición de la masa vegetal. Más del 50% de los incendios forestales en Uruguay ocurren cuando éste índice meteorológico de riesgo de incendio forestal, tiene valores entre 1001 y 4000, lo cual corresponde a la categoría: Gran peligro de incendios (cuadro 16). Se presume que la mayoría de los incendios forestales no coinciden con valores mayores a 4000 (categoría de peligro máximo) debido al mayor cuidado de la población en no provocar focos ante el conocimiento de otros casos (Sequeira *et al*, 1994).

Cuadro 16. Escala modificada (Servicio Meteorológico Polaco) del índice de Nesterov y el porcentaje de ocurrencia de incendios forestales (Sequeira *et al*, 1994).

Valor del índice	Calificación	% de incidencia en Uruguay
0 a 300	No hay peligro	2
301 a 500	Peligro escaso	2
501 a 1000	Peligro medio	8
1001 a 4000	Gran peligro	56
Mayor a 4000	Peligro máximo	32

Una serie de días consecutivos sin llover y temperaturas elevadas producen sequedad del ambiente. Los mayores valores del índice se alcanzan cuando la temperatura del aire es superior a los 35°C y la humedad relativa es de 40% (o bien la diferencia de temperatura entre el aire y la temperatura en el punto de rocío supera los 15°C), y sobre todo cuando han transcurrido más de 20 días sin lluvia (García de Pedraza & García Vega, 1987). Batista & Soares (1997) sostienen que existe una fuerte correlación entre la ocurrencia de grandes incendios y períodos de sequía.

2.3.5.3. Viento

El estado del tiempo incide sobre el fuego, tanto en su inicio como en su comportamiento potencial, siendo las variaciones en el contenido de humedad del combustible y en el viento los elementos más importantes (Aguado *et al*, 1999). El viento es el principal propagador de los incendios aportando el oxígeno del aire y desplazando en su dirección a las llamas, chispas y pavesas (García de Pedraza & García Vega, 1987). La importancia de este elemento se evidencia en el edicto de

policía del fuego que prohíbe la realización de quemas los días de viento (Uruguay-DNB, 1999).

Según Soares & Batista (1997) el viento puede afectar el comportamiento de un incendio forestal de las siguientes maneras:

- Es el principal responsable de la dirección de propagación del fuego;
- Acerca las llamas hacia los combustibles que todavía no fueron quemados;
- Auxilia la reacción de combustión con el aporte de oxígeno;
- Transporta materiales encendidos hacia otros lugares;
- Favorece a través de vientos suaves a los materiales en brasa a dar inicio al fuego;
- Acelera el proceso de secado del combustible desplazando el aire cargado de humedad.

El viento es uno de los elementos meteorológicos más variables por lo que resulta muy difícil predecir su comportamiento (Artus *et al.*, 1997). La dirección y velocidad del viento varía en función de la hora del día, situación topográfica, tipo de vegetación, estado del tiempo (situación sinóptica) y cercanía a la costa (García de Pedraza & García Vega, 1987). Los cambios en dirección y velocidad del viento son más frecuentes en las horas centrales del día (Martínez Ruíz, 1996).

Existen regiones donde se producen vientos dominantes, los cuales pueden caracterizarse por tener baja o alta humedad relativa (Tuset & Duran, 1979). Los vientos que proceden del mar son húmedos por lo que traen nubes y pueden dar lluvias, por el contrario los vientos continentales presentan cielos despejados, olas de calor y marcada evapotranspiración. El viento en el mar circula a mayor velocidad de lo que lo hace en tierra debido al rozamiento que le ofrece el suelo y la vegetación, por lo que al pasar del mar a la tierra su velocidad disminuye. (García de Pedraza & García Vega, 1987). Si una plantación forestal es cerrada (las copas se tocan) los vientos a 1,5 m de altura rara vez exceden los 8 – 10 km/h (Artus *et al.*, 1997). Los picos y valles conducen el viento que tiende a encajonarse en las quebradas (ICONA, 1987). Las montañas y valles modifican la circulación de los vientos, los valles cerrados refuerzan la velocidad del viento, a su vez, al aumentar la altura, aumenta la velocidad del viento y en la cima de las montañas al estrecharse el flujo del viento aumenta aún más la velocidad (García de Pedraza & García Vega, 1987).

Las diferencias locales de temperatura, pueden crear diferencias de presión y dar origen a vientos locales y el incendio forestal obedece frecuentemente a vientos locales (García de Pedraza & García Vega, 1987). Tal es el caso de la brisa de mar y tierra, que viene a ser un viento convectivo que se desarrolla debido al calentamiento diferencial entre el agua y la tierra. Durante el día, el aire se desplaza desde el mar hacia el continente y por la noche esta circulación se invierte (Dentoni & Muñoz, 2001). Entre el valle y la cima de las montañas ocurre que durante el día el sol calienta las laderas y establece un viento ascendente desde el valle; por la noche se enfría el valle y el viento desciende desde la cumbre (García de Pedraza & García Vega, 1987; Dentoni & Muñoz, 2001).

Menos evidentes, pero igualmente importantes son los movimientos "verticales" del aire que determinan el grado de estabilidad atmosférica. Una atmósfera "inestable" significa que se están desarrollando movimientos verticales del aire, lo cual se da frecuentemente en días despejados y con vientos suaves o en calma lo que produce un comportamiento del fuego más errático y difícil de controlar (Artus *et al*, 1997).

2.3.5.4. Temperatura del aire

La superficie del suelo y los combustibles vegetales que se encuentran sobre el suelo intercambian permanentemente calor con el aire que está en contacto con ellos (Artus *et al*, 1997). Tuset & Duran (1979) afirman que el secado de la madera mejora en la medida que aumenta la temperatura del aire, debido a que se logra un nivel de equilibrio higroscópico menor y se acelera la circulación de la humedad en el interior de la madera. Cuanto más caliente está el aire y el material combustible, entonces se requiere menor cantidad de calor para iniciar y continuar el proceso de combustión. A mayores temperaturas de la vegetación aumenta la probabilidad de ocurrencia de focos secundarios (Batista & Soares, 1997; Artus *et al*, 1997).

Si bien el comportamiento del fuego está directamente relacionado con la temperatura, la mayoría de sus efectos son indirectos (Batista & Soares, 1997). La temperatura del aire y sus variaciones temporales y espaciales desencadenan otros fenómenos atmosféricos que tienen un efecto importante sobre el comportamiento del fuego, tal es el caso del desarrollo de una columna de convección, o la determinación de la dirección y velocidad de propagación del fuego (Artus *et al*, 1997). La temperatura tiene un comportamiento inverso al de la humedad relativa. Para un determinado contenido de vapor en la atmósfera, cada 10° C que disminuye la temperatura, la humedad relativa se duplica y a su vez, por cada 10° C que aumenta la temperatura la humedad relativa disminuye a la mitad. En la medida que la temperatura se eleva, aumenta la cantidad de vapor que puede retener el aire antes de saturarse (García de Pedraza & García Vega, 1987).

2.3.5.5. Descargas eléctricas

En Uruguay la inmensa mayoría de los incendios se deben a negligencias humanas. La eventualidad de que un rayo actúe como factor desencadenante es poco probable (Baptista, 1998). De todos modos, las descargas eléctricas son el único fenómeno meteorológico que puede causar directamente un incendio. Su efectividad depende del contenido de humedad del combustible. En muchos casos es un árbol muerto en pie o un tocón seco que arde sin llamas y que puede pasar inadvertido durante bastante tiempo, con la posibilidad de que luego un viento lo avive. Generalmente los rayos actúan como agentes desencadenantes cuando se está en situación de tormenta seca, con la base de la nube relativamente alta, apareciendo un espeso estrato de aire cálido y seco entre la superficie y la base de la nube, pero con una notable diferencia de potencial eléctrico (García de Pedraza & García Vega, 1987).

2.3.6. Suelos

En suelos con alto contenido de materia orgánica, como son los suelos forestales, bajo determinadas circunstancias entran en combustión fácilmente, originando incendios subterráneos. De hecho, el horizonte O₂ (humus) que está ubicado entre el suelo mineral y la hojarasca es considerado combustible forestal superficial. Los incendios subterráneos producen intenso calor que ocasionan daños graves en raíces de árboles y queman la materia orgánica acumulada por cientos de años. Estos incendios se caracterizan por arder con poca presencia de oxígeno, por lo que producen poco humo, sin llama y se propagan lentamente por un considerable período de tiempo, siendo muy difíciles de detectar y pueden originar incendios superficiales (Batista & Soares, 1997; Artus *et al*, 1997; Daubenmire, 1990 citado por Uruguay-Dirección Forestal, 2000b; Dentoni & Muñoz, 2001).

En un incendio, los suelos se calcinan, por lo que se modifica su estructura, color y poder de retención del agua (García de Pedraza & García Vega, 1987). Suelos con colores más oscuros presentan una desecación más intensa de las capas superiores. La falta de sombra en el suelo hace que éste se caliente y se enfríe en mayor grado, generando variaciones de temperatura diarias más amplias que bajo una cubierta y que la temperatura del suelo sea 7°C superior a la de un suelo sombreado, debido a la mayor penetración de radiación solar (Daubenmire, 1990 y Franca & Poggiani, 1996 citados por Uruguay-Dirección Forestal, 2000b).

2.4. DETERMINACIÓN DE ZONAS DE RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES UTILIZANDO UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

A partir del análisis de las variables que inciden en el riesgo de incendios forestales, es posible establecer grados o niveles de riesgo en función de la mayor o menor incidencia de cada variable sobre la ignición y la propagación del fuego en cada área considerada. Por lo que es posible construir mapas temáticos de riesgo de incendios para determinada región considerando las variables que inciden en el riesgo de incendios forestales. Ejemplos de mapas temáticos puede ser un mapa de topografía del terreno, mapa con los tipos de vegetación, mapa del nivel de incidencia antrópica y mapa basado en las condiciones meteorológicas. La superposición de varios de estos mapas temáticos permite generar un mapa de riesgo de incendios forestales que considera varias variables que inciden en el riesgo de incendios ponderadas según su importancia relativa (Batista, 2000). Los mapas de riesgo de incendios forestales buscan diferenciar áreas con riesgos homogéneos en una determinada región de trabajo (Vettorazzi *et al*, 2001).

Los mapas de riesgo de incendios y la distribución del riesgo en el espacio son empleados cada vez más como instrumentos fundamentales para la planificación de los recursos destinados a la prevención y pre-supresión de incendios forestales (Batista, 2000). La importancia de los mapas de riesgo de incendios forestales fue descubierta desde hace ya mucho tiempo (Show & Clarke, 1953 citados por Batista, 2000). Los primeros mapas de riesgo se basaban en los registros de incendios de años anteriores, donde se diferenciaban las áreas donde habían habido mayores ocurrencias (áreas de mayor riesgo) de aquellas con

menores ocurrencias (áreas de menor riesgo) (Brown & Davis, 1973; Chandler et al., 1983; Soares, 1996 citados por Batista, 2000). Resulta conveniente determinar las regiones de mayor riesgo de ocurrencia de incendios forestales de modo de poder llevar adelante en dichos lugares programas más intensivos de prevención de incendios (Batista & Soares, 1997).

Para determinar el riesgo de incendios forestales varios autores han propuesto índices de riesgo que consideran principalmente elementos meteorológicos como precipitaciones, humedad relativa y temperatura del aire (Vettorazzi *et al.*, 2001). Pero existen otros factores que inciden con fuerza en la manifestación de esos eventos, y que usualmente no son considerados, tales como topografía (pendiente y orientación), cobertura vegetal y actividad humana (Fernández & Resnichenko, 2000). Martín (1999) manifiesta como desventaja de los índices de peligro de incendios forestales que las variables meteorológicas son registradas en las estaciones meteorológicas, que son puntos específicos. Propone la utilización en forma combinada de la información de satélite con los índices meteorológicos de peligro, debido a que estos últimos son más adecuados para estimar el contenido de humedad de la vegetación muerta situada en el suelo, debajo del dosel forestal. Martín (1999) hace mención de cuatro aplicaciones de las imágenes satelitales para los incendios forestales, a saber: la estimación del peligro de incendio a corto plazo, evaluación del riesgo de incendio a largo plazo, detección de incendios y evaluación de los efectos del incendio.

Vettorazzi *et al.* (2001) hacen referencia a que el análisis de los factores o variables de riesgo inherentes a la región de estudio según su distribución espacial puede ser realizado más eficientemente con el uso de técnicas de geoprociamiento como la percepción remota y sistemas de información geográfica (SIG); incluso esta última puede ser considerada como una herramienta indispensable en la confección de estos mapas. La información a ser utilizada puede derivar de imágenes satelitales, fotografías aéreas, trabajos de campo u otras fuentes. Perestrello (1995) citado por Pereyra *et al.*, (2001) coincide en que tanto los SIG como los sensores remotos representan herramientas que facilitan el manejo del fuego en relación a la evaluación y monitoreo del riesgo de fuego, planificación del combate de incendios, mapeo de áreas quemadas y monitoreo de la regeneración. Moldes (1995) define a los sistemas de información geográfica como un conjunto de programas y aplicaciones informáticas que permiten la gestión de datos organizados en base de datos, referenciados espacialmente y que pueden ser visualizados mediante mapas.

Los mapas de riesgo de incendios forestales permiten estudiar la distribución espacial del riesgo de incendios y detectar las áreas donde se debería hacer tratamientos silviculturales preventivos o donde se deberían construir torres de vigilancia (Salas & Chuvieco, 1994). También contribuyen a la determinación de áreas con necesidad de mayor vigilancia, restricciones en el acceso, construcción y mantenimiento de cortafuegos. A partir de los mapas de riesgo de incendios también es posible realizar acciones para contribuir al combate de incendios forestales, como ser construcción de entradas de acceso rápido a los lugares de alto riesgo, determinar la ubicación de recursos para el combate en puntos estratégicos, como ser los puntos de captación de agua y determinar la ubicación de núcleos

urbanos (Vettorazzi *et al.*, 2001). La base de datos elaborada con este objetivo podría ser utilizado para otras aplicaciones, tales como el diseño de cortafuegos y quemas controladas. A su vez la información digital que se genera para este modelo se puede emplear con otros propósitos, como es el entrenamiento de cuadrillas de combate e incluso esta información puede ser usada para aplicaciones que nada tienen que ver con los incendios forestales, como ser la planificación de otras actividades forestales (Salas & Chuvieco, 1994).

La importancia de los mapas se ve reflejado en el decreto reglamentario N° 188/02 que exige que todo plan de protección contra incendios forestales deberá incluir al menos: un plano de ubicación y croquis detallado de acceso al predio, con su caminería interna, cortafuegos, reservorios de agua y todo otro dato de utilidad para un caso de incendio, tales como disponibilidad de personal debidamente capacitado, herramientas, equipos, sistemas de vigilancia, detección y alerta, sistema de comunicaciones, así como métodos de silvicultura preventiva (Uruguay-Presidencia de la República, 2002). El referido plano podrá ser confeccionado en formato digital utilizando distintos programas informáticos, como por ejemplo: ArcView, Idrisi, Mapinfo, Pathfinder office y Autocad. (Uruguay-Dirección General Forestal, 2002).

En la actualidad, con una mayor disponibilidad de recursos, varios investigadores han desarrollado mapas que definen áreas con distintos niveles de riesgo de incendios forestales empleando técnicas que permiten relacionar los factores ambientales de una región con los incendios forestales y de esta forma generar un mapa del riesgo potencial de incendios en función de la sensibilidad de los factores analizados en relación al fuego (cuadro 17) (Macedo & Sardina, 1987; Salas & Chuvieco, 1994; Souza *et al.*, 1996; Smith, 1999 citados por Batista, 2000).

Cuadro 17. Ejemplos de mapas de riesgo de incendios forestales.

Autor	País	Especies forestales predominantes	Factores de riesgo
ALMEIDA (1994)	Portugal	Pinus pinaster	Especies forestales
			Distancia a rutas
		Eucalyptus globulus	Distancia a los ríos permanentes
			Pendiente
SALAS et al (1994)	España	Pinus pinaster	Orientación
			Presencia humana
		Pinus pinea	Inflamabilidad de la vegetación
			Iluminación
		Castanea sativa	Altitud (humedad)
			Modelos de combustible
		Quercus pyrenaica	Pendiente
Orientación (vientos)			
Cortafuegos			
FERRAZ et al (1998)	Brasil	Pinus taeda	Vecinos
			Pinus elliottii
		Pinus hondurensis	Carreteras y caminos
		Pinus oocarpa	Pendiente
		Eucalyptus spp	Exposición (radiación solar y vientos)
		Bosque nativo	
FERNÁNDEZ et al (2000)	Uruguay	Pinus pinaster	Acción antrópica
			Vegetación
			Pendiente
			Orientación
PEREYRA et al (2001)	Argentina	S/D	Vegetación
			Rociedad
			Humedad
			Vientos
			Topografía
			Red hidrológica
			Cercanía a poblaciones y caminos
OLIVEIRA (2002)	Brasil	Pinus taeda	Presencia humana
		Pinus elliottii	Vegetación
		Araucaria angustifolia	Combustible
		Eucalyptus dunni	Pendiente
		Eucalyptus viminalis	Orientación de la ladera
		Bosque nativo	Vientos predominantes

2.5. PONDERACIÓN DE LOS FACTORES PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES

Existen varios autores que han elaborado mapas que identifican zonas con distintos niveles de riesgo de incendios forestales, a partir del análisis de los factores ambientales que inciden en el inicio y/o la propagación de incendios forestales. Los factores de riesgo se ponderan en función de la importancia relativa que se le asigna a cada uno.

En los cuadros 18, 19, 20, 21 y 22 se aprecian las ponderaciones asignadas por distintos autores. Se puede ver que los factores de riesgo de incendios forestales más frecuentemente considerados son: vegetación, material combustible, presencia humana (vecindad, caminos), pendiente y orientación de la ladera, siendo este último el factor al que se le asigna menor importancia.

Cuadro 18. Ponderación de los factores que afectan el inicio de un incendio forestal (Salas & Chuvieco, 1994).

Factor	Peso relativo
Material combustible	5
Presencia humana	4
Pendiente de la ladera	4
Cobertura vegetal	3
Orientación de la ladera	2

Cuadro 19. Ponderación de los factores que afectan la propagación de un incendio forestal (Salas & Chuvieco, 1994)

Factor	Peso relativo
Modelos de vegetación	5
Pendiente de la ladera	4
Orientación de la ladera	3
Altitud	1
Cortafuegos	-1

Cuadro 20. Ponderación de los factores de riesgo de incendios forestales (Vettorazzi & Feraz, 2001)

Factor	Peso relativo
Vecindad	5
Caminos	4
Vegetación	4
Pendiente	3
Orientación	2

2.5.1. Caminería

Uno de los factores de riesgo que incide en el inicio de un incendio forestal es la presencia humana, por lo que las zonas por donde transitan las personas se consideran zonas de mayor riesgo, por ejemplo: la caminería y su zona de influencia.

En el cuadro 21 se observan distintas distancias de influencia de la caminería según distintos autores, que van desde 30 m hasta 200 m.

Cuadro 21. Distancia de influencia de la caminería según distintos autores

Autores	Tipo de caminería	Distancia de influencia (m)
Pardo (2000)	Toda	200
Fernández et al (2000)	Toda	150
Salas & Chuvieco (1994)	Toda	50
Vettorazzi & Ferraz (2001)	Tráfico intenso de vehículos y personas	100
	Poco tráfico y visitantes	60
	Acceso restringido a funcionarios del área	30
Oliveira (2002)	Caminería particular	100
	Camiería pública	100
	Circulación humana	30

En el cuadro 22 se aprecia un ejemplo de las ponderaciones del riesgo de incendios forestales en función del tipo de caminería. Se deduce que en la medida que el tipo de caminería es más transitada, se le asigna mayor importancia y una mayor distancia de influencia (cuadro 22).

Cuadro 22. Ponderación del riesgo de incendios forestales de distintos tipos de caminería (Salas & Chuvieco, 1994).

Tipos de caminería	Peso relativo
Ruta	20
Menos de 50 m de la ruta	18
Áreas de recreación	13
Caminos internos	3
Menos de 50 m de un camino interno	2

2.5.2. Orientación de las laderas

En los cuadros 23, 24 y 25 se aprecian las ponderaciones asignadas por distintos autores según la orientación de la ladera. Se puede ver que en los cuatro casos se le asigna un mayor valor a la ladera que está más expuesta a la radiación solar, en el hemisferio norte es la ladera sur (cuadro 23) y en el hemisferio sur es la ladera norte (cuadros 24 y 25), siendo la ladera opuesta la que presenta la menor ponderación.

Cuadro 23. Ponderación del riesgo de incendios forestales según la orientación de la ladera (Salas & Chuvieco, 1994)

Orientación	Peso relativo
N o Plano	5
E o W	10
S o SE	15
SW	20

Cuadro 24. Ponderación del riesgo de incendios forestales según la orientación de la ladera (Fernández *et al*, 2000)

Orientación	Valor en grados	Peso relativo
Agua	-	0
Plano	-	1
Sur	135 a 225	2
Este	45 a 135	3
Oeste	225 a 315	4
Norte	315 a 45	5

Cuadro 25. Ponderación del riesgo de incendios forestales según la orientación de la ladera (Oliveira, 2002)

Angulo de orientación	Orientación	Peso relativo
157,5° a 202,5°	S	0
112,5° a 157,5° y 202,5° a 247,5°	SE / SW	1
67,5° a 112,5°	E	2
22,5° a 67,5°	NE	3
247,5° a 337,5°	NW / W	4
337,5° a 22,5°	N	5

2.5.3. Pendiente de las laderas

En la medida que aumenta la pendiente de la ladera, también aumenta el riesgo de propagación de incendios forestales, lo cual se evidencia en los cuadros 26, 27, 28 y 29.

Cuadro 26. Ponderación del riesgo de incendios forestales según la pendiente de la ladera (Soares, 1984 citado por Vettorazzi & Feraz, 2001)

Pendiente (%)	Peso relativo
5 - 15	16
16 - 25	17
26 - 35	18
36 - 45	19
46 - 55	20

Cuadro 27. Ponderación del riesgo de incendios forestales según la pendiente de la ladera (Salas & Chuvieco, 1994)

Pendiente (%)	Peso relativo
0 -10	0
10 - 19	5
20 - 29	10
30 - 39	15
39 o más	20

Cuadro 28. Ponderación del riesgo de incendios forestales según la pendiente de la ladera (Fernández *et al*, 2000)

Pendiente (%)	Peso relativo
0	0
0 - 5	1
5 - 10	2
10 - 20	3
20 o más	4

Cuadro 29. Ponderación del riesgo de incendios forestales según la pendiente de la ladera (Oliveira, 2002)

Pendiente (%)	Peso relativo
0 - 4	0
5 - 15	1
16 - 25	2
26 - 35	3
36 - 45	4
46 o más	5

2.5.4. Tipos vegetacionales

Distintos autores consideran las especies del género *Pinus* son más riesgosas que las especies del género *Eucalyptus*, en cuanto a la ocurrencia de incendios forestales (cuadros 30 y 31).

Cuadro 30. Ponderación del riesgo de incendios forestales según el tipo vegetacional (Vettorazzi & Feraz, 2001)

Vegetación	Peso relativo
<i>Eucalyptus spp.</i>	12
Bosque nativo	14
<i>Pinus hondurensis</i>	18
<i>Pinus oocarpa</i>	18

Cuadro 31. Ponderación del riesgo de incendios forestales según el tipo vegetacional (Oliveira, 2002)

Vegetación	Peso relativo
Camino y Cortafuegos	0
<i>Eucalyptus dunnii</i>	3
<i>Eucalyptus viminalis</i>	3
<i>Pinus taeda</i>	5
<i>Pinus elliottii</i>	5

2.5.5. Cortafuegos

En el cuadro 32 se aprecian las ponderaciones del riesgo de incendios forestales adjudicadas según la presencia o no de cortafuegos.

Cuadro 32. Ponderación del riesgo de incendios forestales según la presencia o no de cortafuego y según el tipo de cortafuego (Salas & Chuvieco, 1994)

Factor	Peso relativo
Sin faja cortafuego	20
Faja cortafuego	10
Ruta	0

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio está comprendida dentro de la Reserva Forestal de Cabo Polonio–Aguas Dulces, la cual es un área protegida de propiedad del Gobierno Uruguayo. La Reserva Forestal de Cabo Polonio–Aguas Dulces con una superficie próxima a las 3000 ha se encuentra ubicada en la República Oriental del Uruguay dentro del departamento de Rocha, siendo gestionada en la actualidad por el Departamento de Areas Protegidas de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables (DGRNR) del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP). Dicha Reserva Forestal está dividida en dos sectores, el de Aguas Dulces y el de Cabo Polonio. Este último, con una superficie arbolada de aproximadamente 1916 ha más una faja de influencia perimetral en los límites de las plantaciones de 500 m de ancho, representa el área de estudio del presente trabajo.

El acceso al sector Cabo Polonio se realiza por el km 260 de la Ruta Nacional Nº 10 (Juan Díaz de Solís), siendo los límites al norte y al este con el Monumento Natural de Dunas y la Costa Atlántica, al sur con predios ganaderos de particulares y al oeste con la Ruta Nacional Nº 10, se encuentra aproximadamente a: 3 km de Cabo Polonio, 100 km de Punta del Este y 260 km de Montevideo (figura 1, 2 y 3).



Figura 1. Ubicación del área de estudio dentro de Uruguay.



Figura 2. Ubicación del área de estudio dentro del departamento de Rocha (Adaptado de GTI - Uruguay).

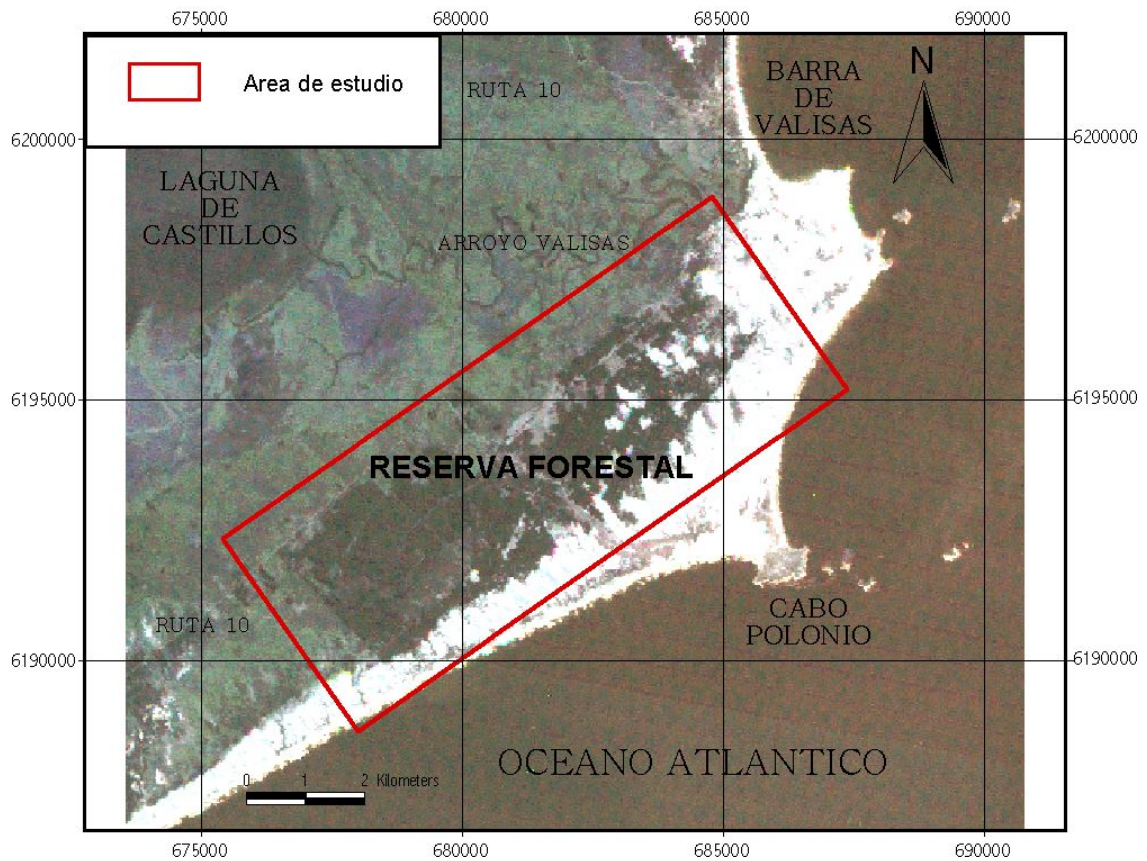


Figura 3. Area de estudio (Adaptado de DGRNR – MGAP).

El departamento de Rocha ocupa una superficie de 10.551 km² y se ubica en el SE del Uruguay (figura 2). Los principales valores sociales lo constituye el turismo, el pastoreo, la agricultura y la producción pesquera (balneariolapaloma.com, 2003; Altamirano *et al*, 2003).

La región sur del Brasil y este uruguayo es una región destacada en cuanto a su diversidad biológica, la cual se evidencia en la variedad de especies terrestres y acuáticas que habitan la región, así como las que la visitan anualmente. La región se divide en dos subregiones biogeográficas principales, la Provincia Pampeana y la Provincia Atlántica (Menegheti, 2003).

La costa atlántica es una unidad fisiográfica que agrupa las acumulaciones de arena eólica en forma de dunas móviles o fijas por la vegetación y las playas actuales sujetas a la dinámica del oleaje y del viento. Las playas están bordeadas a veces de barrancas muy erosionadas y con puntas prominentes: cabo de Santa María, Cabo Polonio y otras; algunas islas bordean el litoral (montevideo.com.uy, 2003; Altamirano *et al*, 2003).

Según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, escala 1:1.000.000 (MGAP, 1979), el área de estudio es ubicada dentro de la unidad de suelos: Angostura, que presenta los siguientes suelos dominantes: Arenosoles Ocrícos, Planosoles Dúctricos Ocrícos y existe presencia de arena.

Según la clasificación climática de Köppen, todo el Uruguay se encuentra dentro de la categoría Cfa (Uruguay-DNM, 2003), lo cual significa que:

- Grupo C: la temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C y superior a -3 °C y al menos un mes la temperatura media es superior a 10 °C;
- Subgrupo f: Húmedo sin estación seca;
- Subdivisión a: La temperatura media del mes más cálido supera los 22 °C.

La costa atlántica de Rocha presenta una temperatura media de 16,0 °C y tiene amplitudes térmicas moderadas. En la estación meteorológica de Rocha, la insolación acumulada media (horas de sol efectivas) es de 2378 horas (Altamirano, 2003; Uruguay-DNM, 2003). Dado que en la Reserva Forestal de Cabo Polonio – Aguas Dulces no se dispone de una estación meteorológica, para obtener datos climáticos que fueran representativos del área de estudio se recurrió a datos brindados por la Dirección Nacional de Meteorología (DNM) y el Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA) correspondientes a tres estaciones meteorológicas: Rocha (DNM), La Paloma (SOHMA) y Barra del Chuy (SOHMA) (Figura 4). Al hacer el promedio de las tres estaciones meteorológicas se desprende que la temperatura media más elevada es en enero y es de 22,8 °C, a su vez, en febrero y marzo se alcanzan los mayores valores de temperatura máxima absoluta. En la estación meteorológica de Rocha se alcanzan los mayores valores de temperatura máxima absoluta, con 39 °C en febrero y marzo.



Figura 4. Ubicación de las estaciones meteorológicas con respecto al área de estudio (Adaptado de www.balneariolapaloma.com).

Uruguay tiene un clima lluvioso con precipitaciones acumuladas anuales medias para todo el Uruguay del orden de los 1300 mm, no tiene estación seca, pero existe una alta variabilidad entre años. Se producen tanto períodos extensos de intensa sequía, así como son frecuentes los años con exceso de precipitaciones, asociado a los fenómenos conocidos como “La Niña” y “El Niño”. En verano (diciembre, enero y febrero) la evaporación media estacional en Rocha es de 436,9 mm (Altamirano *et al*, 2003; Uruguay-DNM, 2003). Para las tres estaciones meteorológicas nombradas anteriormente, la frecuencia de precipitaciones tiene el menor valor en el mes de diciembre. En diciembre, el promedio de días con lluvia es de 5,7, mientras que el promedio anual es de 8,5 días por mes. A su vez, el mes de diciembre es el mes con menos precipitación con un promedio de 60 mm, 31 mm por debajo del promedio anual. La cantidad de días de lluvia a lo largo del año es de 113 para las estaciones meteorológicas de La Paloma y Barra del Chuy (ubicadas sobre la costa, al igual que el área de estudio), mientras que para la estación meteorológica de Rocha (ubicada a unos 30 km de la costa) es de 79 días con lluvia, pero la mayor frecuencia de días con lluvia no se traduce en una mayor precipitación, la cual es en promedio de 1094 mm, para las tres estaciones meteorológicas.

La Humedad Relativa (HR) media para Rocha es de 81 % (Uruguay-DNM, 2003). La HR promedio para las tres estaciones meteorológicas consideradas es de 81,4 %, los valores mínimos de HR se dan en los meses de enero con un valor de 75 % para la estación meteorológica de Rocha, en diciembre con un valor de 75 % para la Barra del Chuy y marzo con un valor de 78 % para la estación meteorológica La Paloma.

Los valores de visibilidad horizontal en superficie para la estación meteorológica de La Paloma indican que hay una marcada estacionalidad, donde en invierno se produce la menor visibilidad dado que en el 5,5% de las horas la visibilidad es inferior a 1 km, mientras que en otoño es el 1,2% de las horas y en verano es el 1,5%.

En Uruguay las velocidades del viento son del orden de 14,4 km/h, siendo relativamente frecuentes los vientos superiores a 108 km/h (Uruguay-DNM, 2003). Los registros de La Paloma y Barra del Chuy indican que la intensidad del viento más frecuente es de 12 a 19 km/h y la intensidad media del viento es de 19,4 km/h promediando ambas estaciones meteorológicas. El mes de junio es el que presenta la menor intensidad media del viento para ambas estaciones meteorológicas, mientras que en primavera (setiembre, octubre y noviembre) es cuando se dan las mayores intensidades de viento. El régimen de vientos en Uruguay muestra un marcado predominio del sector NE al E (Uruguay-DNM, 2003). En la estación meteorológica de La Paloma la dirección del viento más frecuente (de velocidad mayor a 50 km/h) es la SSW, mientras que en La Barra del Chuy es la NE.

3.2. INVENTARIO DEL COMBUSTIBLE FORESTAL SUPERFICIAL

El inventario de combustible forestal superficial consistió en medir la carga de combustible de origen vegetal vivo (sin considerar los troncos de árboles y arbustos de más de 3 m de altura) o muerto que se encuentra ubicado entre el suelo mineral y una altura de 1,80 m.

3.2.1. Estratificación del área boscosa

En base al inventario realizado en la Reserva Forestal de Cabo Polonio – Aguas Dulces en 1995 (Latorre & Lemes, 1995) y visitas a campo se identificaron las diversas especies forestales y comunidades vegetales existentes. En el sector Cabo Polonio se han plantado principalmente las siguientes especies arbóreas: *Eucalyptus grandis* (Eg), *Pinus taeda* (Pt), *Pinus elliottii* (Pe) y *Pinus pinaster* (Pp).

Se realizó una estratificación del área de estudio en los siguientes cinco estratos (figura 5 y cuadro 33):

- *Eucalyptus grandis* fustal (Egf)
- *Eucalyptus grandis* tallar (Egt)
- *Pinus taeda* (Pt)
- *Pinus elliottii* (Pe)
- *Pinus pinaster* (Pp)

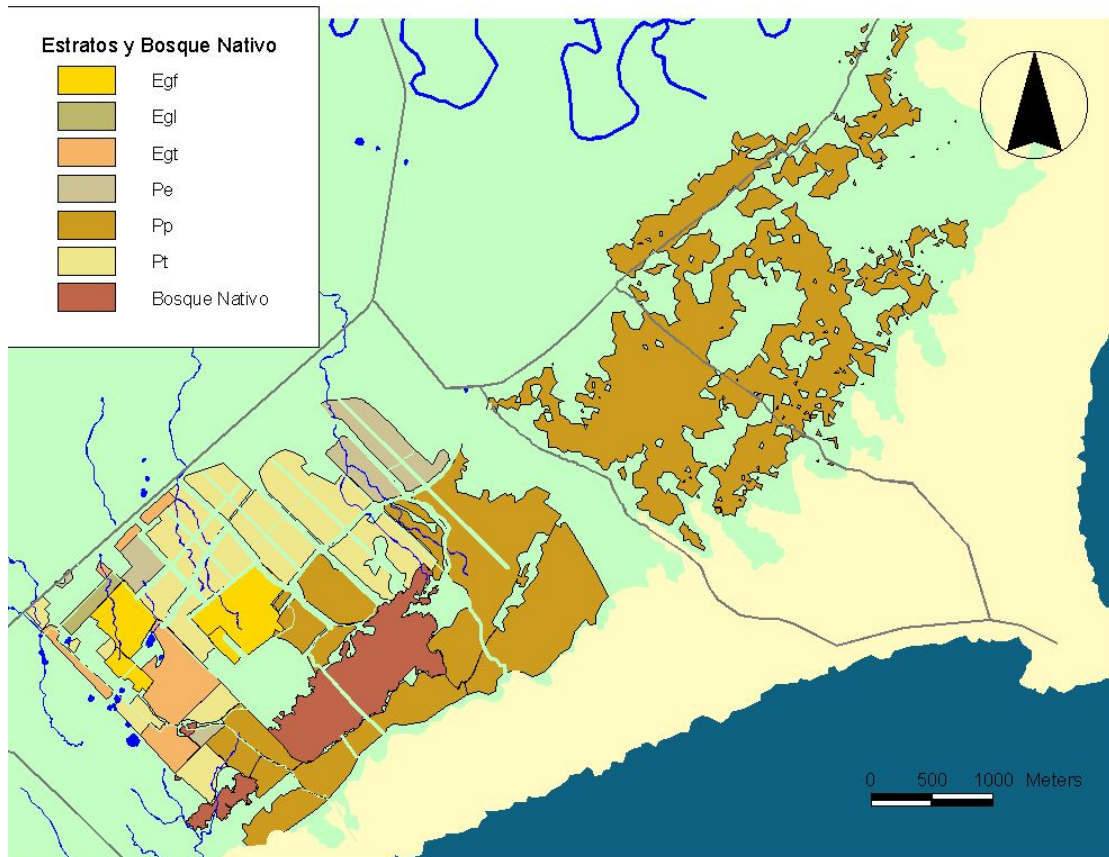


Figura 5. Mapa de los estratos.

Cuadro 33. Descripción de los Estratos.

Estratos y otros	Superficie (ha)	Superficie (%)	Edad (años)
<i>Pinus pinaster</i>	1092	57,0	19, 21, 22, 25, 26 y 37
<i>Pinus taeda</i>	395	20,6	21, 22 y 25
<i>Eucalyptus grandis fustal</i>	123	6,4	22
<i>Pinus elliotii</i>	112	5,8	22 y 24
<i>Bosque nativo</i>	97	5,1	*
<i>Eucalyptus grandis tallar</i>	90	4,7	9 y 12
<i>Eucalyptus globulus</i>	8	0,4	*
TOTAL	1916	100	*

Se supuso que dentro de cada estrato existe una homogeneidad mayor que la que hay entre estratos en cuanto al comportamiento de la variable peso seco del combustible forestal superficial. La elección de éstos se debió a que ocupaban una mayor superficie relativa dentro del área de estudio y que tienen mayor importancia del punto de vista de la producción forestal a nivel nacional, si se considera la superficie ocupada en nuestro país por dichas especies.

No se incluyeron en el inventario de combustible forestal superficial las zonas donde había presencia de:

- Praderas
- Bosque Nativo
- Mezcla de *Pinus pinaster* y *Acacia longifolia*
- Eucalyptus globulus
- *Cassurina spp*
- Rodales aislados de *Pinus radiata*, *Taxodium distichum* y *Cupressus spp*
- Otras

3.2.2. Evaluación del material combustible

En este trabajo se utilizó el "Método de las parcelas de 1 m²" descrito por Batista & Soares (2000) con algunas modificaciones. Se consideraron las siguientes categorías de combustible:

1. Corteza
2. Material Verde
3. Hojas secas
4. Piñas (conos femeninos y sus partes)
5. Ramas de diámetro $\leq 0,7$ cm
6. Ramas de diámetro entre 0,7 y 2,5 cm (combustible regular o de 10 horas)
7. Ramas de diámetro entre 2,5 y 7,6 cm (combustible mediano o de 100 horas)
8. Ramas de diámetro $> 7,6$ cm (combustible grueso o de 1000 horas)
9. Residuos de Selección

La categoría "Material Verde" se compone de todo el material vivo (con excepción de los troncos de árboles y arbustos de más de 3m de altura) y hojas recién caídas que presenten color verde.

La categoría "Residuos de Selección" a la porción del combustible forestal superficial que se encuentra en alto grado de descomposición y que por lo tanto resulta sumamente difícil de clasificar. Esta categoría incluye principalmente hojas chicas, cortadas o en estado de descomposición, estructuras reproductivas, pedazos chicos de corteza, ramas cortas (prácticamente todas de diámetro $\leq 0,7$ cm, aunque puede haber de diámetro entre 0,7 y 2,5 cm).

Los frutos de los Eucalyptus se incluyen dentro de la categoría ramas de diámetro $\leq 0,7$ cm.

Para el análisis de los resultados y por considerar que presentan un comportamiento similar frente a un incendio forestal se agruparon las categorías Corteza, Hojas secas, Piñas y Residuos de selección para crear la categoría Hojarasca. A su vez, a esta nueva categoría junto con la categoría Ramas de diámetro $\leq 0,7$ cm constituyen la categoría denominada Combustible Fino o de 1 hora.

La totalidad del combustible forestal superficial ubicado dentro de la parcela de 1m² desde el suelo mineral hasta una altura de 1,80 m es clasificado en las

categorías que se nombraron anteriormente y luego cada categoría de cada parcela es depositada en una bolsa para poder ser pesado y transportado. La variable de interés es el Peso Seco, es decir el peso del combustible sin agua, por lo que una vez clasificado el combustible fue secado en una estufa con circulación forzada. Las muestras fueron dejadas en la estufa por un período promedio de 17 días con un mínimo de 7 días a una temperatura promedio de 80° C.

Previo al secado de la muestra se obtiene el Peso Fresco y luego a partir del Peso Seco se calcula el Contenido de Humedad de la muestra para obtener el Peso Seco total. Se utilizó para la mayoría de las mediciones una balanza electrónica con una precisión de 0,1 g, pero hubieron ciertas pesadas que se realizaron a campo debido a que resultaba muy dificultoso transportar la totalidad del combustible desde el área de estudio hasta el horno por lo que se utilizó una balanza con una precisión de 25 g. Todos los datos obtenidos con esta balanza fueron corregidos para mejorar su precisión tomando como referencia la balanza electrónica.

Una vez obtenidos los valores de peso seco, éstos fueron sometidos a un procesamiento estadístico descriptivo. A su vez, se emplearon dos métodos no paramétricos: el de Mann-Whitney para determinar diferencias estadísticas entre los distintos estratos y el coeficiente de correlación de los rangos de Spearman para ver las correlaciones existentes dentro y entre estratos.

3.2.3. Ubicación de las parcelas

El inventario de combustible forestal superficial se realizó a través de un muestreo de tipo aleatorio estratificado, es decir que dentro de cada uno de los estratos que se describieron en el capítulo "Estratificación del área boscosa" se distribuyeron las muestras en forma aleatoria.

Los estratos están compuestos por varios rodales ubicados algunos en forma contigua y otros separados, la elección del rodal se hace en forma dirigida en función de la importancia relativa de cada rodal (superficie que ocupa). Se consideró que un total de 30 parcelas (seis parcelas por estrato) era adecuado para estimar la carga de combustible promedio de cada uno los estratos para luego realizar un mapa de combustible forestal superficial (figura 6).

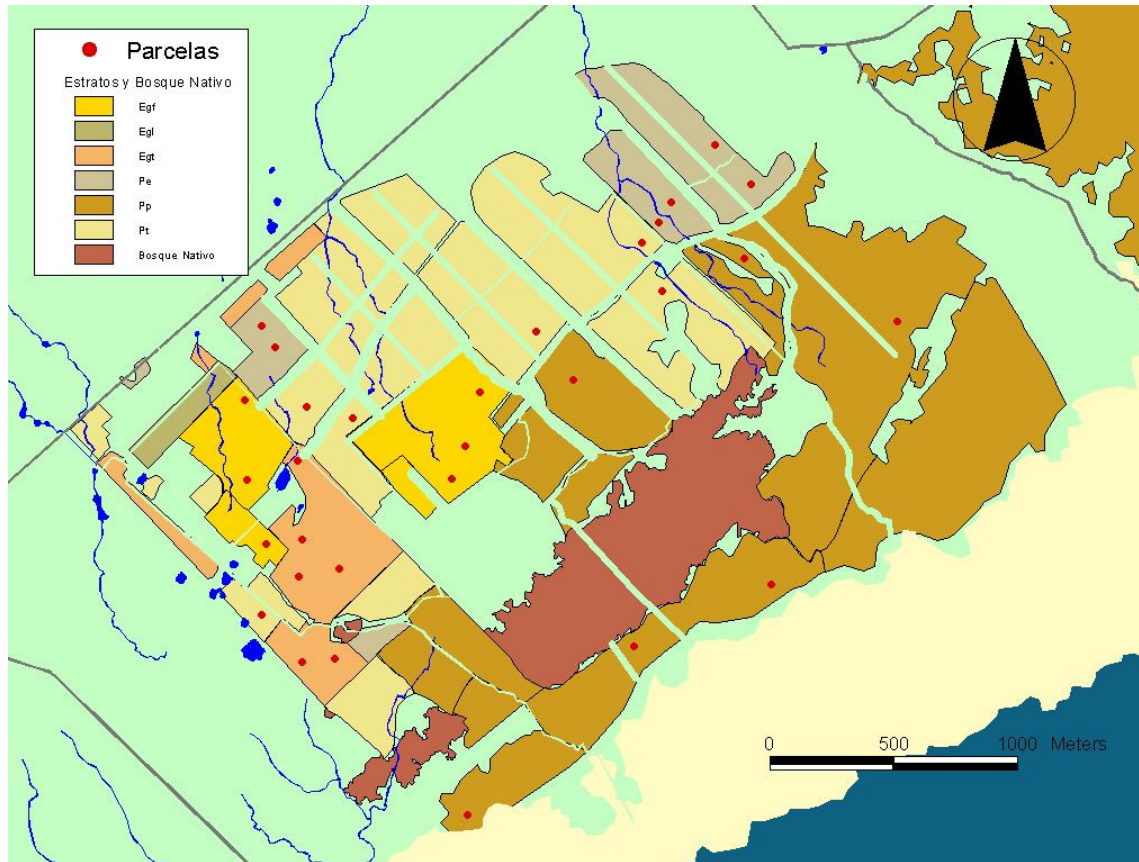


Figura 6. Ubicación aproximada de las parcelas.

A cada rodal se le asignan y numeran puntos de referencia definidos como "puntos de inicio" por ser los puntos a partir de los cuales se ingresa al rodal. Los "puntos de inicio" deben ser puntos de fácil reconocimiento en el campo y bien distribuidos sobre el perímetro del rodal. Luego se realiza un sorteo para determinar cual va a ser el "punto de inicio".

Una vez identificado el "punto de inicio", se procede a sortear la "dirección de avance", la cual determina en qué dirección se va a caminar hacia adentro del rodal. Se definieron y numeraron para el sorteo ocho posibles direcciones de avance (cuadro 34).

Cuadro 34. Direcciones de avance.

Dirección de avance	Número para el sorteo
N	1
NE	2
E	3
SE	4
S	5
SW	6
W	7
NW	8

Por último, en forma aleatoria se determina el "número de pasos" que consiste en el número de pasos que se debe caminar desde el "punto de inicio" y en la "dirección de avance" para alcanzar el "punto de muestreo", que representa uno de los vértices de la parcela cuadrada de 1m x 1m, es decir, que marca la localización de la unidad de muestreo. La cantidad de pasos podía ser desde 20 (para evitar el efecto borde) hasta 300.

Se evitó el efecto borde, que es el efecto de condiciones distintas al resto del rodal, dejando una faja de veinte metros de ancho que se extiende paralela al perímetro del rodal

3.3. ELABORACION DE LOS MAPAS DE RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES

En la elaboración de los mapas de riesgo de incendios forestales se utilizó el software ArcView GIS versión 3.2 con la extensión Spatial Analyst versión 2.0. y la extensión 3D Analyst versión 1.0. Como cartografía base se utilizaron tres fotografías aéreas blanco y negro de 1998 (Escala 1:20.000), imagen de la escena 222-84 del satélite Landsat de julio de 1996 y las cartas topográficas del Servicio Geográfico Militar (Escala 1:50.000) "Cabo Polonio" y "Valizas".

A partir de la cartografía base se elaboran 11 mapas temáticos, que son documentos cartográficos digitales, donde cada uno se corresponde con un factor que incide en el riesgo de inicio y/o propagación de un incendio forestal.

Las etapas en la elaboración de los mapas temáticos fueron las siguientes:

- Digitalizar la cartografía base: escanear la cartografía base que está en formato papel para pasarla a formato digital;
- Georreferenciar la cartografía base: utilizando puntos de control tomados a campo con un GPS Trimble GeoExplorer II georreferenciar la cartografía base;
- Vectorizar la cartografía base: elaborar los mapas temáticos en formato vectorial, es decir, pasar la cartografía base en formato raster a formato vectorial;
- Rasterizar y ponderar los mapas temáticos: una vez obtenidos los mapas temáticos en formato vectorial, pasarlos nuevamente a formato raster (grillas),

habiendo asignado determinado valor numérico a cada uno de sus píxeles, para luego operar aritméticamente entre si los mapas temáticos.

La susceptibilidad al riesgo de incendios forestales de los distintos factores se asigna en base a la bibliografía, entrevistas a expertos, registros de conatos del área de estudio e incendios a nivel nacional. Por lo que las variables que presentan mayor importancia para el origen y/o la propagación de un incendio forestal tienen mayor incidencia en el mapa de riesgo de incendios forestales.

La ponderación de los factores consiste en asignarle determinado valor numérico a los píxeles (unidad básica espacial) de los mapas temáticos. Dado que los mapas temáticos son transformados en grillas (formato raster) compuestas por píxeles que pueden manipularse de acuerdo con las reglas de álgebra matricial, por lo que una vez ponderados los mapas temáticos, se suman aritméticamente entre sí para obtener los mapas de riesgo de incendios forestales. En este caso se trabajó con una resolución espacial (tamaño de los píxeles) de 10 x 10 m.

Los valores de los ponderadores se encuentran en un rango que va desde 4 a -4 como se aprecia en el cuadro 35. Los valores positivos se interpretan como factores que actúan incrementando el riesgo de inicio y/o propagación de un incendio forestal, mientras que los valores negativos se interpretan como factores que disminuyen el riesgo.

Cuadro 35. Rango de ponderación y su interpretación.

Rango de ponderación	Importancia atribuída
4 o -4	Muy alta
3 o -3	Alta
2 o -2	Media
1 o -1	Baja
0	Nula

En el cuadro 36 se muestra las variables que fueron consideradas como factores que inciden en el inicio de un incendio forestal.

Cuadro 36. Importancia relativa de los factores que inciden en el inicio de un incendio forestal.

Factores de riesgo de inicio	Peso relativo
Presencia humana	4
Antecedentes de principios de incendio	2
Orientación de las laderas	1

Como factores que inciden en la propagación de un incendio forestal se toman en cuenta los que se muestran en el cuadro 37.

Cuadro 37. Importancia relativa de los factores que inciden en la propagación de un incendio forestal.

Factores de riesgo de propagación	Peso relativo
Tipo vegetacional	4
Pendiente de las laderas	4
Cortafuegos artificiales y naturales	-3
Cercanía al depósito de herramientas	-3
Cercanía a abastecimientos de agua	-3
Visibilidad desde la torre de vigilancia	-1
Dirección de los vientos más frecuentes	1
Orientación de las laderas	1

La acción directa del hombre como causante de un incendio forestal ya sea por negligencia o en forma intencional se considera indirectamente al identificar las zonas donde hay mayor presencia de personas, por lo que se asumió que en las zonas pobladas y donde hay caminería (considerando un área de influencia en torno a dichas zonas) es donde hay más posibilidades de que se origine un incendio por acción directa del hombre.

En el cuadro 38 se mencionan los distintos caminos o zonas por donde transitan con más frecuencia las personas, a los cuales se les ha adjudicado una distancia buffer o radio de influencia y un peso relativo en función del mayor o menor tránsito al cual están sometidos.

Cuadro 38. Ponderación de las categorías de caminos.

CAMINOS	Distancia buffer (m)	Peso relativo
Otros caminos	50	1
Cortafuegos	50	1
Entrada a Brisas del Polonio	50	1
Entrada a Valisas	50	2
Playa	50	2
Camino del Tano	100	2
Ruta 10 vieja	100	2
Ruta 10	150	3
Entrada al Cabo Polonio	200	3

Los pueblos de Cabo Polonio y Barra de Valizas no se consideran debido a que se encuentran ubicados a una distancia superior a los 500 m de los límites del área de estudio. La escuela, la comisaría y las casas ubicadas sobre la ruta 10, sobre la playa o en los campos vecinos se les adjudicó un radio de influencia de 200 m y un peso relativo de 2.

Los lugares donde en el pasado han ocurrido principios de incendio indican zonas donde efectivamente se puede iniciar un incendio forestal, por lo que a partir del punto donde se inició el conato se toma un área buffer con un radio de 200 m, dado que se asume que son zonas que reúnen condiciones comprobadamente favorables para el inicio de un incendio forestal, por lo que se le asignó un peso relativo de 3. En este trabajo no se distinguen los conatos por la fecha de ocurrencia, pero se debería atribuir un mayor peso relativo a los conatos que ocurrieron más recientemente.

La orientación que presentan las laderas se clasificaron según se muestra en el cuadro 39. Las distintas orientaciones de las laderas se han reclasificado en cuatro categorías que coinciden con los cuatro puntos cardinales, siendo la orientación hacia el norte la que presenta una mayor ponderación debido a que es la que recibe mayor radiación solar a lo largo del año. Este factor incide tanto en el inicio como en la propagación de un incendio forestal.

Cuadro 39. Ponderación de las categorías de orientación de la ladera.

Orientación	Valor en grados	Peso relativo
Plano	-	0
Sur	135 - 225	1
Este	45 - 135	2
Oeste	225 - 315	3
Norte	315 - 45	4

Como se mencionó anteriormente los resultados del inventario de combustible superficial determinaron que las zonas donde hay presencia del género *Pinus* tienen mayor carga de hojarasca que las zonas donde esta plantada la especie *Eucalyptus grandis*. Si bien las zonas con presencia de bosque nativo y praderas no fueron inventariadas, generalmente dentro de un bosque nativo la humedad relativa es mayor, la temperatura del aire y la velocidad del viento son menores que en una pradera. Un factor fundamental de una pradera es su contenido de humedad, porque una pradera verde puede representar cumplir la función de cortafuego, mientras que una pradera seca puede proporcionar muy buena continuidad horizontal para el fuego (cuadro 40).

Cuadro 40. Ponderación de las categorías de los tipos vegetacionales.

Tipos Vegetacionales	Peso relativo
Bosque Nativo	1
Praderas	2
Eucalyptus spp	3
Pinus spp	4

El otro factor topográfico que se considera es la pendiente de las laderas. En la medida que las pendientes son más pronunciadas aumenta la velocidad de propagación de un incendio forestal por lo que como se ve en el cuadro también aumenta el riesgo de propagación de un incendio (cuadro 41).

Cuadro 41. Ponderación de las categorías de pendiente de la ladera.

Pendiente (%)	Peso relativo
0 - 0,1	0
0,1 - 5	1
5 - 10	2
10 - 20	3
Más de 20	4

En cuanto a los cortafuegos naturales comprendidos por cañadas y espejos de agua se consideran que son una barrera más eficiente que los cortafuegos artificiales, aunque la eficiencia de éstos últimos es dependiente del ancho (cuadro 42).

Cuadro 42. Ponderación de las categorías de cortafuegos.

Tipo de Cortafuego	Peso relativo
Arroyo Valisas	4
Espejos de agua (tajamares)	4
Caminios (incluye ruta)	3
Cortafuegos de 50 m	3
Cañadas	2
Cortafuegos de 30 m	2
Cortafuegos de 10 m	1

La accesibilidad para el combate se determinó en función de la distancia lineal que existe entre el depósito de herramientas de combate y los distintos puntos del área de estudio. Se utilizó como criterio que la zona ubicada a una distancia lineal de 2,5 km o menos del depósito del equipo de combate no presentaba riesgo de incendios forestales, por eso se le adjudicó el valor cero (cuadro 43).

Cuadro 43. Ponderación de las categorías de distancia desde el depósito de herramientas de combate de incendios a los distintos puntos del área de estudio.

Cercanía al depósito de herramientas (m)	Peso relativo
0 - 2500	4
2500 - 5000	3
5000 - 7500	2
7500 - 10000	1

Se considera que las zonas que se encuentran a menos de 200 m de un abastecimiento de agua presentan menor riesgo de propagación de un incendio forestal que aquellas que se ubican más alejadas de los reservorios de agua y a dichas zonas se les asigna el valor 2.

Dentro del área de estudio existe una torre de vigilancia que presenta una altura sobre el nivel del mar de aproximadamente 30 m, la cual coincide con la altura promedio de las plantaciones forestales, por lo que las zonas visibles y ocultas desde la torre de vigilancia están dadas por la topografía del terreno (cuadro 44).

Cuadro 44. Ponderación de las categorías según su ubicación con respecto a la torre de vigilancia.

Ubicación con respecto a la torre de vigilancia	Peso relativo
Zona visible y a menos de 2 km de la torre	4
Zona no visible y a menos de 2 km de la torre	3
Zona visible y a más de 2 km de la torre	3
Zona no visible y menos de 4 km de la torre	2
Zona visible y más de 4 km de la torre	2
Zona no visible y más de 4 km de la torre	1

A partir de las estadísticas climáticas de la estación meteorológica de La Paloma surge que la dirección más frecuente de los vientos es del S-SW, entonces se deduce que las zonas más riesgosas del área de estudio en función del viento serían las ubicadas en el extremo S-SW, debido a que si se inicia un incendio en dicha zona el viento proveniente del S-SW propagaría el fuego con mayor rapidez hacia en NE, donde se encuentra la totalidad o mayor parte del área de estudio. En cambio si un incendio se inicia en el extremo NE del área de estudio, éste posiblemente también se propague hacia el S-SW donde se encuentra la totalidad o mayor parte del área de estudio pero avanzaría en retroceso (en sentido contrario al viento) por lo que su velocidad de propagación sería más lenta (cuadro 45).

Cuadro 45. Ponderación de las categorías según su ubicación en el área de estudio en relación a los vientos predominantes.

Ubicación en relación a los vientos predominantes	Peso relativo
Zona SW del área de estudio	4
Próximo a la zona SW del área de estudio	3
Próximo a la zona NE del área de estudio	2
Zona NE del área de estudio	1

Se debe tener en cuenta que dada la cercanía a la costa del área de estudio, la dirección del viento es sumamente cambiante con los días y a lo largo del día, por lo que la dirección S-SW es simplemente la dirección que ocurre con más frecuencia. A su vez, seguramente el área de estudio se encuentra sometida a vientos locales típicos de la costa que se acentúan en la época estival.

A partir de los 11 mapas temáticos se confeccionan los siguientes tres mapas de riesgo de incendios forestales:

- Mapa de Riesgo de Inicio de incendios forestales: elaborado a partir de los cinco factores que se nombraron anteriormente que inciden en el inicio de un incendio forestal.
- Mapa de Riesgo de Propagación de incendios forestales: elaborado a partir de los nueve factores que se nombraron anteriormente que inciden en la propagación de un incendio forestal.
- Mapa de Riesgo de Incendios Forestales: resulta de la combinación del Mapa de Riesgo de Inicio y el Mapa de Riesgo de Propagación de incendios forestales.

Una vez obtenidos los mapas de riesgo, donde cada píxel presenta un determinado valor numérico, en función de dicho valor se reclasifica en cuatro niveles crecientes de riesgo, calculando cuartiles, es decir que el rango de valores definido por el valor máximo y el valor mínimo, se divide por cuatro. Luego se le asigna a todos los números que quedan comprendidos dentro del primer cuartil (el cuartil que incluye al valor mínimo) el valor 1, al segundo cuartil el valor 2, al tercer cuartil el valor 3 y al cuarto cuartil (el cuartil que incluye el valor máximo) el valor 4. En el mapa cada zona que representa un determinado nivel de riesgo de incendio forestal se identifica con un color distinto.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INVENTARIO DE COMBUSTIBLE SUPERFICIAL

Con excepción de la categoría Pinocha + Residuos de selección de los estratos Pt y Pp, las diferencias entre los estratos no fue significativa ($p > 0,05$), es decir, que el estrato Egf es estadísticamente igual al estrato Egt, y los estratos de Pinos son estadísticamente iguales entre sí.

Dada esta igualdad, se procedió a comparar los estratos de Eucalyptus (en su conjunto) vs los estratos de Pinos (en su conjunto), donde tampoco se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) para la carga de combustible fino ni para la carga de combustible total. Se observaron los mismos resultados al excluir el estrato de Pp de los estratos de Pinos y volver a comparar los estratos de Eucalyptus (en su conjunto) vs los estratos de Pinos (en su conjunto).

Al comparar los estratos de Eucalyptus (en su conjunto) vs los estratos de Pinos (en su conjunto) se encontraron diferencias estadísticas significativas entre todas las categorías que se compararon con excepción de la categoría Material Verde, que es la categoría que tiene menor importancia relativa. Los estratos de Eucalyptus presentan significativamente mayor carga de combustible forestal superficial para las categorías: corteza, Ramas de diámetro $< 0,7$ cm y Ramas de diámetro entre $0,7$ y $2,5$ cm, mientras que los estratos de Pinos presentan significativamente mayor carga de combustible para las categorías: Hojarasca, Hojas + Residuos de selección y Piñas.

Se produce una compensación entre las categorías de los Pinos y de los Eucalyptus que explica porque no existen diferencias significativas entre la carga total y la carga del combustible fino.

Al evaluar la incidencia del combustible en el riesgo de inicio de incendios forestales, generalmente se considera únicamente la carga de combustible fino (Hojarasca + Ramas de diámetro $< 0,7$ cm). Pero en este caso al disponer de los valores de la carga de Hojarasca y de Ramas de diámetro $< 0,7$ cm por separado, y debido a que la categoría Hojarasca tienen mayor incidencia en el inicio de un incendio forestal que la categoría Ramas de diámetro $< 0,7$ cm, entonces es posible expresar que los estratos de Pinos presentan mayor riesgo de incendios forestales que los estratos de Eucalyptus.

De ahora en más, vale la pena aclarar que cuando se muestren valores promedio que difieren entre sí, los únicos casos en que existen diferencias significativas de acuerdo a los resultados que arrojó la comparación por el método no paramétrico de Mann-Whitney fueron las mencionados anteriormente (en este mismo capítulo).

En la figura 7 se aprecia la carga de combustible promedio de los cinco estratos, donde el estrato Egf presenta la mayor carga de combustible, superando por 1% al estrato Pe y por 5% al estrato Pt, mientras que supera en un 38% al estrato Pp. Se observa una superioridad de 32% del Egf con respecto al Egt.

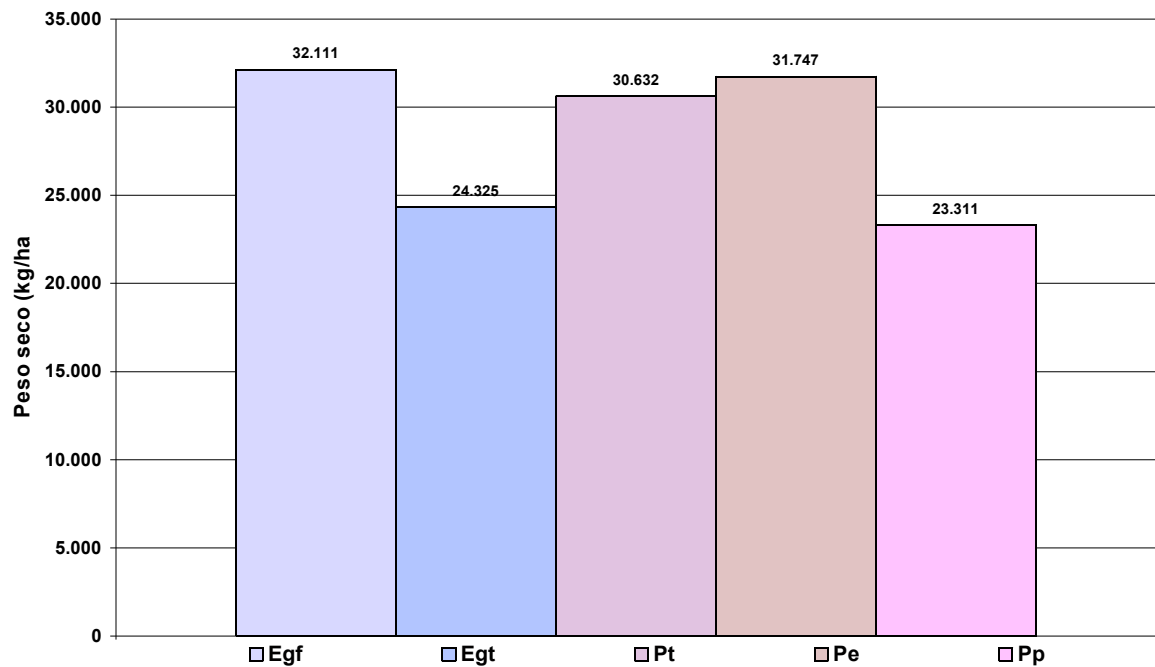


Figura 7. Promedio de la carga total de los estratos.

Al comparar la carga promedio de los estratos de Egf y Egt (en su conjunto) vs la carga promedio de los estratos de Pt, Pe y Pp (en su conjunto), estos últimos son superiores en 345 kg/ha de peso seco. Si dejamos de lado el estrato Pp, los Pinos también superan a los estratos de Eucalyptus, pero por 2972 kg/ha.

Si se analiza únicamente la carga promedio del combustible superficial fino se observa una superioridad de los estratos de Pino comparado con los estratos de Eucalyptus. La categoría combustible forestal superficial fino es la que presenta más incidencia en el inicio de un incendio forestal y es por lo tanto la que usualmente se considera para estimar el riesgo de incendios (figura 8).

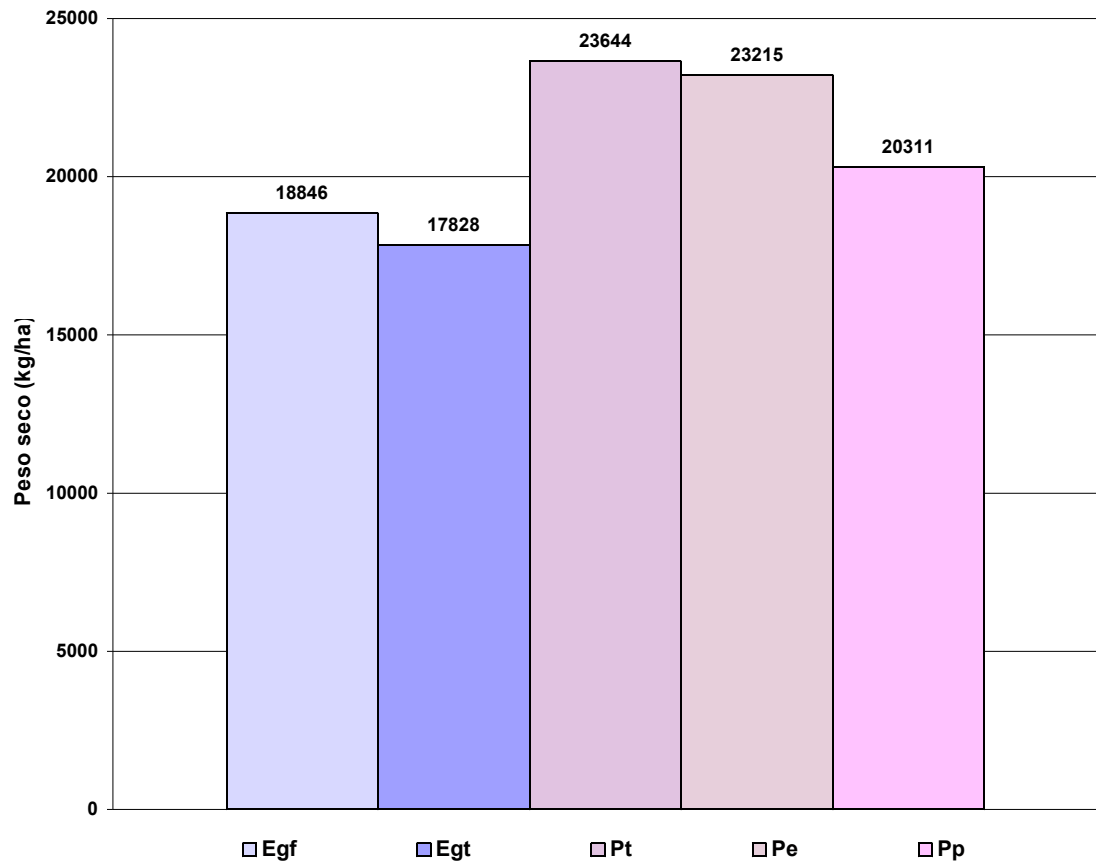


Figura 8. Carga promedio de combustible forestal superficial fino.

4.1.1. Los estratos de Eucalyptus

Dentro del estrato Egf se realizaron seis unidades muestrales (al igual que en el resto de los estratos). Se puede notar en la figura 9 que la parcela Egf3 presenta la mayor acumulación de combustible forestal superficial total (considerando todas las categorías de combustible) y que la parcela Egf5 presenta la menor carga de combustible. Cabe destacar la gran variabilidad observada dentro de los rodales, dado que tanto la parcela Egf3 como la Egf5 fueron extraídas de rodales contiguos y con igual manejo.

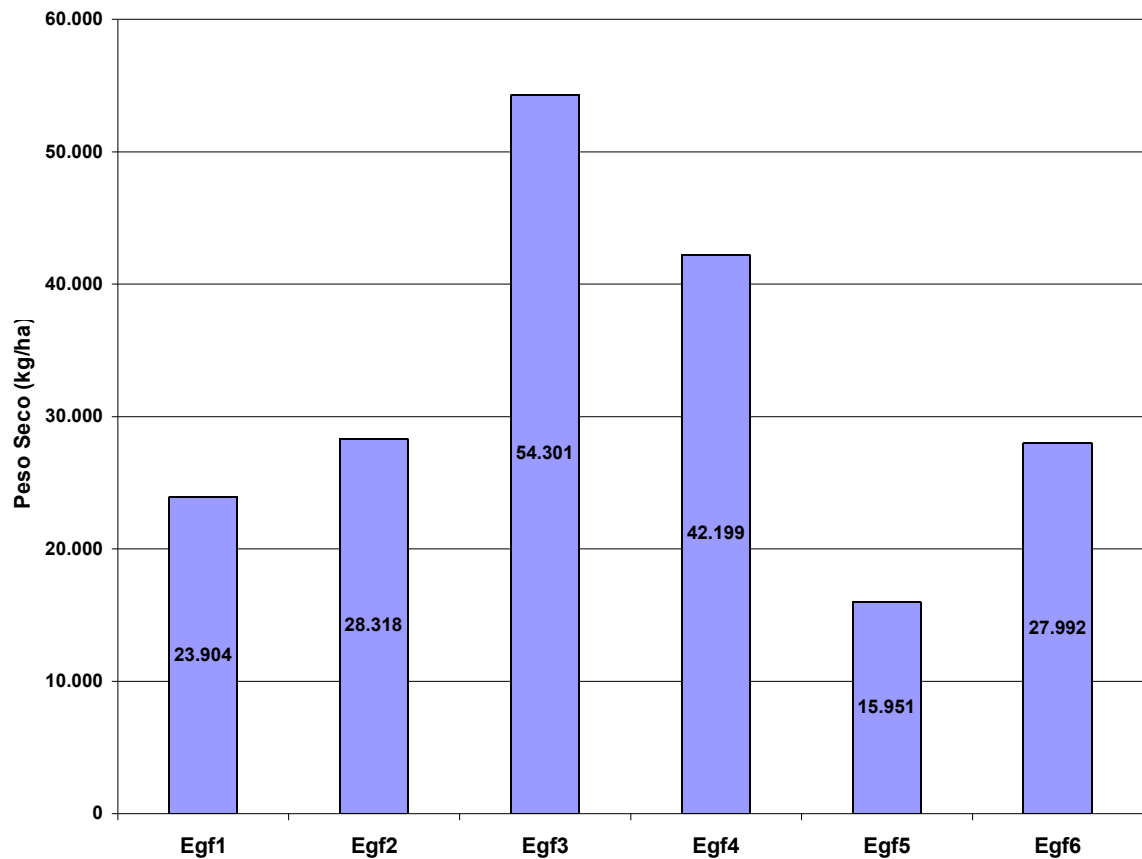


Figura 9. Carga total de las parcelas de *Eucalyptus grandis* fustal.

Si se compara la categoría Combustible Fino, Combustible Regular y Combustible Mediano se observa en la figura 10 que la carga de combustible fino es 2,5 veces superior al Combustible Regular y 3,3 veces superior al Combustible Mediano.

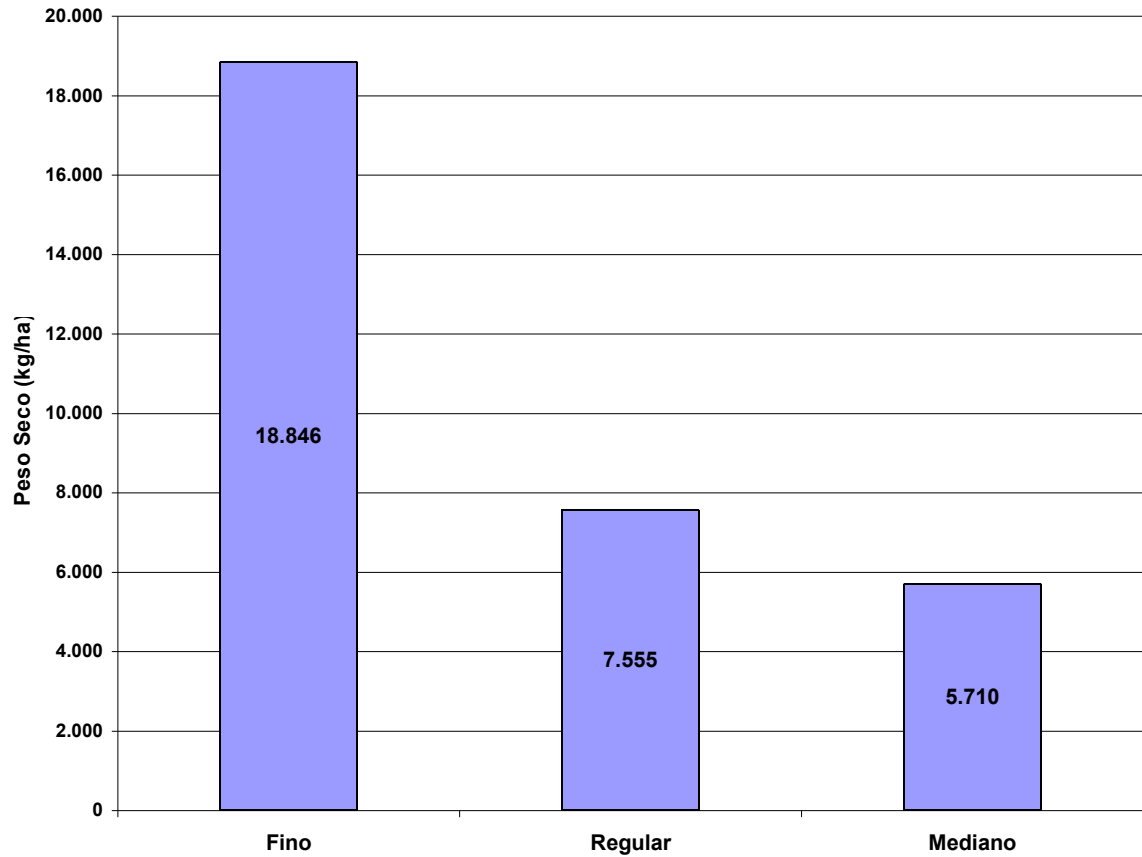


Figura 10. Promedio de las categorías de combustible de *Eucalyptus grandis* fustal.

En cuanto al estrato *Eucalyptus grandis* tallar (Egt), si se analiza individualmente las parcelas, las que presentan mayor carga de combustible son la Egt2 y la Egt5, siendo el promedio de ambas de 28.909 kg/ha, en cambio las parcelas Egt1, Egt3, Egt4 y Egt6 en su conjunto tienen una media aritmética de 22.033 kg/ha (31% inferior que las anteriores). Las parcelas Egt2 y Egt5 fueron obtenidas de un rodal que fue cosechado en 1991, mientras que las parcelas Egt1, Egt3, Egt4 y Egt6 fueron obtenidas de un rodal que fue cosechado en 1994, por lo que las diferencias seguramente se deban a la diferencia en el año de cosecha (figura 11).

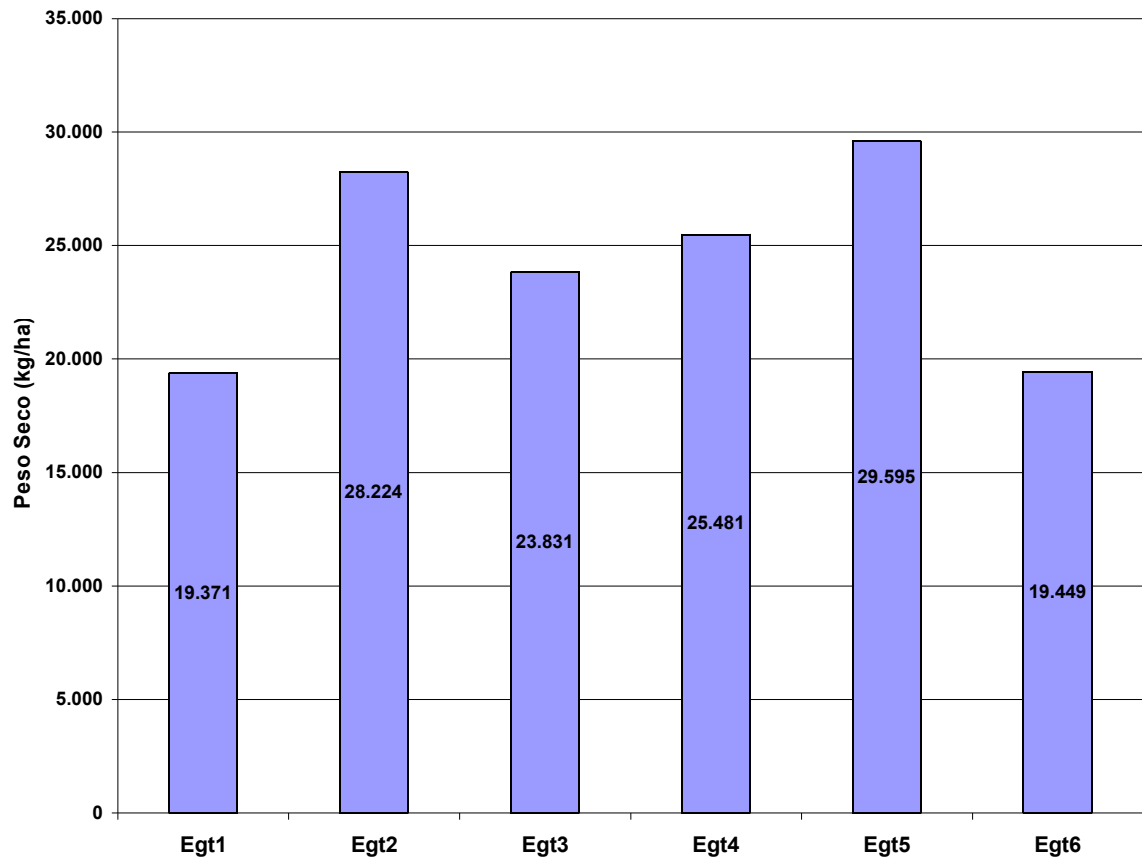


Figura 11. Carga total de las parcelas de *Eucalyptus grandis* tallar.

En la figura 12 se puede observar que no hay presencia de combustible mediano. Al comparar el promedio del combustible fino con el combustible regular se aprecia una superioridad de 174% del primero, incluso superior a la diferencia observada entre las mismas categorías en el estrato Egf.

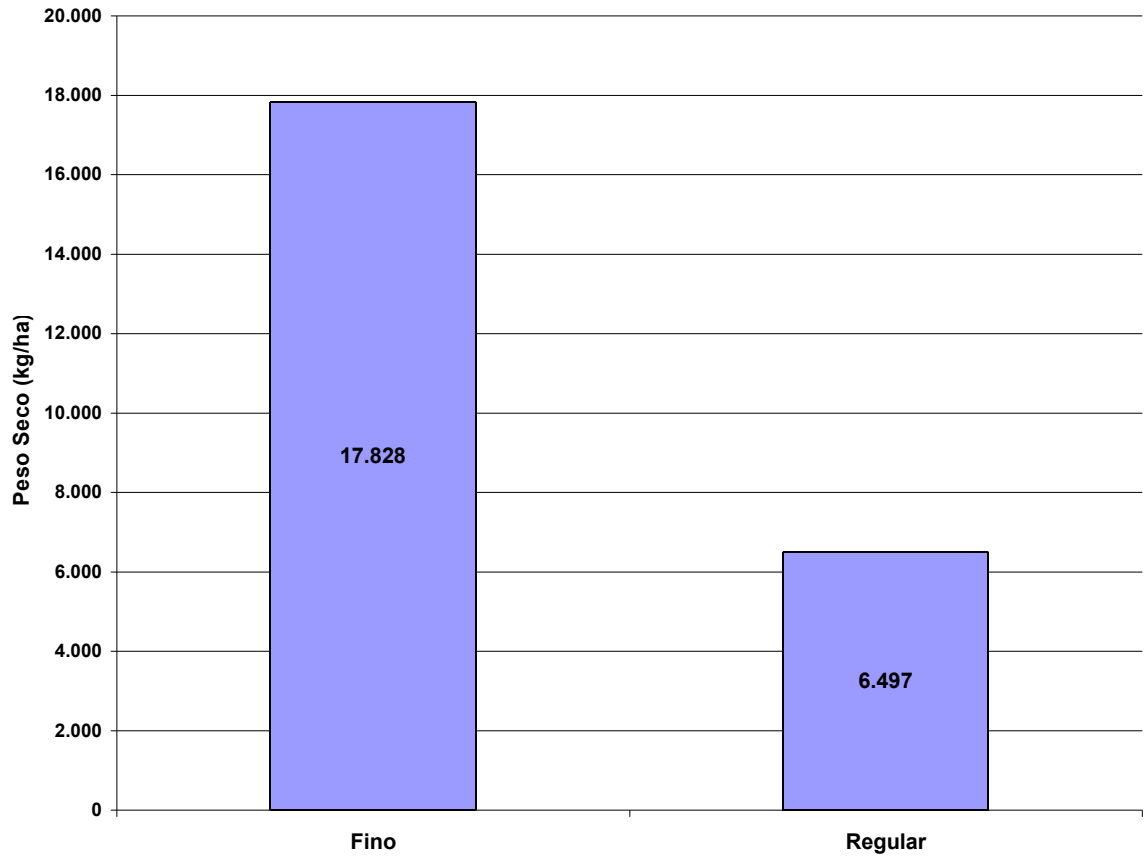


Figura 12. Promedio de las categorías de combustible de *Eucalyptus grandis* tallar.

Si se consideran las parcelas de Egf y de Egt en su conjunto, la categoría que presenta mayor carga de combustible es la de Ramas de diámetro inferior a 0,7 cm, siendo la categoría de Ramas de diámetro entre 0,7 y 2,5 cm la que le sigue en importancia. La carga de combustible de la categoría Material Verde es la que presenta el menor valor y debido a que presenta un alto contenido de humedad, hace que sea una categoría que generalmente no tiene incidencia en el inicio de un incendio forestal (figura 13).

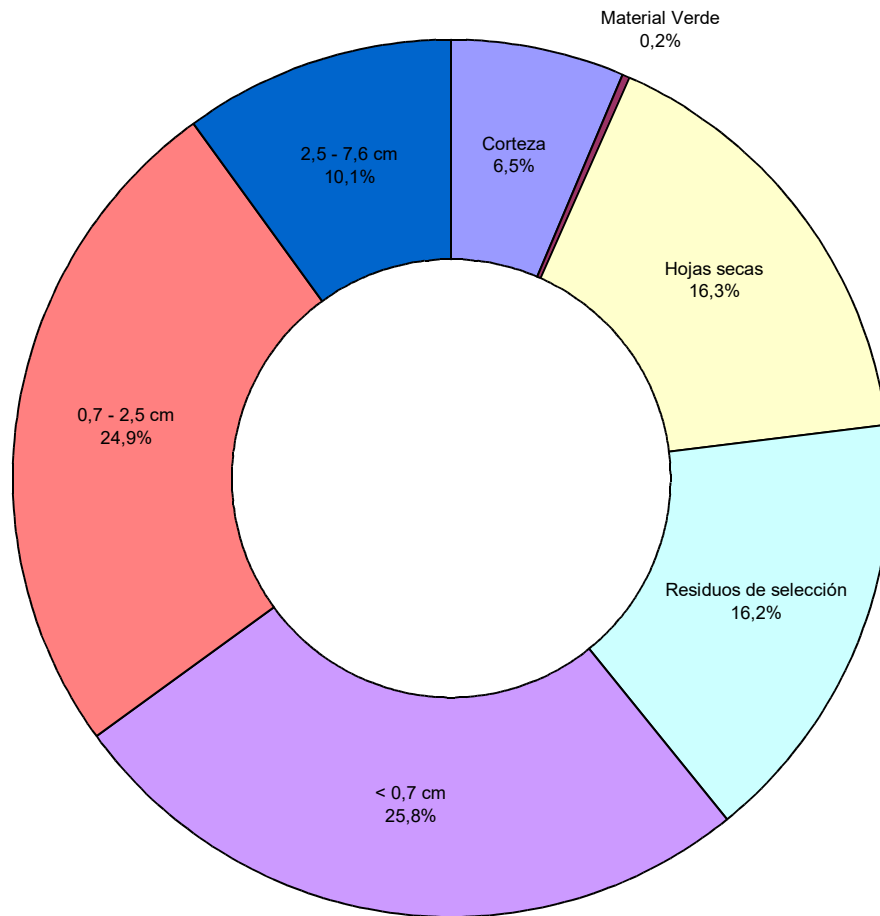


Figura 13. Proporción de cada categoría de combustible en los estratos de *Eucalyptus grandis*.

Si se compara los dos estratos de *Eucalyptus* (figura 14), se puede ver que la carga promedio de Egf es de 32.111 kg/ha, mientras que la de Egt es de 24.325 kg/ha, pero el valor mínimo de peso seco es menor para el estrato de Egf que para el de Egt, como se visualiza en la figura 13. Se encontró mayor variabilidad dentro del estrato de Egf (CV = 43%), que dentro del estrato de Egt (CV = 18%).

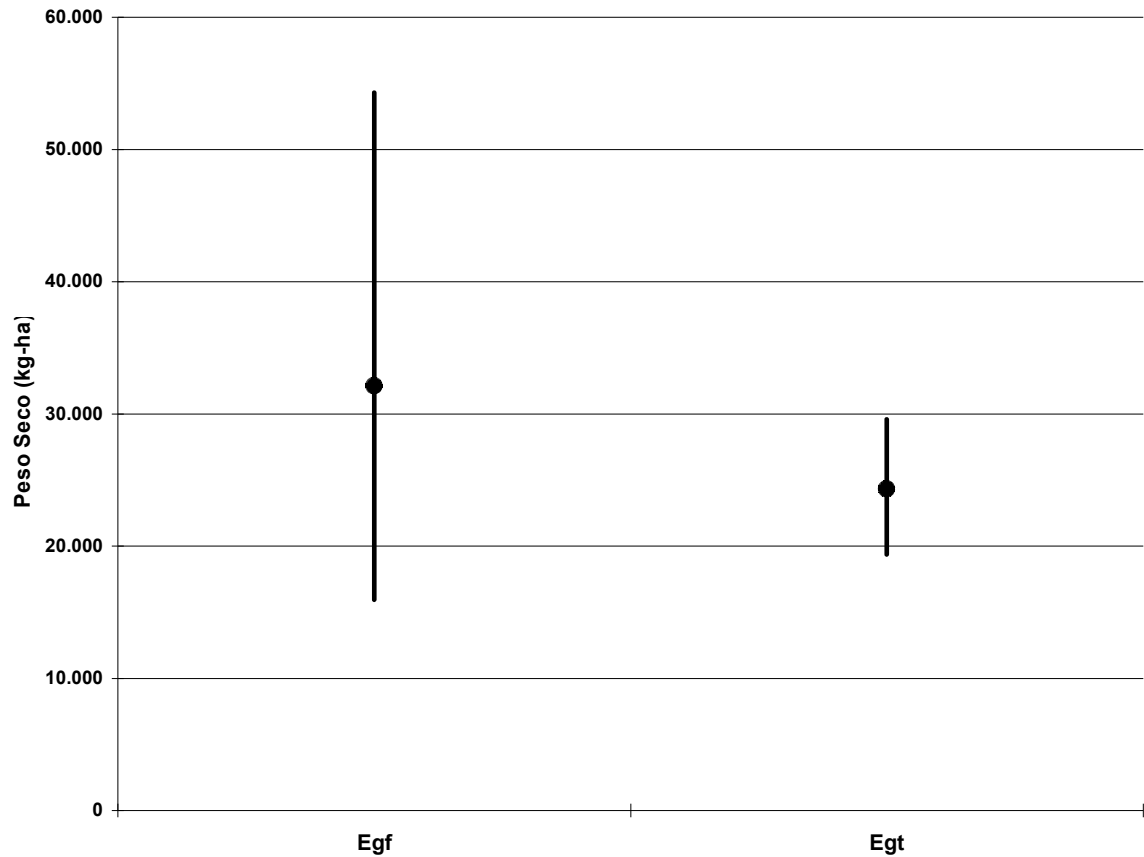


Figura 14. Comparación de la media, máximo y mínimo de la carga total de combustible en estratos de *Eucalyptus grandis*.

En la mayoría de las categorías (con excepción de la categoría: Ramas de diámetro <0,7 cm) existe una superioridad en cuanto al peso seco promedio del estrato Egf. La mayor diferencia se da en la categoría Hojas secas + Residuos de selección, donde el estrato Egf es 31 % superior al Egt (figura 15). Dado que los dos estratos pertenecen a la misma especie y coinciden en el año de plantación, seguramente las diferencias se deban al manejo silvicultural.

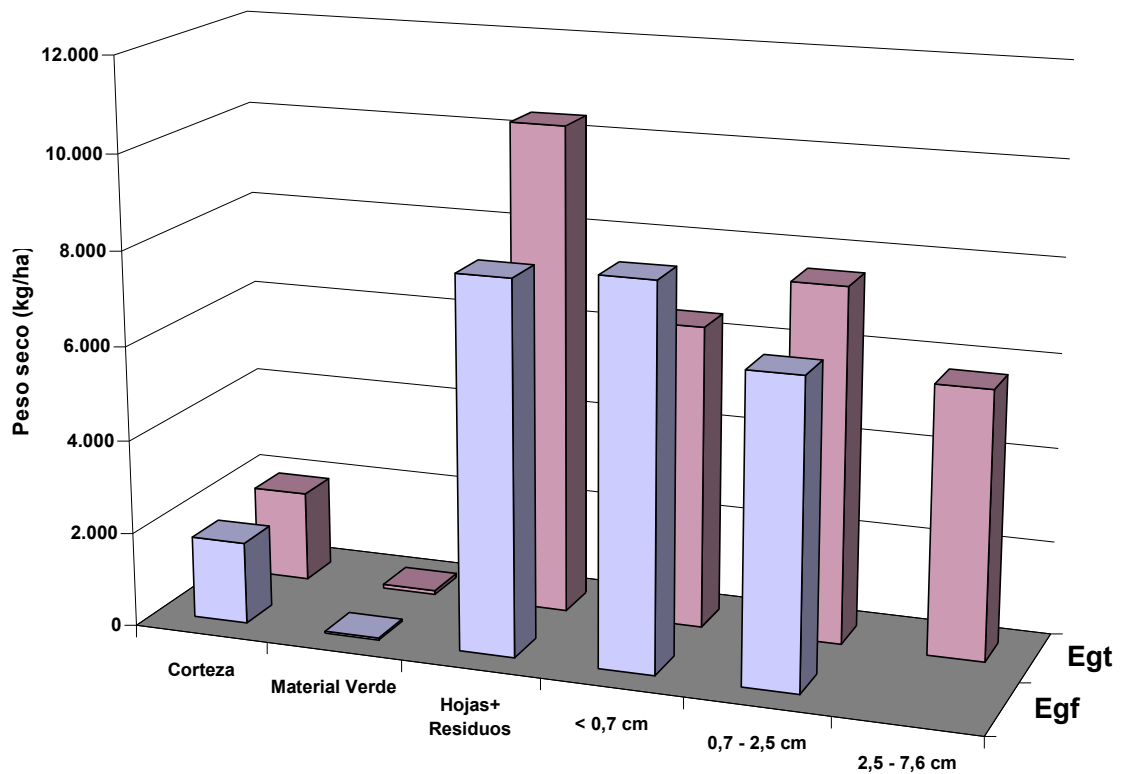


Figura 15. Comparación de los promedios de las categorías de combustible en estratos de *Eucalyptus grandis*.

4.1.2. Las estratos de Pinos

En la figura 16 se pueden observar las parcelas correspondientes al estrato de Pt, siendo la parcela Pt1 la que presenta mayor carga de combustible forestal superficial. La parcela Pt1 es prácticamente igual a la parcela Pt4 y 74 % superior que la parcela Pt2. La parcela Pt1 fue obtenida de un rodal que fue plantado en 1978 - 1979, es decir 2 a 4 años antes que el resto de los rodales que fueron muestreados, lo cual seguramente explique su superioridad.

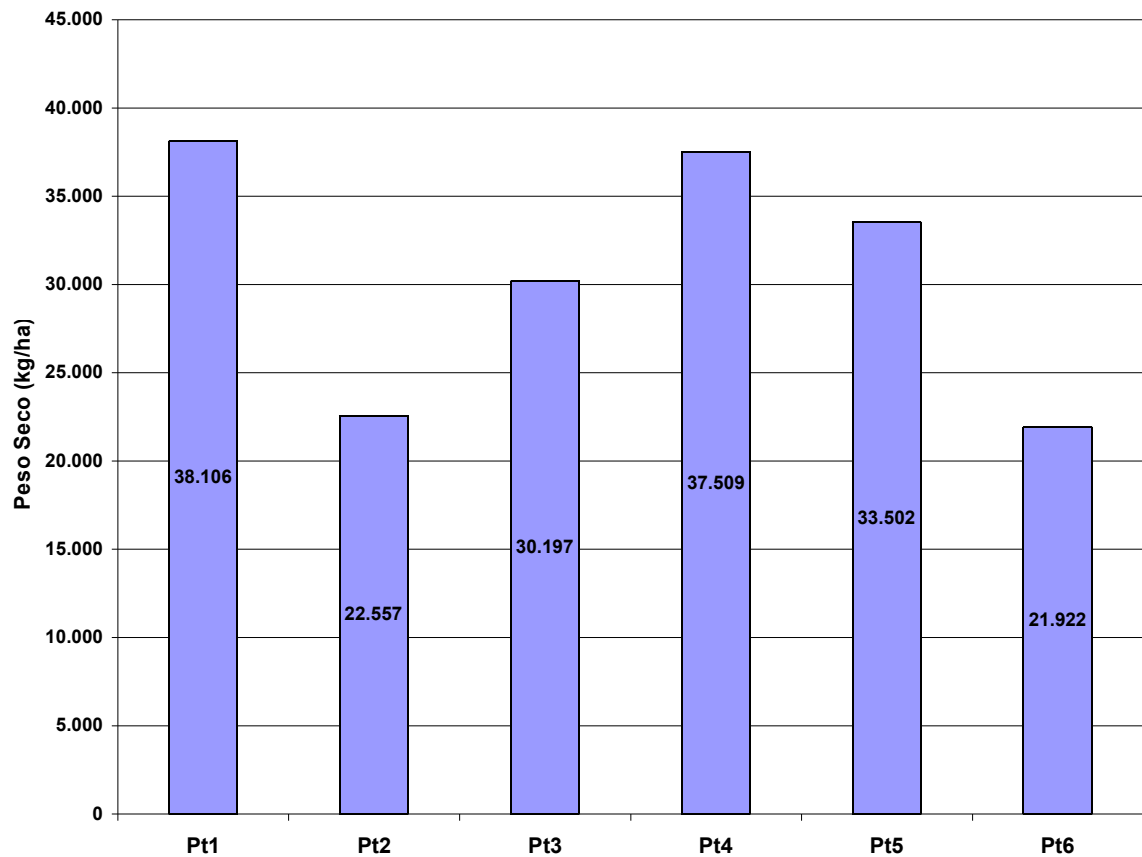


Figura 16. Carga total de las parcelas de *Pinus taeda*.

La categoría de combustible fino tiene una carga de combustible 6 veces superior a la categoría de combustible regular y 7 veces superior a la de combustible mediano (figura 17).

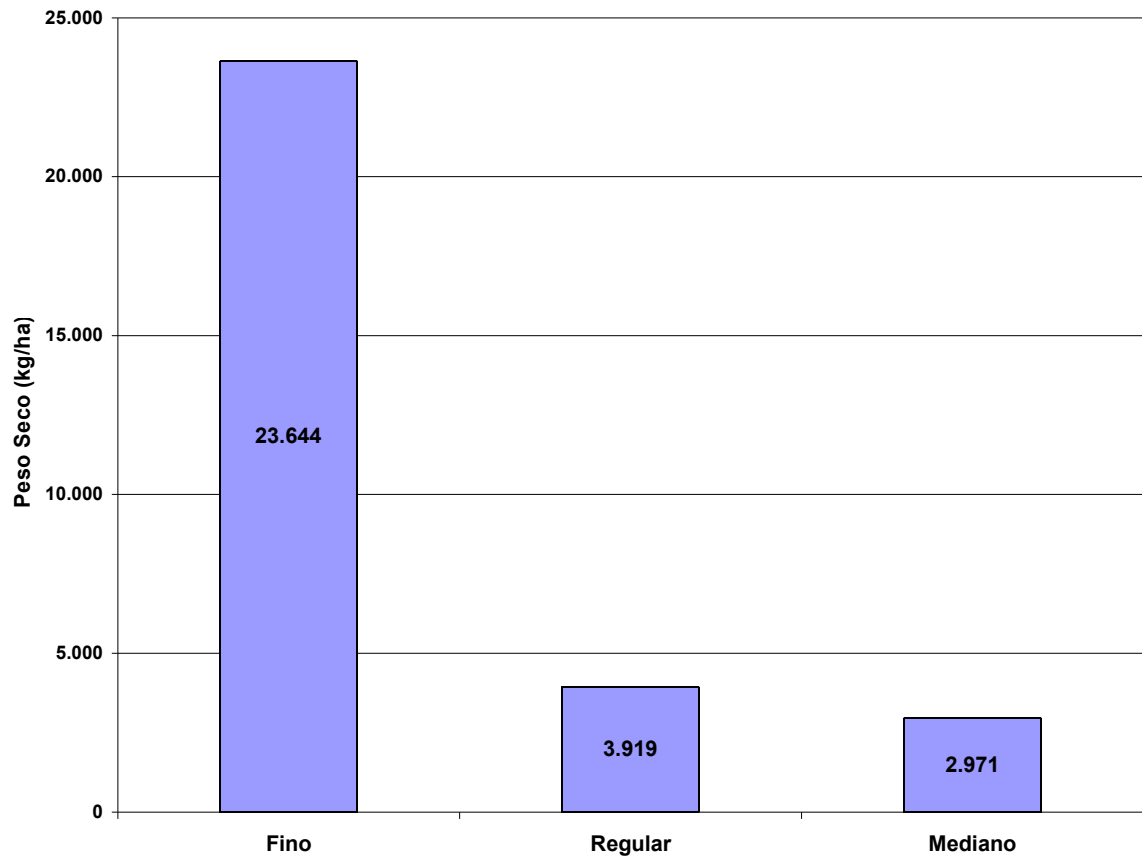


Figura 17. Promedio de las categorías de combustible de *Pinus taeda*.

En la figura 18 se presenta la carga total que se obtuvo en cada una de las parcelas del estrato *Pinus elliottii*. La parcela Pe3 es la que presenta la menor carga de combustible superficial, la cual es 6 veces inferior a la parcela Pe2, que es la parcela con mayor carga de combustible. Las parcelas Pe5 y Pe6 fueron obtenidas del mismo rodal que fue plantado en 1979, presentando mayor carga de combustible forestal que el resto de las parcelas (con excepción de la parcela Pe2) que fueron obtenidas de un rodal que fue plantado en 1981. Considerando el peso seco promedio de las parcelas, este estrato es el que presenta mayor coeficiente de variación, con un valor de 76 %.

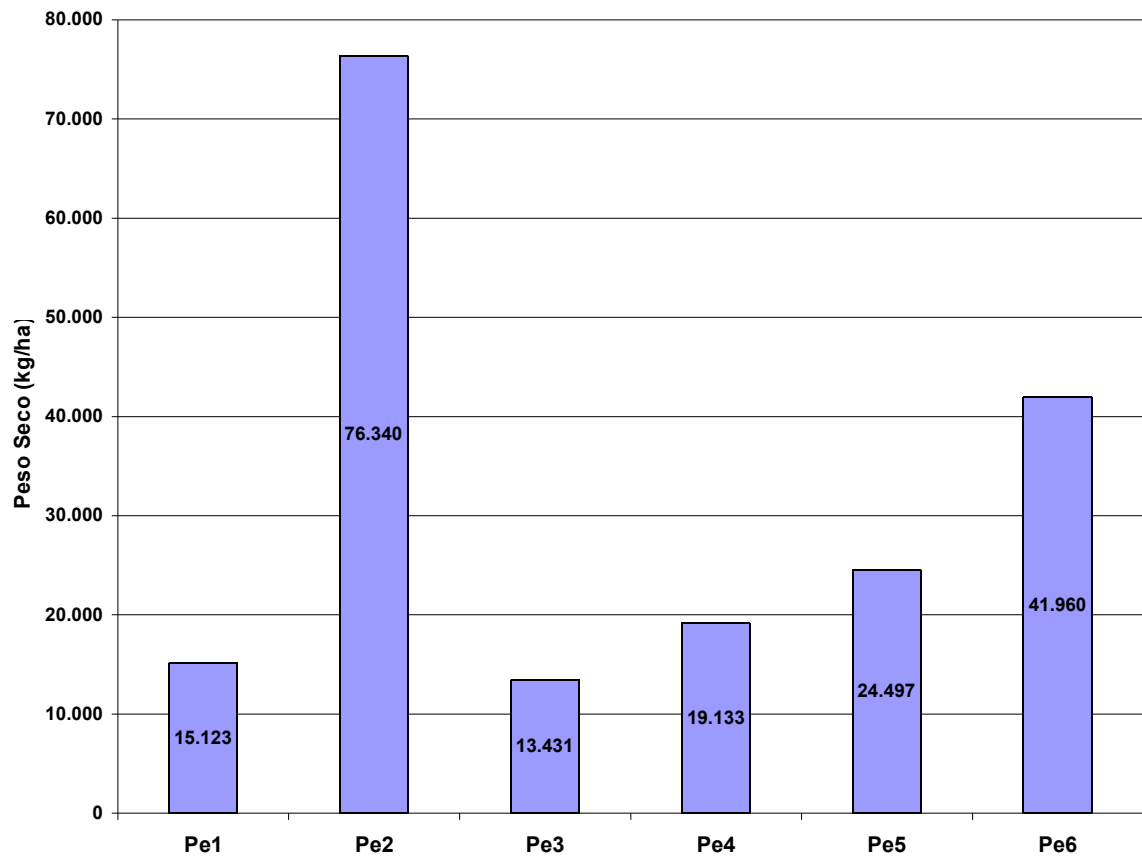


Figura 18. Carga total de las parcelas de *Pinus elliottii*.

En la figura 19 se advierte que a diferencia de lo que sucede en los estratos de Pt y Pp (figuras 17 y 21), en Pe la categoría combustible mediano supera a la categoría combustible regular, pero la categoría combustible fino sigue siendo superior a las categorías antes mencionadas, en este caso es más de 5 veces superior a la categoría combustible regular y a la categoría combustible mediano.

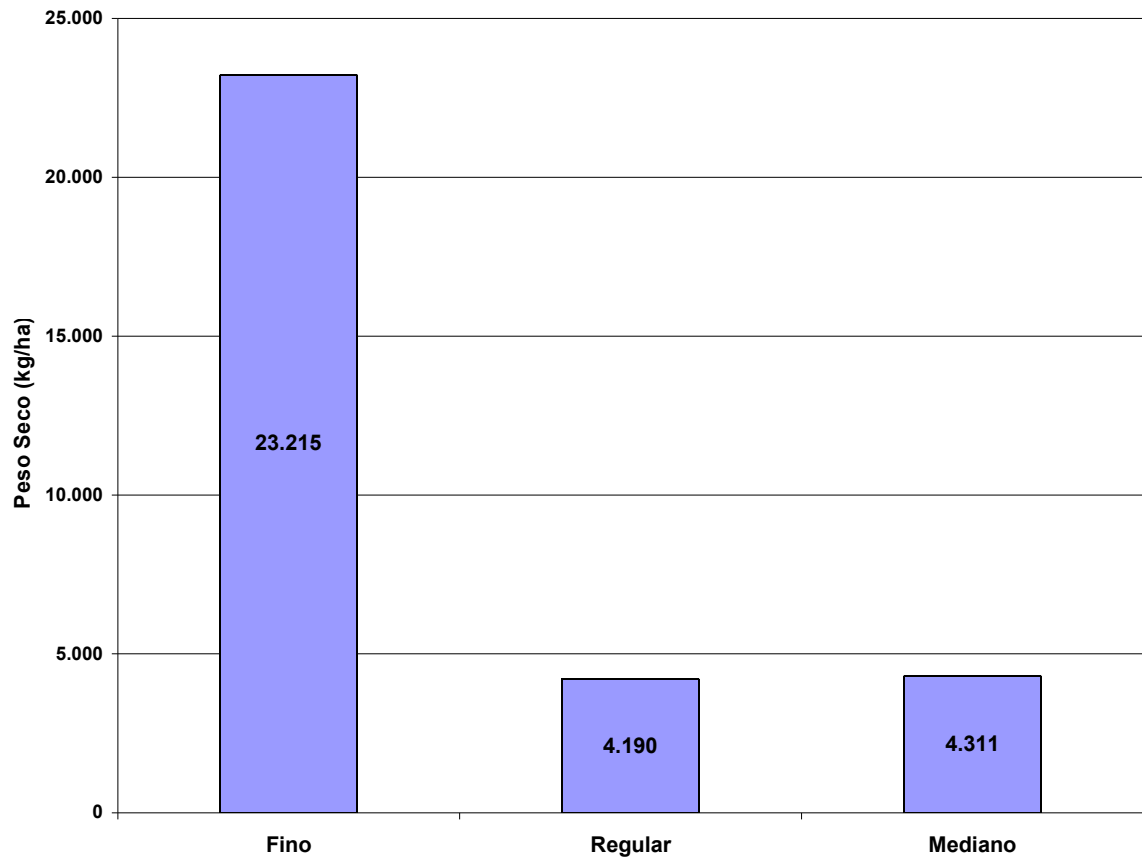


Figura 19. Promedio de las categorías de combustible de *Pinus elliottii*.

En el estrato *Pinus pinaster* se obtuvo una diferencia entre el valor mínimo (parcela Pp2) y el máximo (parcela Pp3) de carga de combustible forestal superficial total de 14.239 kg/ha, por lo que la parcela Pp3 es 75 % superior a la parcela Pp2 (figura 20).

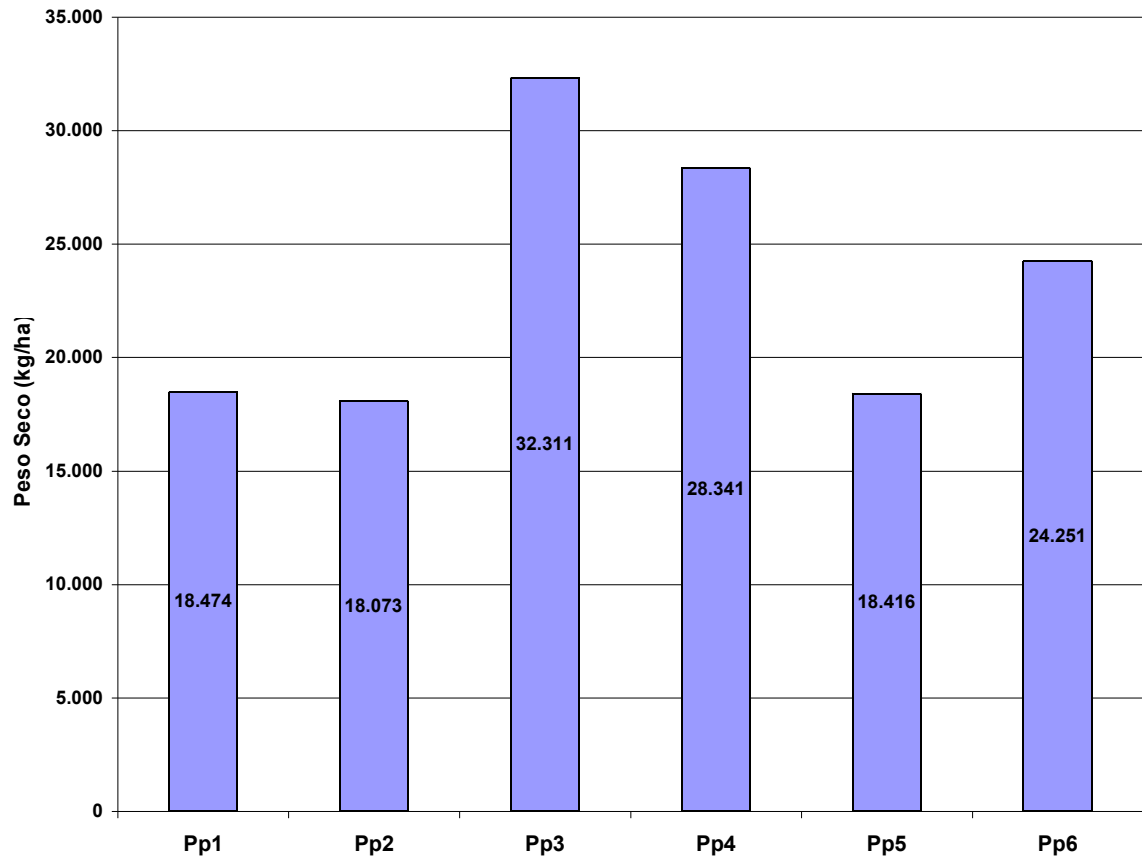


Figura 20. Carga total de las parcelas de *Pinus pinaster*

En la figura 21 se destaca el valor de la categoría combustible mediano que alcanza 483 kg/ha mientras que el combustible fino tiene un valor de peso seco 42 veces más grande.

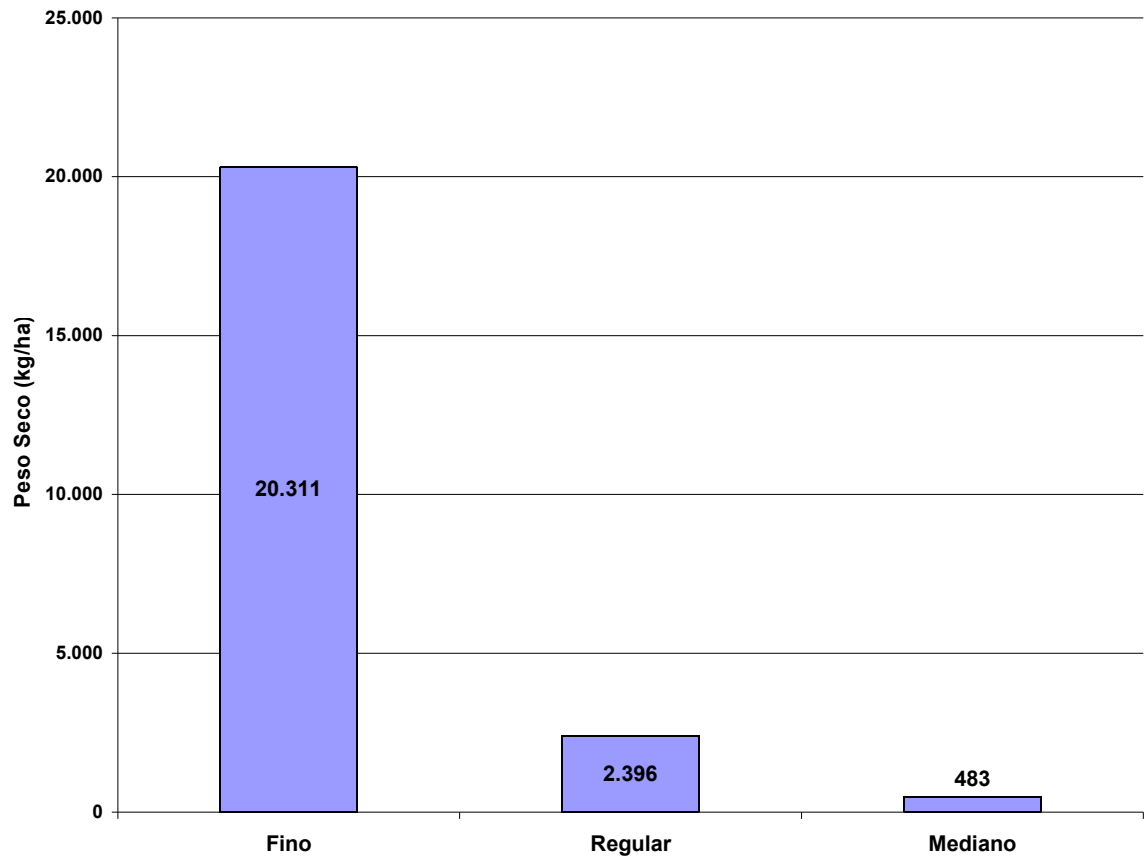


Figura 21. Promedio de las categorías de combustible de *Pinus pinaster*.

En la figura 22 se analiza la importancia relativa de las categorías de combustible en los tres estratos de Pinos (en su conjunto), la categoría que presenta mayor carga de combustible es la de Pinocha + Residuos de selección, abarcando más de la mitad del total. Al igual que en los estratos de Eg, las categorías: Material Verde y Corteza son las que tienen menor importancia.

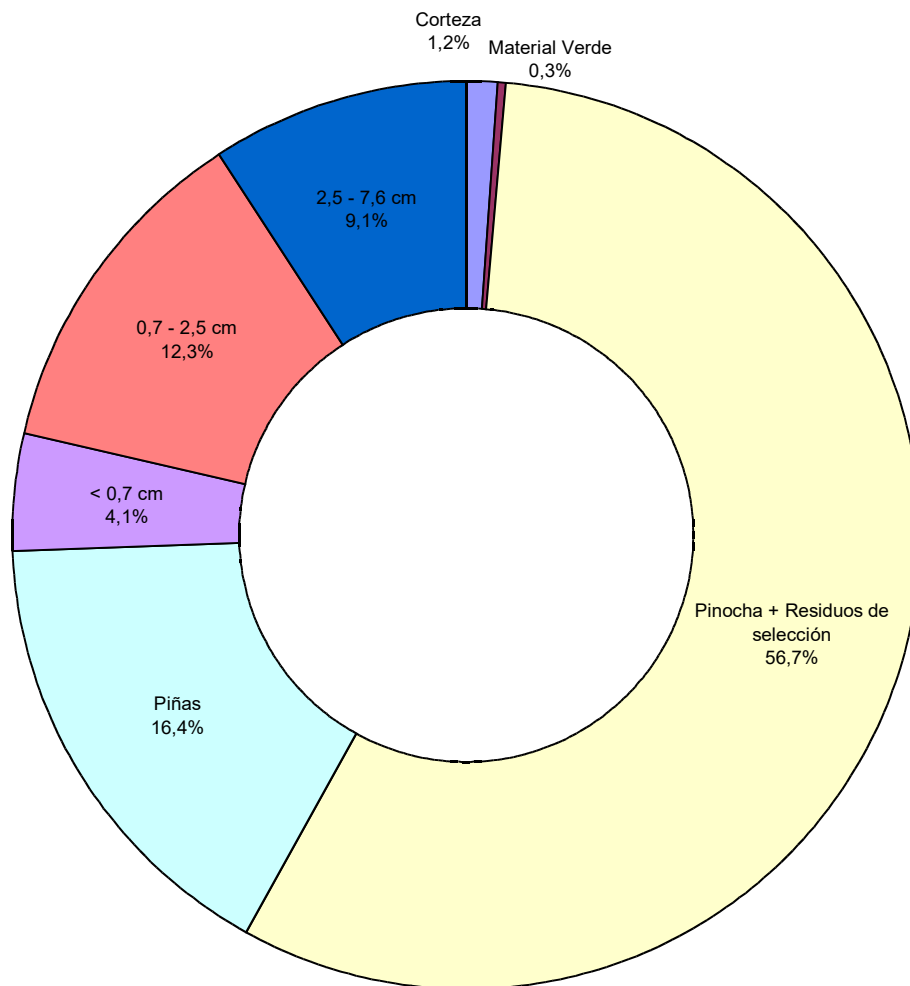


Figura 22. Proporción de cada categoría de combustible en los estratos de Pinos.

Al comparar los tres pinos entre sí, se aprecia que el Pe es el estrato que presenta la mayor variabilidad, con un coeficiente de variación de 76% que es tres veces superior al coeficiente de variación de Pt y de Pp. Dentro del estrato de Pe se encontró tanto la parcela con mayor carga de combustible, como la con menor carga de combustible. A su vez, considerando el promedio de las parcelas realizadas en cada estrato, el estrato de Pe es el que tiene el mayor valor, siendo el Pp el que tiene la carga promedio más baja (figura 23).

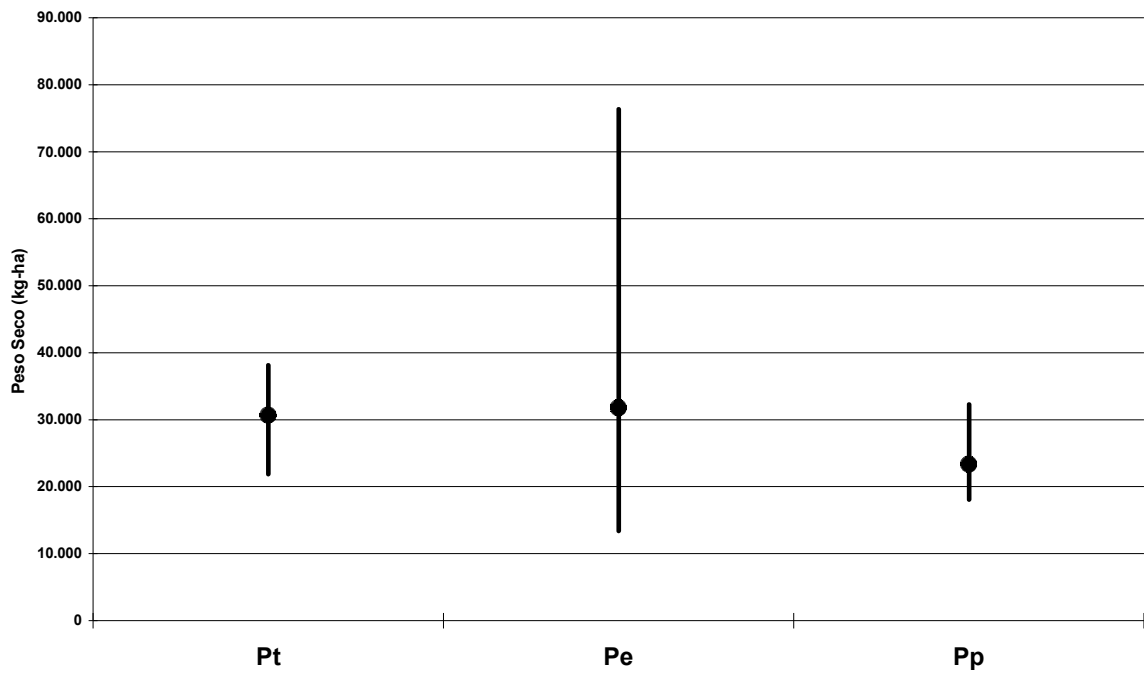


Figura 23. Comparación de la media, máximo y mínimo de la carga total de combustible en estratos de Pinos.

Como se puede percibir en la figura 24, al comparar la carga de combustible promedio para cada categoría de Pp, Pe y Pt, el estrato Pe es superior en las siguientes categorías de combustible: Corteza, Piñas, Ramas de diámetro entre 0,7 y 2,5 cm y Ramas de diámetro entre 2,5 y 7,6. El estrato Pp tiene las cargas de combustible promedio más elevadas para las categorías: Material Verde y Ramas de diámetro < 0,7 cm y el estrato Pt es superior únicamente en la categoría Pinocha + Residuos, que es la categoría más importante.

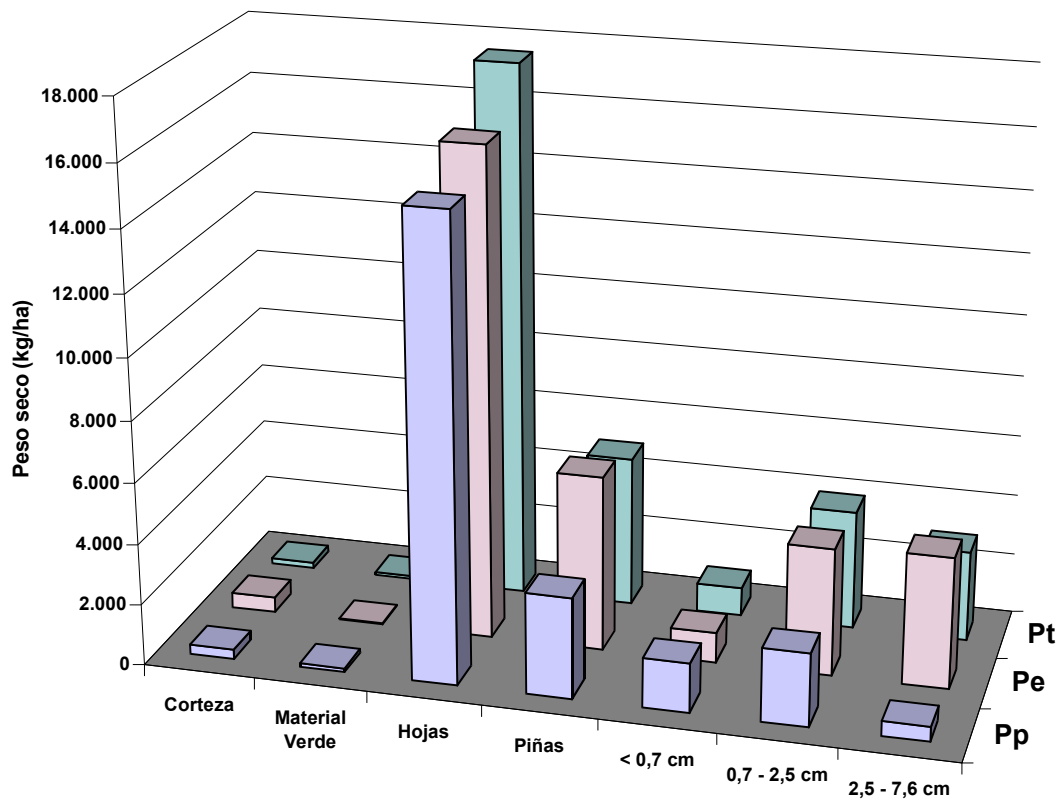


Figura 24. Comparación de los promedios de las categorías de combustible en los estratos de Pinos.

4.1.3. Las categorías de combustible

4.1.3.1. Comparación entre estratos

Cabe destacar que el material verde presenta un alto contenido de humedad que hace que generalmente no tenga incidencia en el inicio de un incendio forestal.

En la figura 25 se representan los valores de peso seco promedio de la categoría corteza. Se observa que los estratos de Eucalyptus acumulan una mayor cantidad de corteza que los estratos de Pinos. Si comparamos el promedio de corteza de los Pinos con el promedio de los estratos de Eucalyptus, estos últimos son 5 veces superiores. Esto seguramente se explica por la característica de la especie *Eucalyptus grandis* de presentar corteza caduca a diferencia de las especies del género *Pinus* consideradas que presentan corteza persistente.

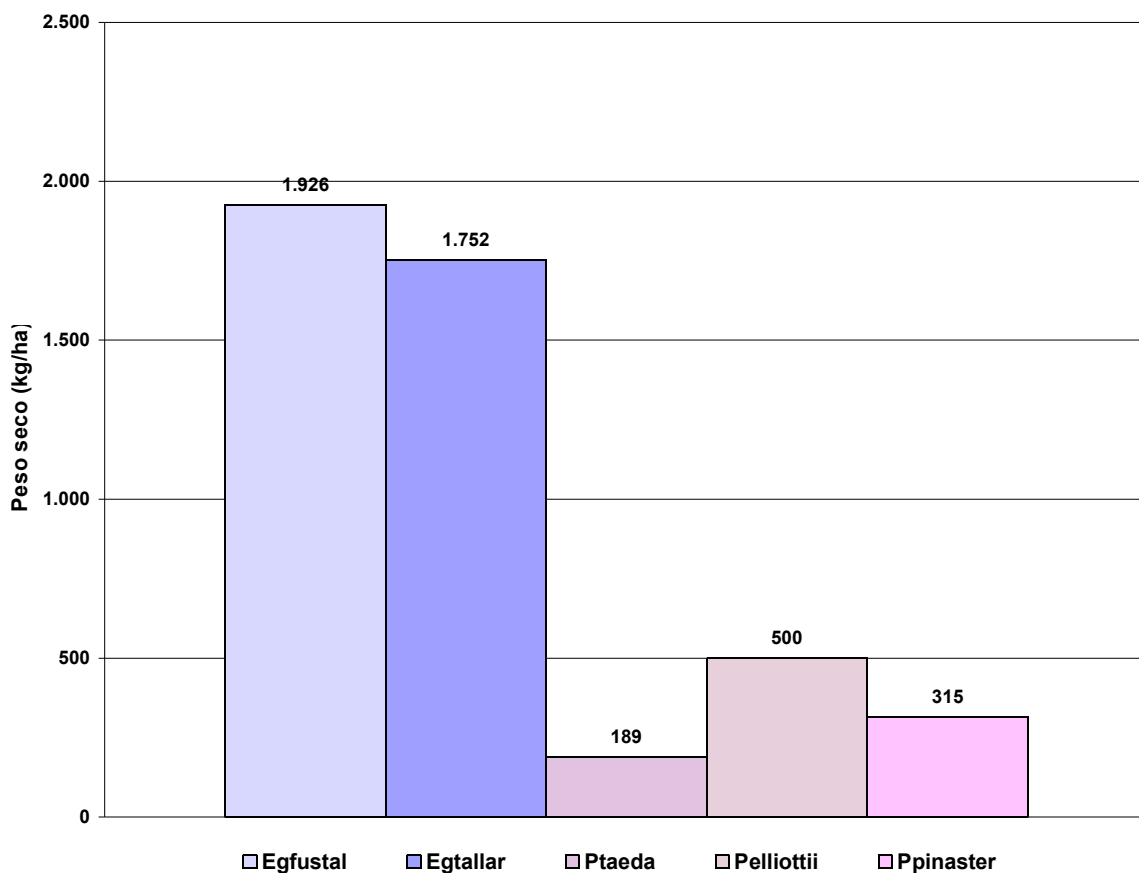


Figura 25. Comparación entre la carga promedio de corteza.

En la categoría Hojas + Residuos de selección se observa un predominio de los estratos de Pinos frente a los estratos de Eucalyptus (figura 26).

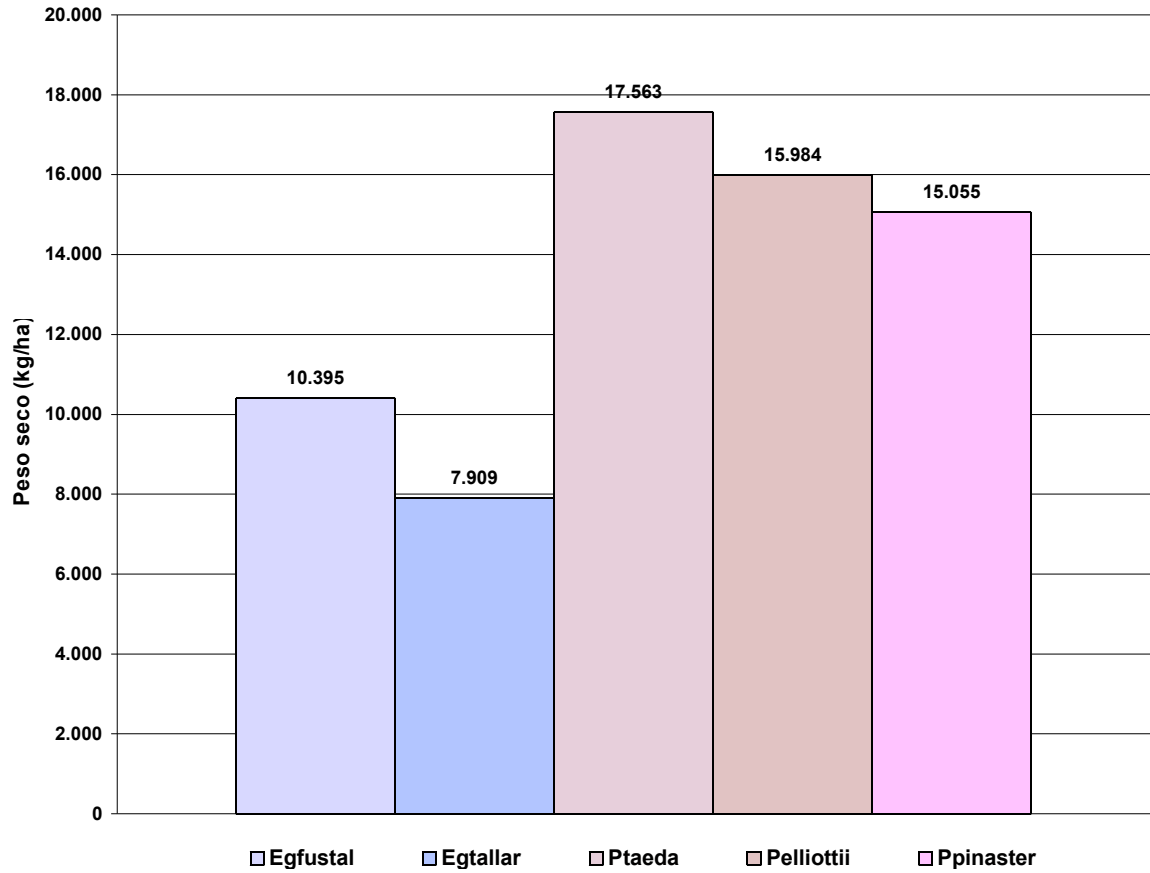


Figura 26. Comparación entre la carga promedio de Hojas + Residuos de selección.

El peso seco promedio de la categoría Piñas para los tres estratos de pinos se visualiza en la figura 27. Como para la mayoría de las categorías de Pinos, el estrato Pe es el que tiene un mayor valor de peso seco.

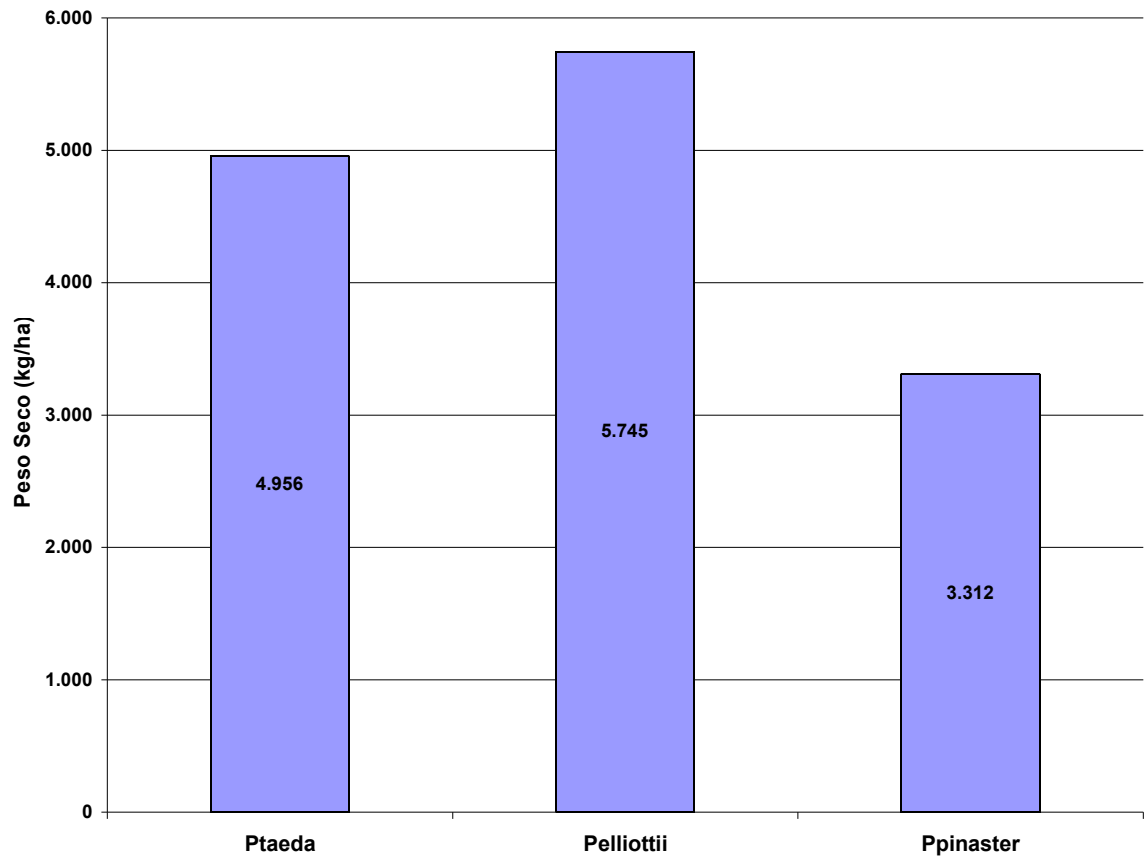


Figura 27. Comparación entre la carga promedio de Piñas.

La categoría Piñas existe solamente en los estratos de Pinos. Esto explica que en promedio los estratos de Pinos sean superiores en la carga de combustible a los estratos de Eucalyptus para la categoría Combustible Fino + Hojarasca (figura 26). Si no se considera la categoría Piñas los estratos de Eucalyptus tienen mayor peso seco promedio que los estratos de Pinos (figura 28).

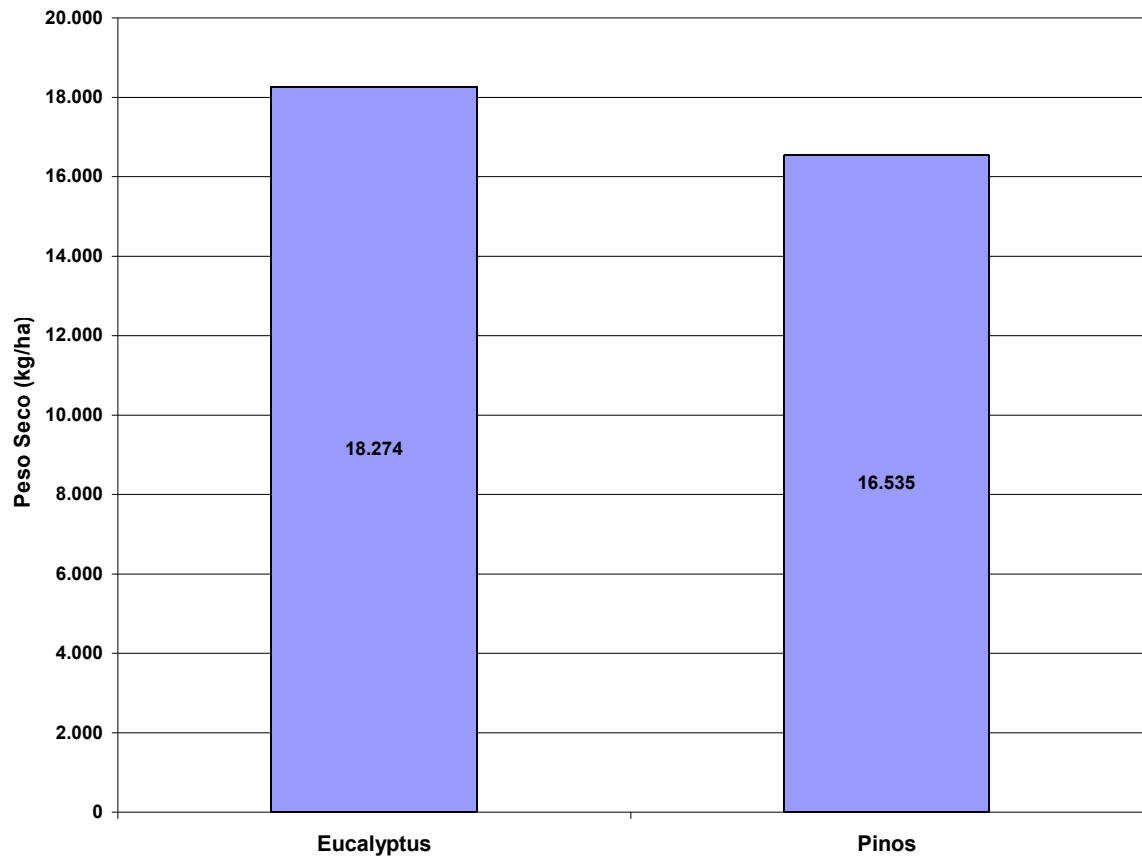


Figura 28. Comparación entre la carga promedio de Combustible fino (no incluye la categoría Piñas).

En la figura 29 se representan los valores promedios de la categoría Ramas de diámetro < 0,7 cm para cada uno de los estratos. Si analizamos la carga de combustible promedio de los dos estratos de Eucalyptus por separado, se aprecia que el Egt supera al Egf, a diferencia de lo que sucede en las otras dos categorías de ramas. A su vez se advierte una superioridad en la carga de combustible entre los estratos de Eucalyptus con respecto a los estratos de Pinos. El peso seco del estrato Pt es 74% menor al de Pp; en el caso de Pe es un 65% menor al estrato de Pp.

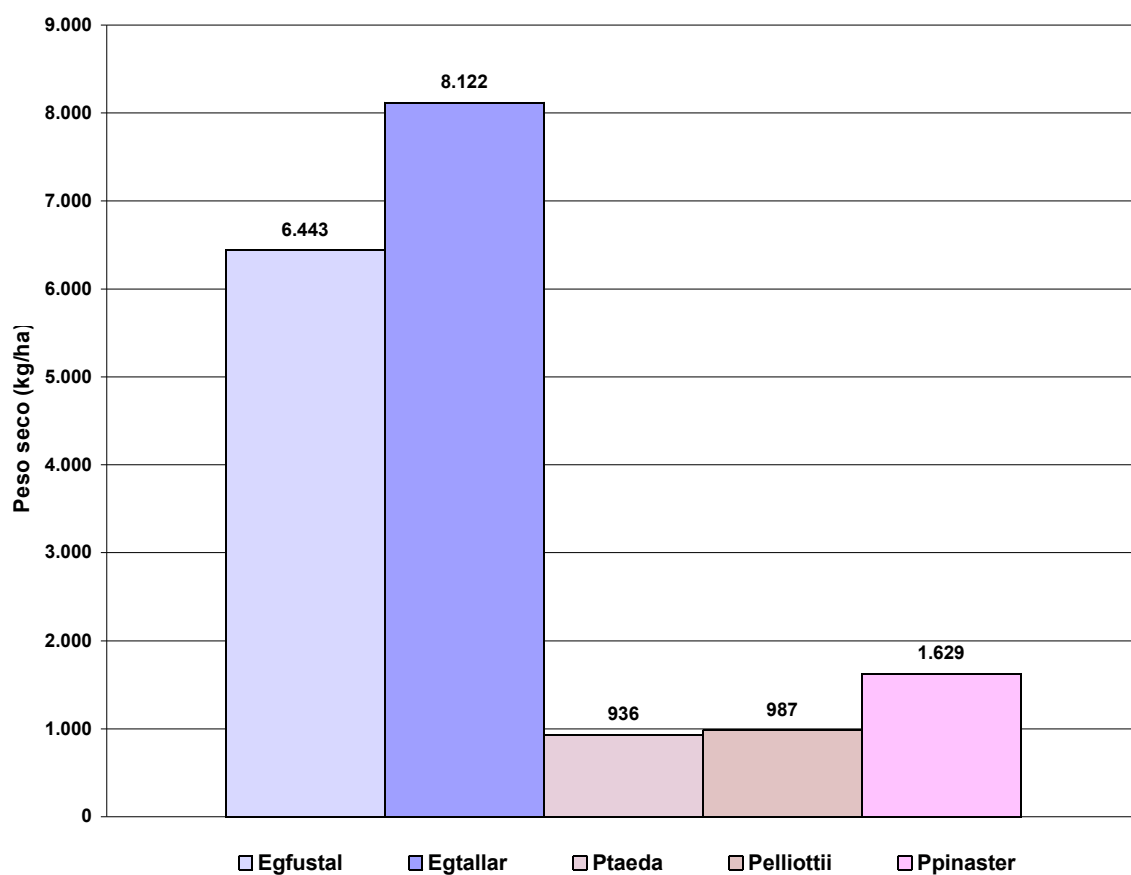


Figura 29. Comparación entre la carga promedio de Ramas de diámetro <0,7 cm.

Al igual que en la anterior categoría de ramas se mantiene una superioridad en la carga de combustible de los estratos de Eucalyptus con respecto a los estratos de Pinos, en este caso el promedio de los dos estratos de Eucalyptus es de 7.026 kg/ha en peso seco y el promedio de los estratos de Pinos es de 3.502 kg/ha en peso seco (figura 30).

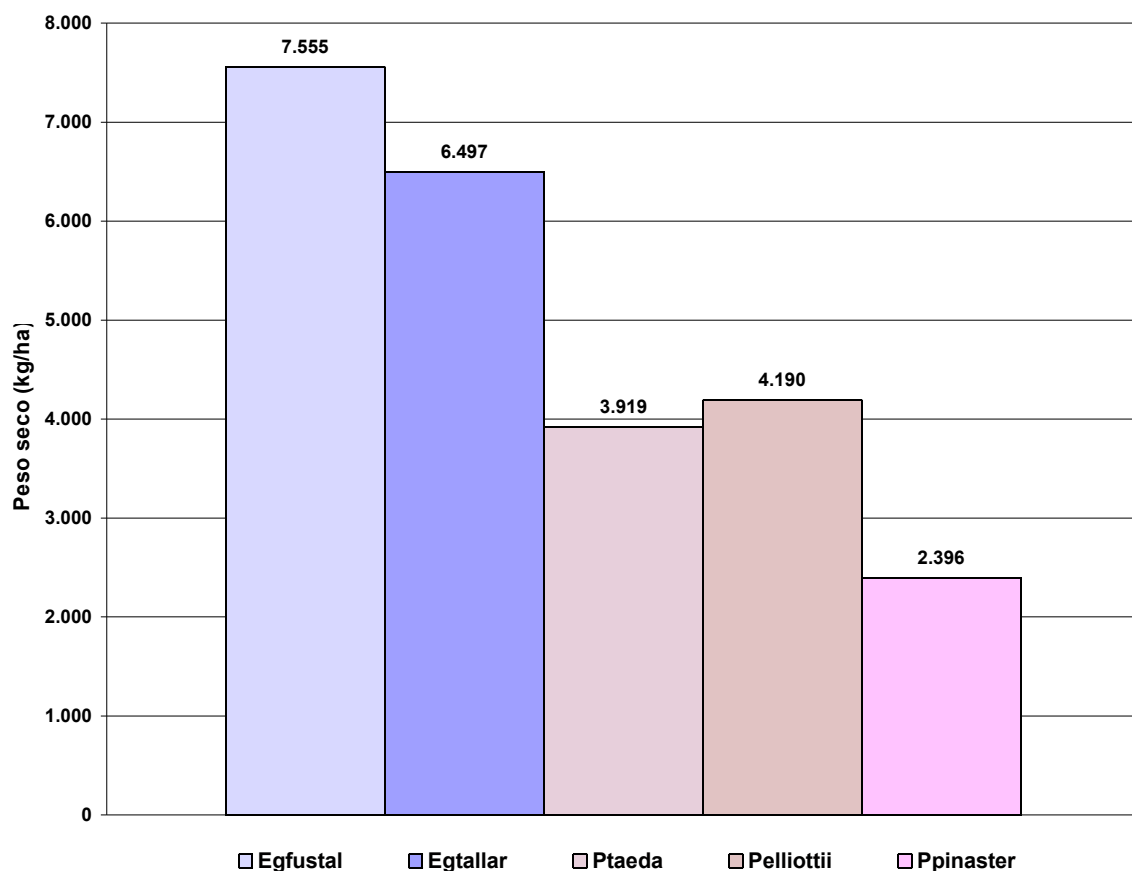


Figura 30. Comparación entre la carga promedio de Ramas de diámetro entre 0,7 y 2,5 cm.

Se puede notar en la figura 31 que los estratos de Eucalyptus muestran valores extremos en cuanto al peso seco de la categoría Ramas de diámetro entre 2,5 y 7,6 cm, el estrato Egt no presenta ramas de diámetro superior a 2,5 cm y el estrato Egf es el que tiene mayor carga promedio. Dentro de los estratos de Pinos, el estrato de Pe supera a los otros dos, siendo 1,5 veces superior al estrato de Pt y 9 veces superior al estrato de Pp.

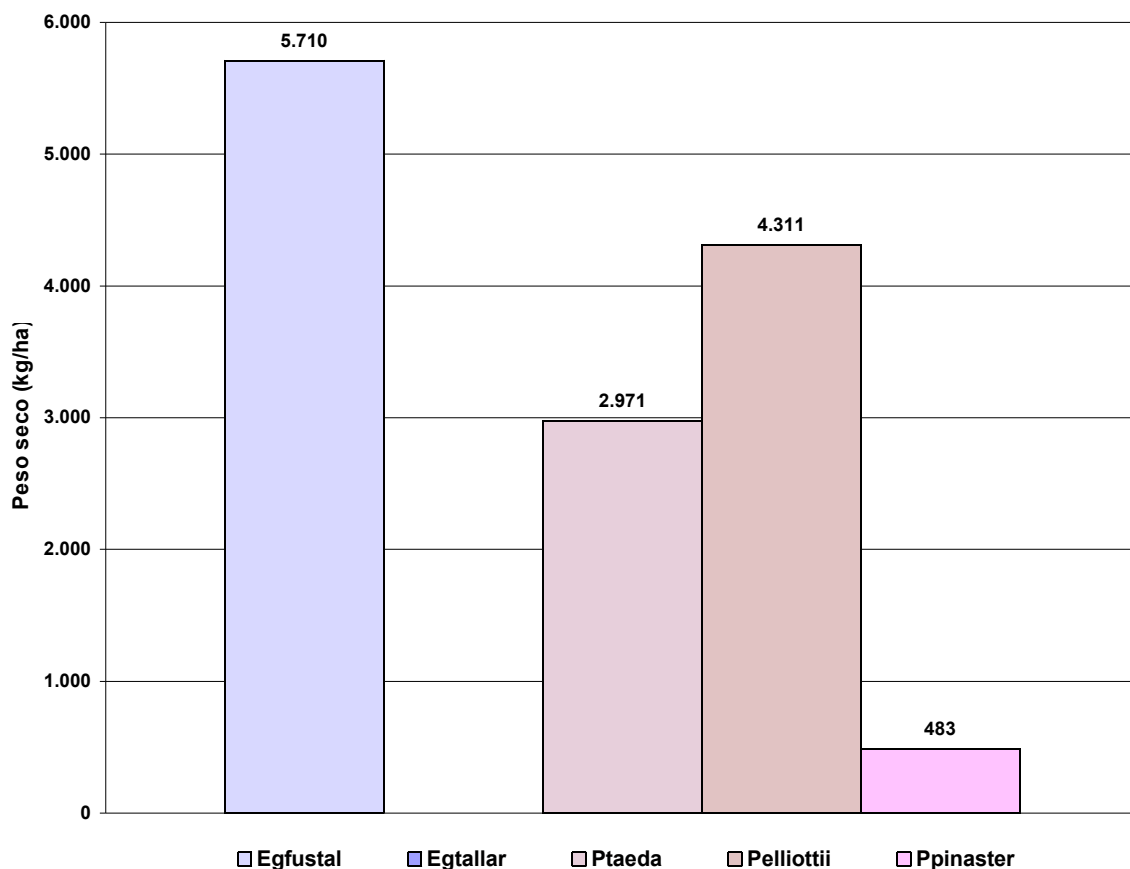


Figura 31. Comparación entre la carga promedio de Ramas de diámetro entre 2,5 y 7,6 cm.

Los estratos de Eucalyptus presentan un mayor peso seco promedio para las tres categorías de ramas que los estratos de Pinos. Es posible que esto se deba a que la especie *Eucalyptus grandis* tiene un mayor desrame natural. A su vez, la madera de *Eucalyptus grandis* tiene una menor tasa de descomposición.

En ninguna parcela se constató la presencia de material combustible superficial de la categoría combustible grueso, también denominado combustible de 1000 hr que comprende las ramas de diámetro superior a los 7,6 cm.

4.1.3.2. Correlaciones dentro de estratos

En el cuadro 46 se correlaciona la carga total de combustible de cada parcela con la carga de combustible fino y se observa que en todos los estratos existe una correlación superior a 0,8, llegando a un máximo valor de r de Spearman (Coeficiente de correlación de los rangos de Spearman o también llamado rho de Spearman) de 1, para el estrato Pe.

Cuadro 46. Valor de la r de Spearman entre Combustible Total vs Combustible fino.

	Combustible total vs Combustible fino	
	r de Spearman	Significancia
Egf	0,83	0,04
Egt	0,83	0,04
Pt	0,89	0,02
Pe	1	-
Pp	0,83	0,04

Dentro de los estratos de Eucalyptus existe una única pareja de categorías que presentan un Coeficiente de correlación de los rangos de Spearman superior a 0,7 para ambos estratos, la cual es: Corteza vs Ramas de diámetro < 0,7 cm (cuadro 47). Por lo que se deduce que en los estratos de Eucalyptus, en la medida que aumenta o disminuye la carga de corteza, entonces también se incrementa o se reduce proporcionalmente la carga de Ramas de diámetro < 0,7 cm, y viceversa.

Cuadro 47. Valor de la r de Spearman entre la categoría Corteza vs Ramas de diámetro < 0,7 cm para los estratos de Eucalyptus.

	Corteza vs <0,7cm	
	r de Spearman	Significancia
Egf	0,94	0,01
Egt	0,71	0,11

En los estratos de pinos, el estrato Pp alcanzó un valor del coeficiente de correlación de los rangos de Spearman de 0,93 para dos parejas de categorías: Corteza vs Ramas de diámetro entre 0,7-2,5 cm y Ramas de diámetro entre 0,7-2,5 cm vs Ramas de diámetro entre 2,5-7,6 cm. En los cuadros 48, 49 y 50 se muestran las tres parejas de categorías que presentan un valor de r de Spearman superior a 0,7 para los estratos de pinos.

Cuadro 48. Valor de la r de Spearman entre la categoría Corteza vs Ramas de diámetro entre 0,7 y 2,5 cm para los estratos de Pinos.

	Corteza vs 0,7-2,5cm	
	r de Spearman	Significancia
Pe	0,77	0,07
Pp	0,93	0,01

Cuadro 49. Valor de la r de Spearman entre la categoría Ramas de diámetro entre 2,5 y 7,6 cm vs Ramas de diámetro entre 0,7 y 2,5 cm para los estratos de Pinos.

	0,7-2,5cm vs 2,5-7,6cm	
	r de Spearman	Significancia
Pe	0,82	0,05
Pp	0,93	0,01

Cuadro 50. Valor de la r de Spearman entre la categoría Ramas de diámetro entre 2,5 y 7,6 cm vs Corteza para los estratos de Pinos.

	2,5-7,6 vs Corteza	
	r de Spearman	Significancia
Pe	0,88	0,02
Pp	0,82	0,04

Analizando los cuadros 48, 49 y 50 se ve que en los estratos de Pino (excepto Pt) existe una alta correlación entre las categorías: Corteza, Ramas de diámetro entre 0,7 y 2,5 cm y Ramas de diámetro entre 2,5 y 7,6 cm, es decir, que en la medida que varía la carga de corteza es probable que también se produzcan variaciones proporcionales en la carga de Ramas de diámetro entre 0,7 y 2,5 cm y de Ramas de diámetro entre 2,5 y 7,6 cm. Si a partir de un mayor número de muestras se confirma esta tendencia, entonces sería posible estimar, por ejemplo, el peso seco de la categoría Ramas de diámetro entre 0,7 y 2,5 cm indirectamente a partir del peso seco de la categoría Ramas de diámetro entre 2,5 y 7,6 cm, la cual resulta más fácil medir.

Si bien el estrato de Pt presenta un valor de $r = 0,94$ entre las categorías Ramas de diámetro entre 2,5-7,6cm y Ramas de diámetro $<0,7$ cm, en los tres casos mencionados es el estrato que presenta los menores valores de r . El estrato Pe presenta valores de r de Spearman = 0,94 para los siguientes dos pares de categorías: Pinocha + Residuos de selección vs Ramas de diámetro entre 2,5-7,6cm y Piñas vs Ramas de diámetro entre 0,7-2,5cm.

4.2. MAPAS DE RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES

4.2.1. Mapas de los factores que inciden en el inicio de un incendio forestal

En la figura 32 se pueden ver las zonas pobladas (presencia de casas y su zona de influencia de 200 m de radio) que se asocian a un incremento en el riesgo de incendios forestales. Dentro del área de estudio existen más de 20 casas que están habitadas durante todo el año. En el mapa no se aprecia la incidencia de los centros poblados más cercanos (Cabo Polonio y Barra de Valizas) debido a que se encuentran a una distancia superior a los 500 m del área de estudio.

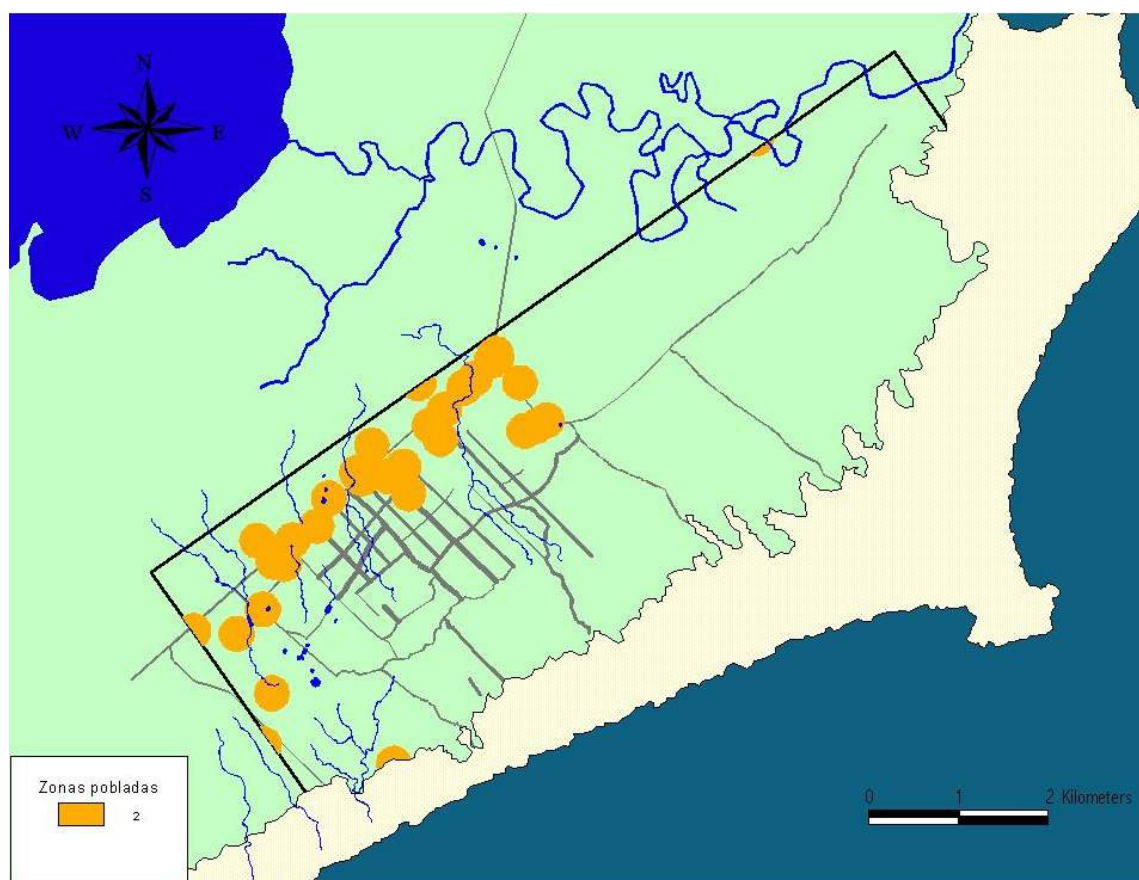


Figura 32. Mapa de cercanía a zonas pobladas.

El área de estudio es atravesada por la ruta nacional N°10, pudiendo observarse en la parte oeste del área de estudio como una zona de mayor riesgo debido al frecuente tránsito de vehículos y personas, principalmente en la época estival (figura 33). Existe un camino que permite el acceso al Cabo Polonio desde la ruta 10 (conocido como el camino de Vialidad), que presenta un tránsito de aproximadamente 54.000 personas por año en los meses de diciembre a febrero. También se pueden apreciar caminos menos transitados, dentro de los cuales se incluyen los caminos y cortafuegos ubicados dentro de la forestación, y que por ser los menos transitados se les adjudica la menor ponderación.

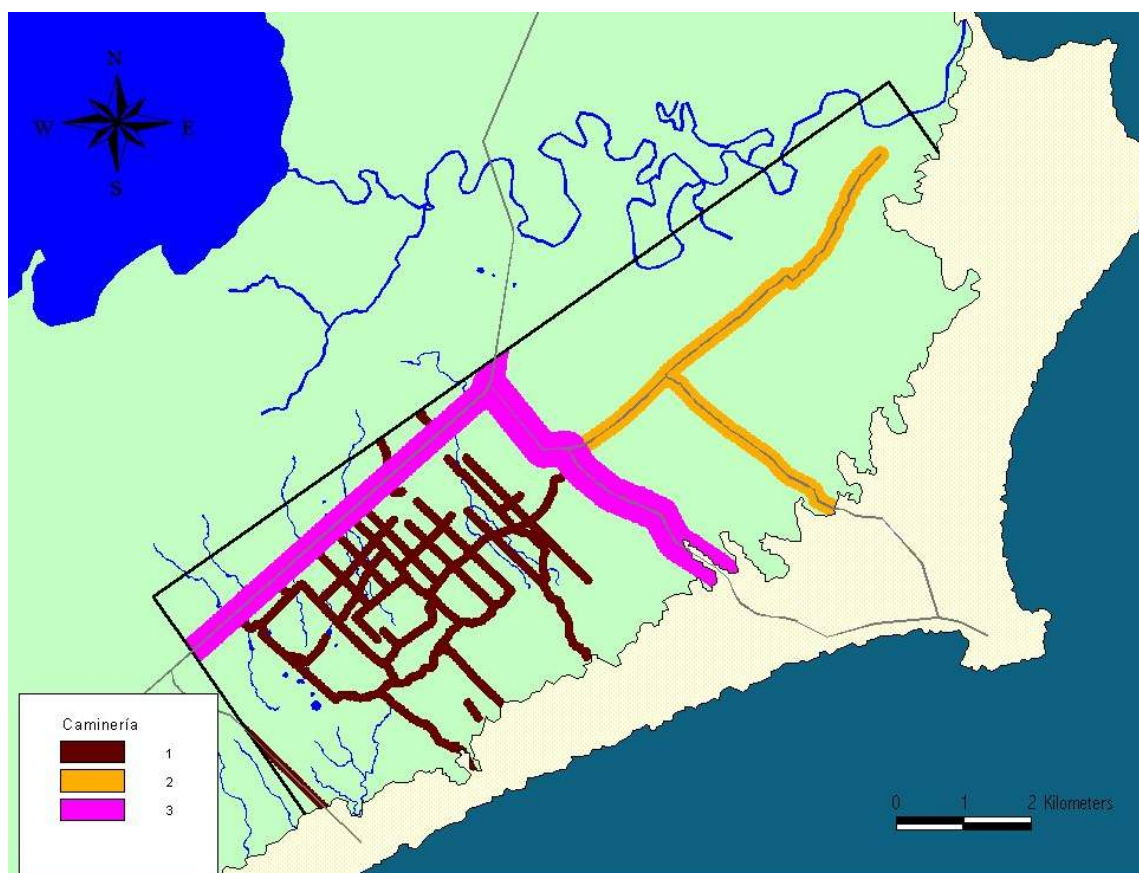


Figura 33. Mapa de la caminería.

Desde 1992, dentro del sector Cabo Polonio de la Reserva Forestal Cabo Polonio - Aguas Dulces no han ocurrido incendios forestales, pero si se han producido cuatro principios de incendios o conatos (dos de ellos fuera del área de estudio), lo que indica que existe un eficiente sistema de detección de incendios forestales que permitió un rápido control del fuego. En la figura 34 se puede ver la ubicación (aproximada) de los conatos (fuegos no controlados que se extendieron por una superficie menor a 1 ha). Se asume que si en dicho lugar efectivamente se inició un fuego no controlado, entonces es una zona de mayor riesgo. A su vez, se establece que en un radio de 200 m del lugar donde se inicio el fuego existen las mismas características que permitieron el inicio del conato. También hay que considerar que una vez ocurrido un incendio se modifican las características del lugar, por ejemplo: la carga de combustible disponible se reduce. Es importante destacar que ambos principios de incendio se originaron en la zona de influencia de la caminería.

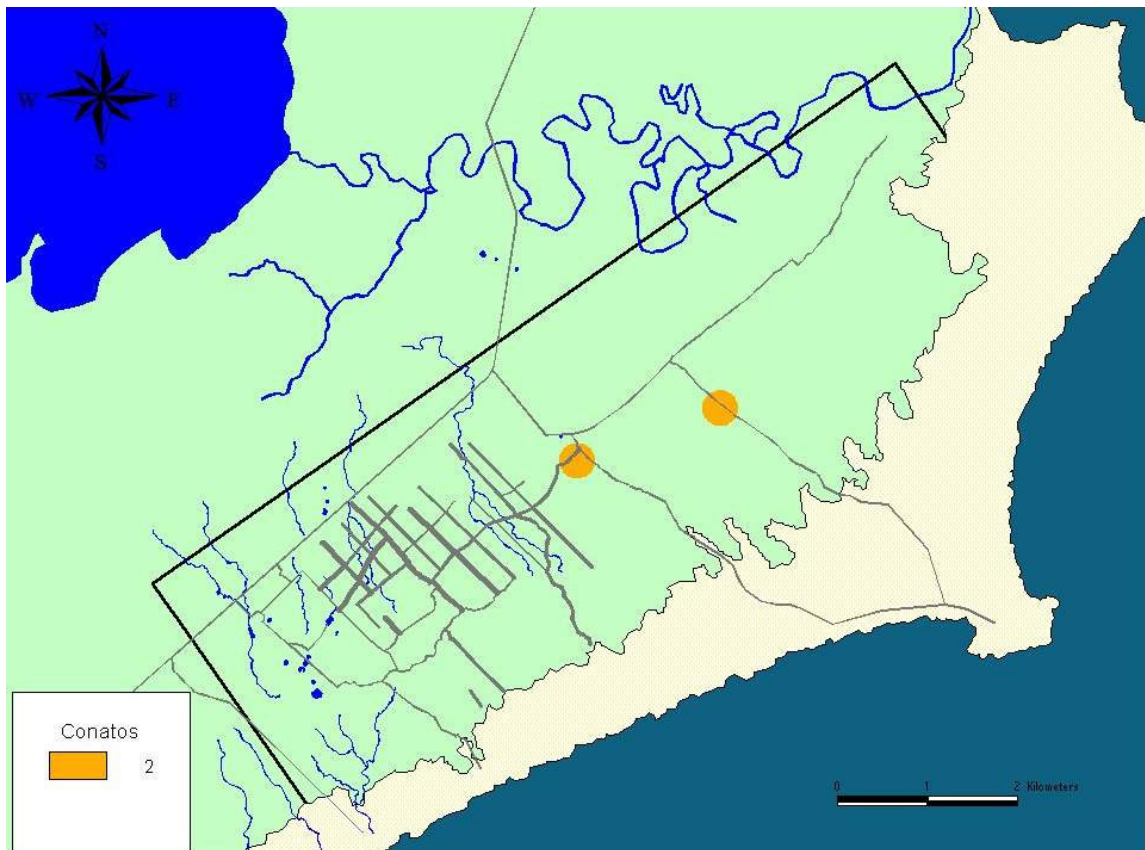


Figura 34. Mapa de principios de incendios.

4.2.2. Mapas de los factores que inciden en la propagación de un incendio forestal

La pendiente de las laderas es un factor que incide notablemente en la dirección y velocidad de propagación de un incendio, teniendo en cuenta que dentro de una masa boscosa la incidencia del viento es más reducida. Dentro del área de estudio existen laderas que son planas hasta pendientes de más de 25 %, pero predominan las laderas que presentan valores menores a 5 % (ponderación igual a 1). Los valores de pendiente inferiores a 0,1 % se consideraron que tienen un efecto nulo (valor 0) en la propagación de un incendio. Las mayores pendientes a las que se les adjudicó una mayor ponderación (3 y 4) coinciden con los médanos de arena, por lo que su incidencia se ve anulada (figura 35).

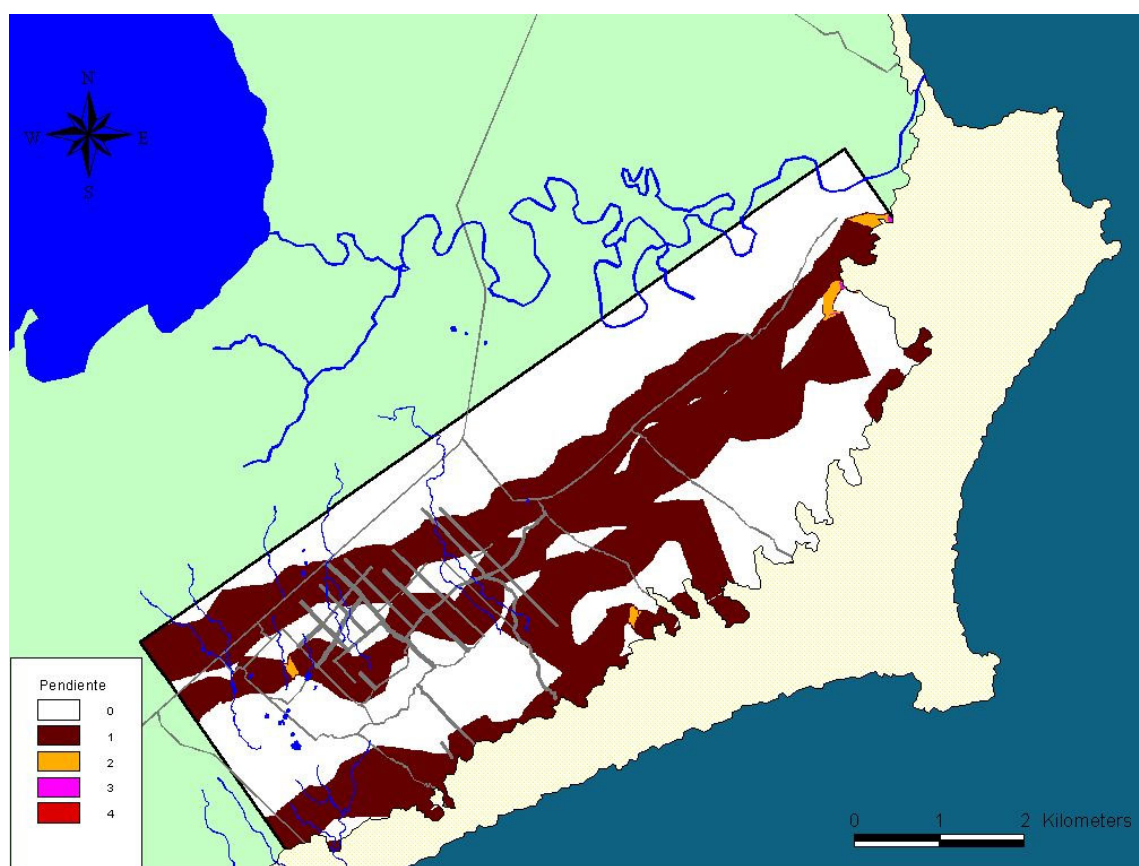


Figura 35. Mapa de la pendiente de las laderas.

Los cortafuegos naturales están constituidos principalmente por cursos y espejos de agua, siendo el más destacado el Arroyo Valizas, si bien el cortafuego más importante lo constituyen los médanos de arena contra la playa (al este del área de estudio). Existen caminos que actúan de cortafuegos y cortafuegos artificiales de distinto ancho, los cuales se ubican en su mayoría perpendiculares a los vientos predominantes (figura 36 y figura 40). Se asume que los cortafuegos artificiales son capaces de reducir la velocidad de propagación de un incendio forestal pero no de detenerlo.

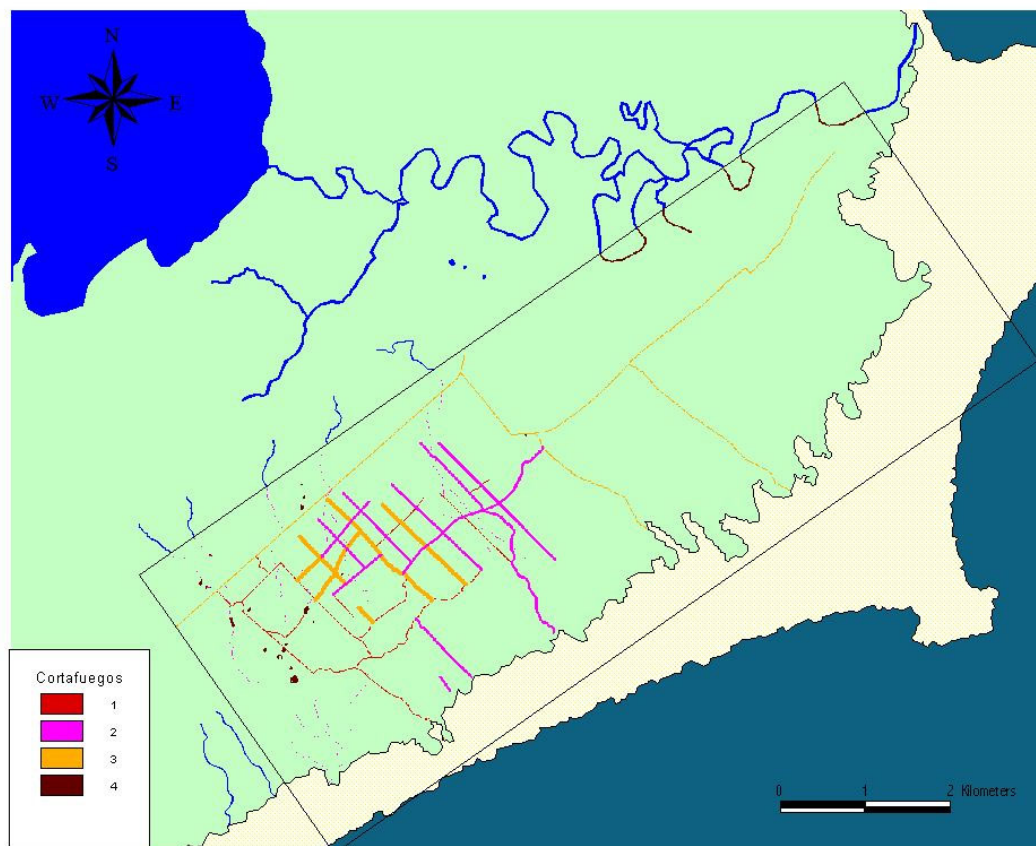


Figura 36. Mapa de cortafuegos

Las herramientas de combate compuestas por herramientas manuales y motobombas se ubican en un extremo del área de estudio, por lo que en el extremo opuesto se encuentra la zona con mayor nivel de riesgo (figura 37). Para compensar la ubicación distante de las herramientas, se dispone de un buen sistema de transporte.

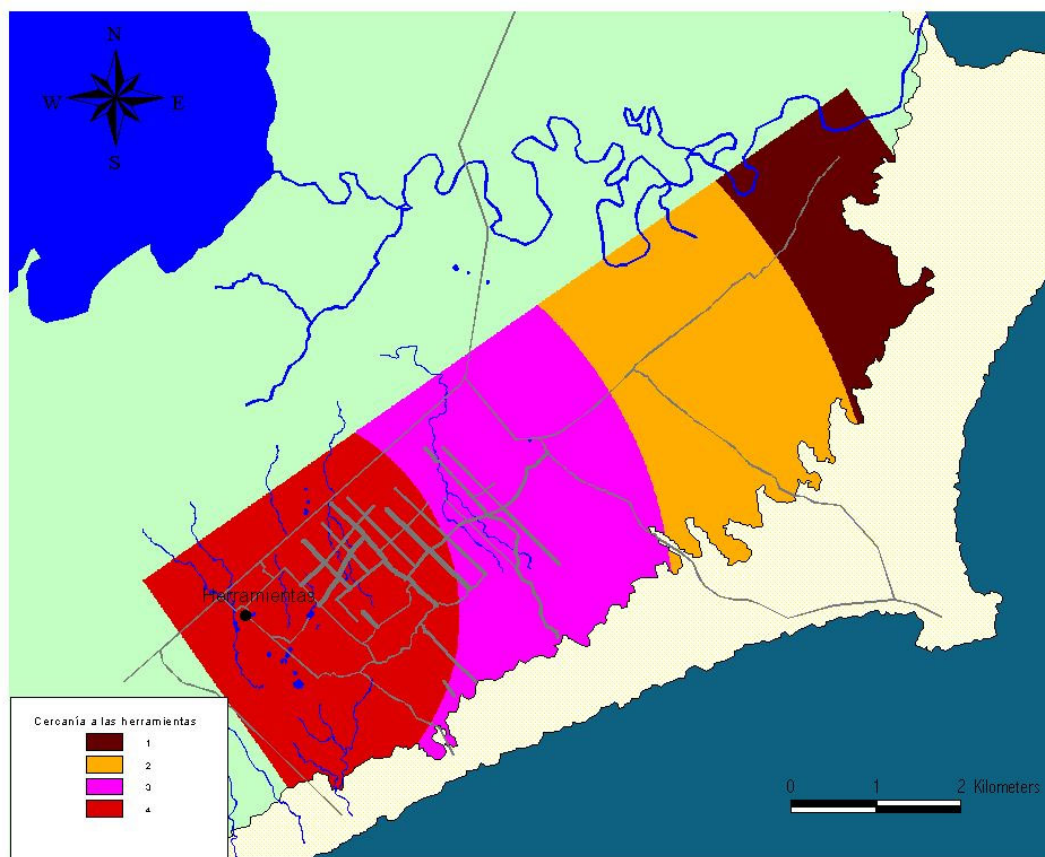


Figura 37. Mapa de cercanía a las herramientas de combate.

La disponibilidad de agua es un elemento importante para el combate de un incendio forestal, por lo que dentro del área de estudio se dispone de tres reservas de agua. En la figura 38 se visualiza la ubicación de las mismas y su área de influencia en caso de un incendio (200 m de radio). Se asume que 200 m sería el alcance de una manguera alimentada por una bomba de agua ubicada en la reserva de agua. En la medida que se está por fuera de dicha área, se incrementa el riesgo de propagación de incendios forestales.

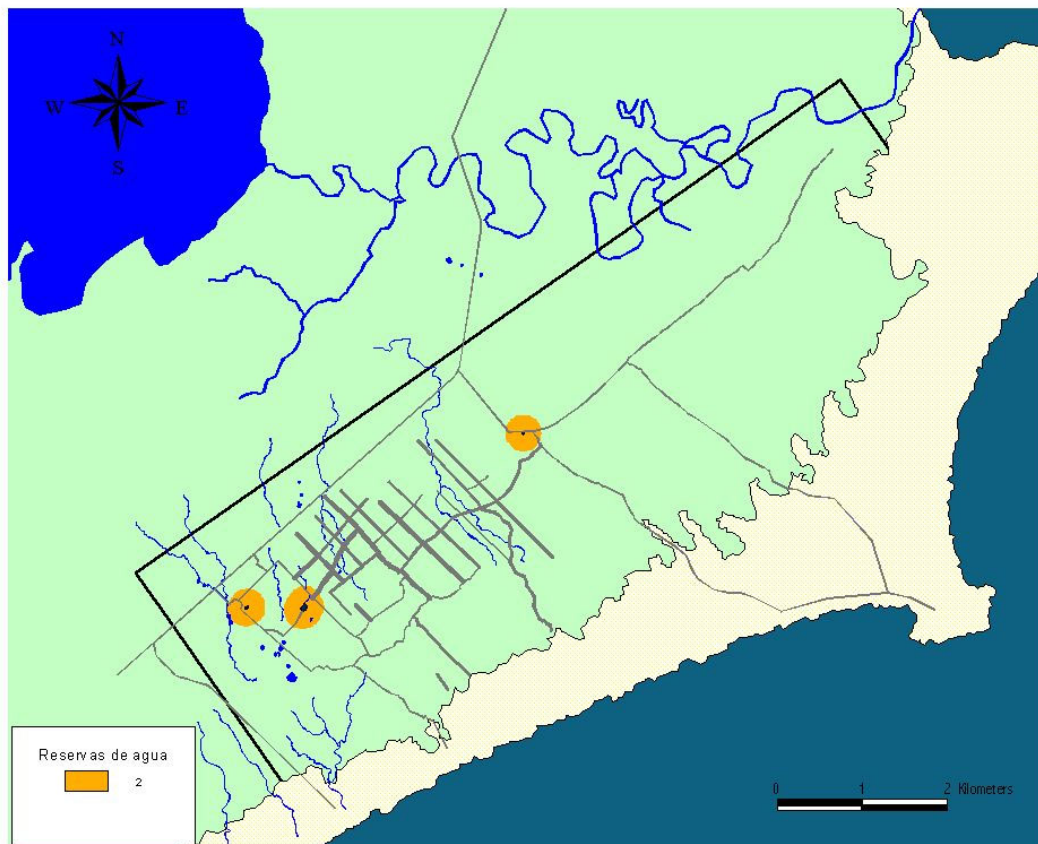


Figura 38. Mapa de cercanía a abastecimientos de agua.

El factor torre de vigilancia actúa en forma negativa (al igual que los cortafuegos y la cercanía al depósito de herramientas de combate y depósitos de agua), es decir, que en la medida que la ponderación es mayor, significa que se reducen las posibilidades de que un incendio se propague. La mayoría del área de estudio resulta no visible desde la torre de vigilancia, por lo que, la zona que tiene la mayor ponderación es la que ocupa menor superficie (figura 39).

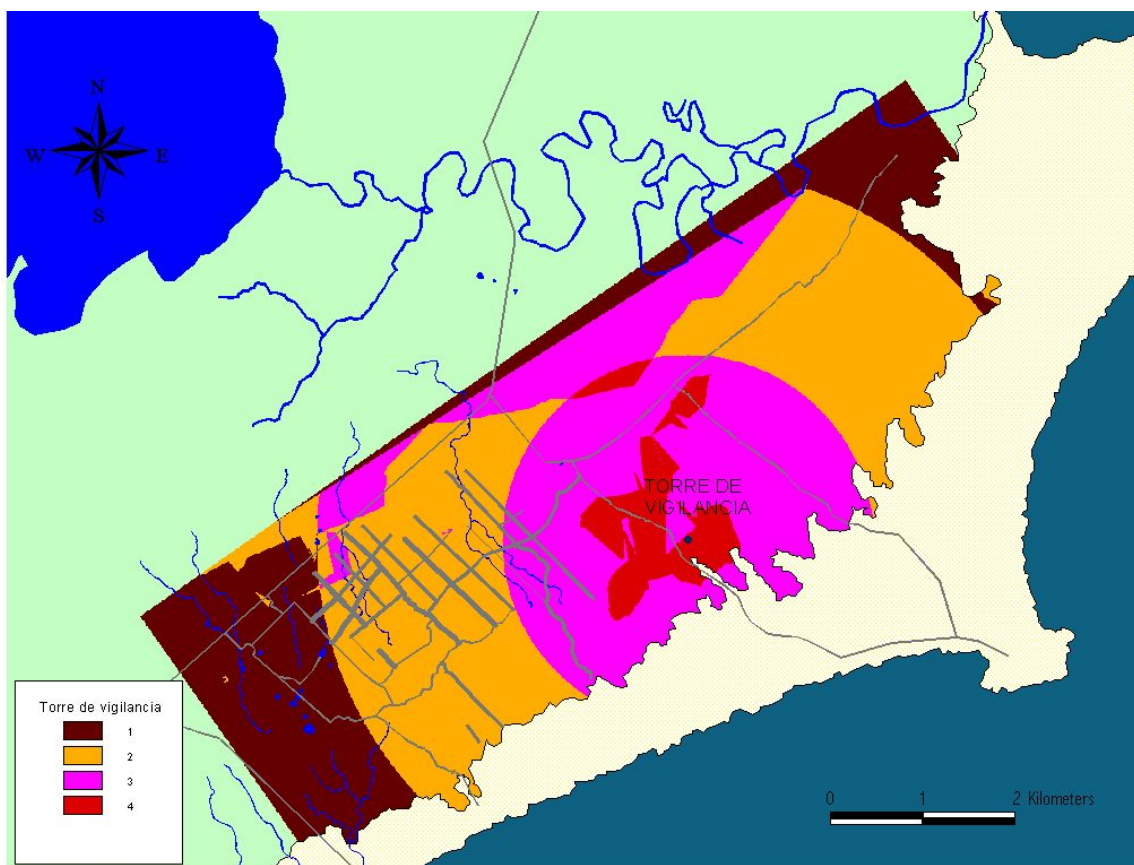


Figura 39. Mapa de visibilidad y cercanía a la torre de vigilancia.

En la figura 40 se muestra que las zonas que presentan más riesgo en función del viento son las ubicadas en el extremo SW del área de estudio, mientras que sucede lo contrario en la zona ubicada más al NE. Esto se explica en que si la dirección del viento es del SW y un incendio se inicia en el sector SW del área de estudio, éste se propagara hacia el resto del área de estudio. En cambio, el viento sopla del SW y el incendio se origina en el extremo NE del área de estudio, el fuego se desplazará hacia fuera del área de estudio.

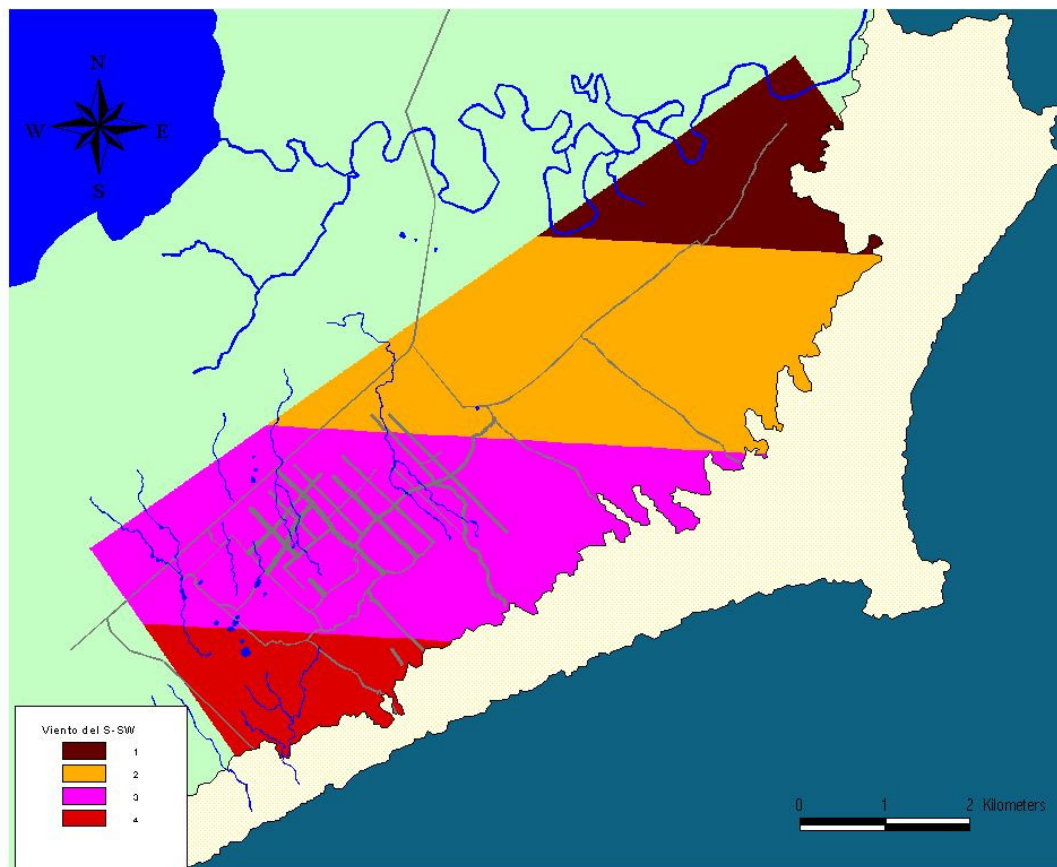


Figura 40. Mapa de los vientos más frecuentes.

4.2.3. Mapas de los factores que inciden en el inicio y la propagación de un incendio forestal

En la elaboración del mapa de riesgo de incendios forestales se consideraron dos factores de riesgo que inciden tanto en el inicio como en la propagación de un incendio forestal, estos son: tipos vegetacionales y orientación de la ladera. En la figura 41 se aprecia que las zonas con mayor ponderación, son las ocupadas por las especies del género *Pinus*, debido que presentan la mayor carga de hojarasca y a que diversos autores consideran que es más inflamable que las especies del género *Eucalyptus*. La menor ponderación fue adjudicada al bosque nativo.

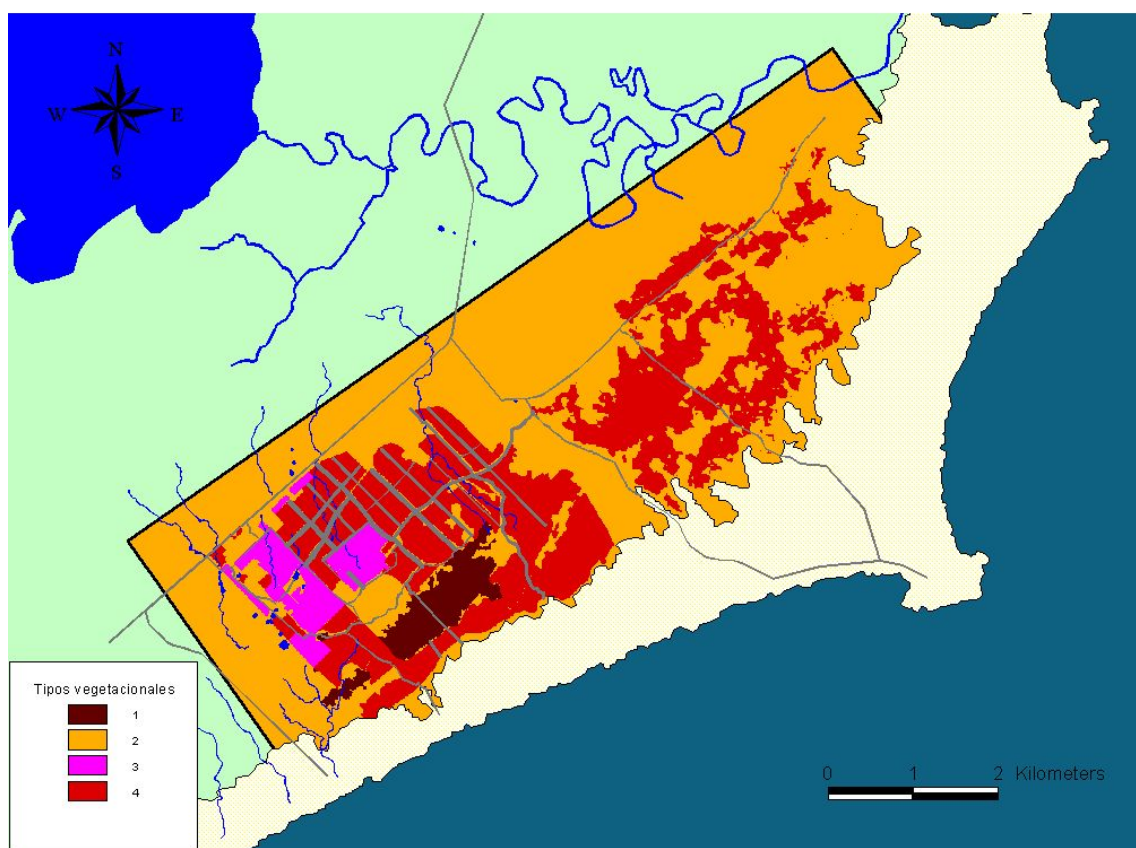


Figura 41. Mapa de los tipos vegetacionales.

Para la elaboración del mapa de orientación de las laderas se consideraron los cuatro puntos cardinales, siendo la orientación norte la que presenta mayor riesgo de incendios por estar más expuesta a la radiación solar y en contraposición la ladera sur es la que presenta el menor riesgo de incendios forestales, mientras que el terreno plano se considera que no tiene incidencia (figura 42).

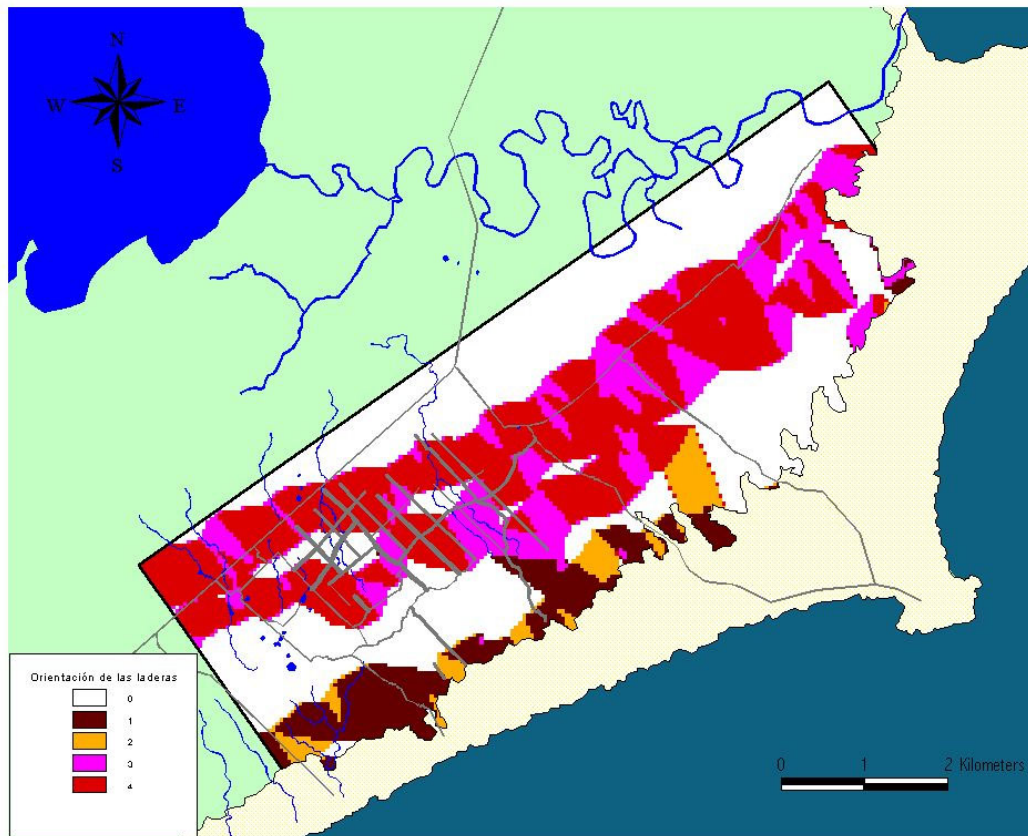


Figura 42. Mapa de la orientación de las laderas.

4.2.4. Mapas resultantes

Prácticamente el 100% de los incendios forestales en Uruguay se deben a la acción directa o indirecta del hombre, lo cual también se refleja en la figura 43. Las zonas de mayor riesgo de inicio de incendios forestales se asocian a los lugares donde hay mayor presencia de personas o donde hubieron en el pasado principios de incendio.

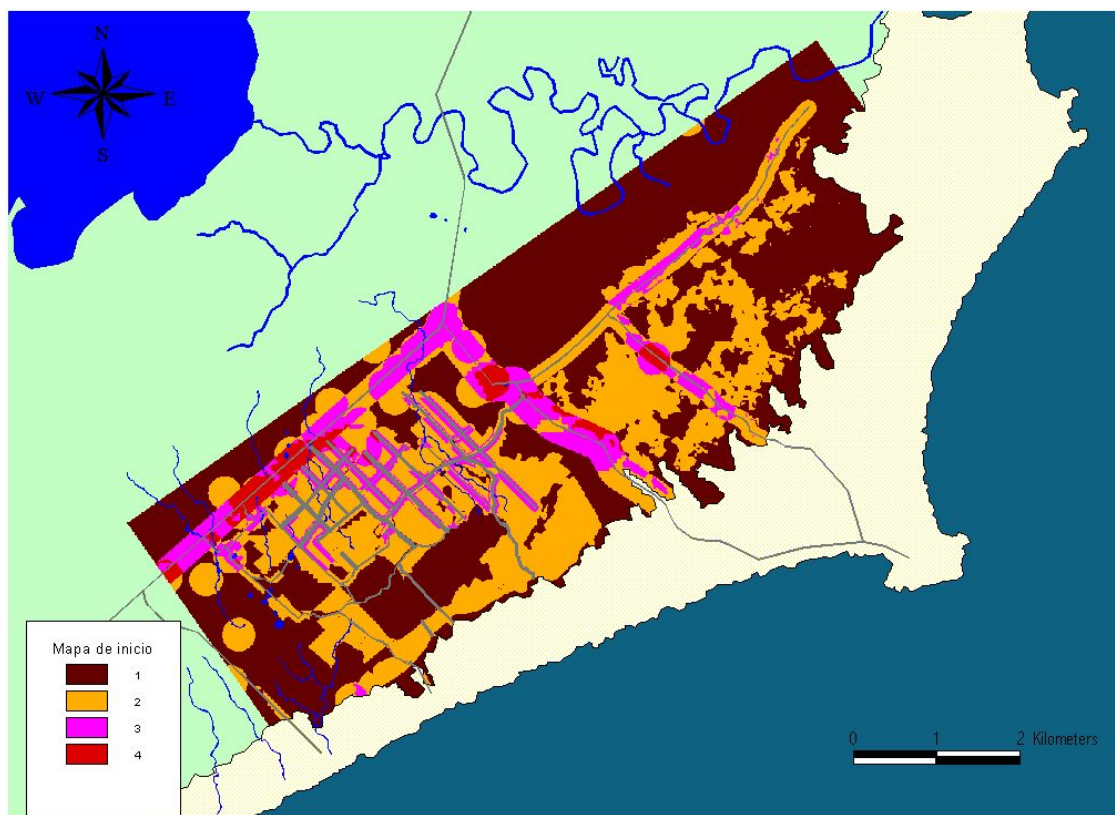


Figura 43. Mapa de riesgo de inicio de incendios forestales.

En la figura 44 se aprecia la distribución del riesgo de propagación de incendios forestales en el espacio, donde la superficie ocupada por la categoría de menor riesgo abarca tan solo 25 ha y está asociado al bosque nativo. Las zonas que presentan el mayor riesgo de incendios se asocian mayoritariamente a las áreas ocupadas por *Pinus pinaster*.

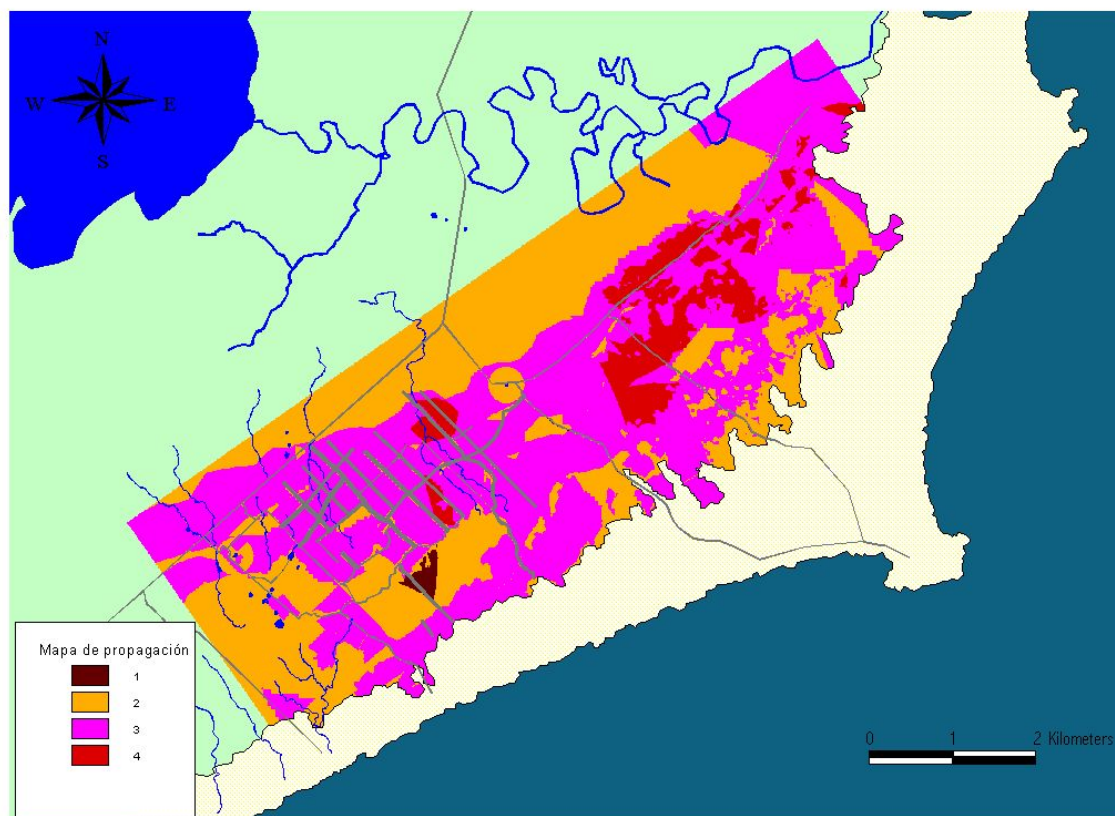


Figura 44. Mapa de riesgo de propagación de incendios forestales.

En la figura 45 y en el cuadro 51 se aprecia la importancia de cada una de las clases de riesgo y su distribución espacial. Si bien la clase de riesgo predominante es la clase 2, el 31 % del área de estudio presenta un riesgo de incendios forestales de clase 3 y 4, lo cual indica que el área de estudio es muy susceptible a la ocurrencia de un incendio forestal.

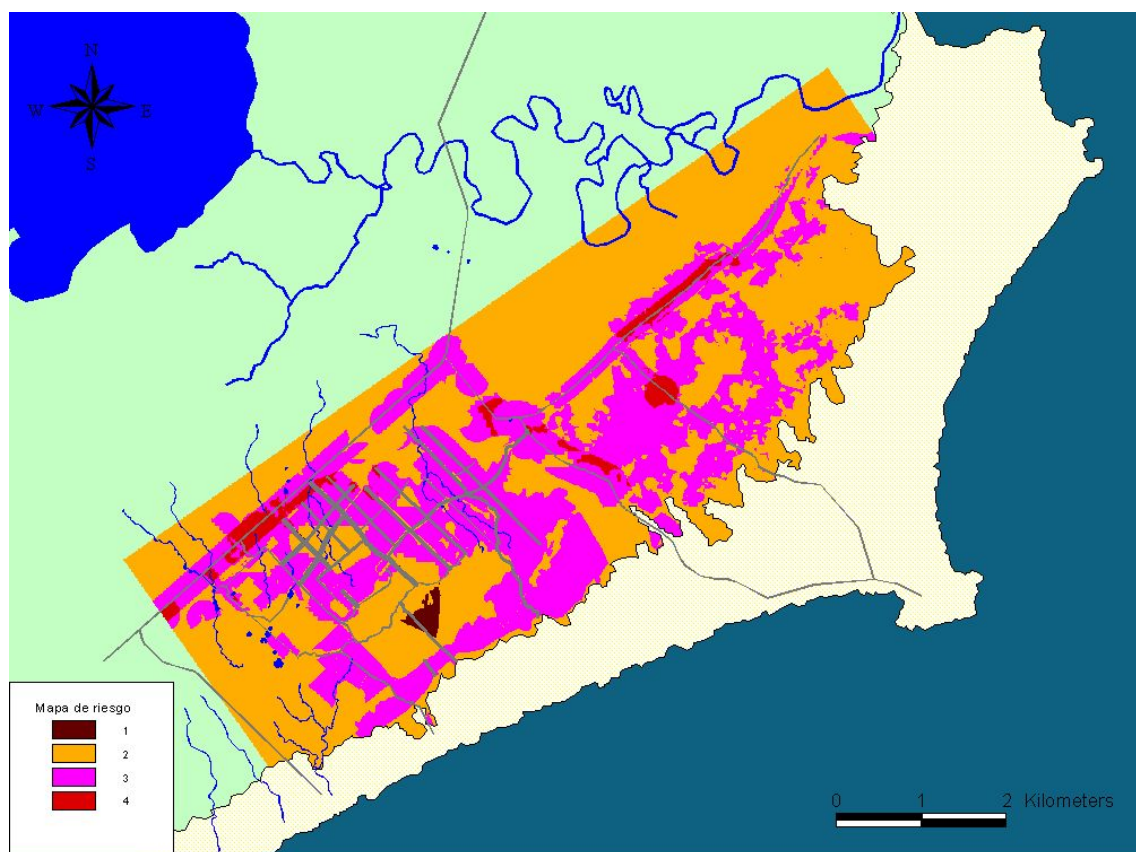


Figura 45. Mapa de riesgo de incendios forestales.

Cuadro 51. Superficie ocupada por las distintas zonas de riesgo.

Nivel de riesgo	Superficie (ha)	%
1	25	1
2	1866	47
3	1166	29
4	79	2
Sin riesgo	858	21
Total	3993	100

5. CONCLUSIONES

- Los mapas de riesgo de incendios forestales permiten visualizar la distribución del riesgo en el espacio y consideran factores de carácter más permanente en el tiempo que los índices meteorológicos de riesgo de incendios forestales.
- Los SIG (sistemas de información geográfica) son una herramienta adecuada para la elaboración de mapas de riesgo de incendios forestales. En el sector Cabo Polonio de la Reserva Forestal de Cabo Polonio – Aguas Dulces permitió determinar que la zona con mayor riesgo de incendio abarca una superficie igual al 2% del área de estudio.
- Para la mayoría de las categorías de combustible forestal superficial muestreadas en la Reserva Forestal de Cabo Polonio – Aguas Dulces, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los estratos de eucalyptus ni entre los estratos de pinos para la variable peso seco de las distintas categorías de combustible forestal superficial. Se diferencian estadísticamente la mayoría de las categorías de combustible si se compara los estratos de eucalyptus en su conjunto vs los estratos de pinos en su conjunto.
- No se observaron diferencias significativas entre la carga de combustible superficial fino ni en la carga de combustible superficial total entre los estratos de eucalyptus y pinos, pero en cuanto a la categoría Hojarasca, existe una superioridad significativa de los estratos de Pinos con respecto a los estratos de eucalyptus, por lo que los estratos de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* y *Pinus pinaster* presentan mayor riesgo de inicio de un incendio forestal que los estratos de *Eucalyptus grandis*.

6. RECOMENDACIONES

- Los mapas de riesgo de incendios forestales son modelos que tratan de explicar la realidad, por lo que resulta muy importante realizar a posteriori una evaluación del modelo para determinar de que manera se ajusta a la realidad y mejorarlo a través de un proceso dinámico de retroalimentación a partir de lo que sucede en la realidad
- Dado que se hallaron altas correlaciones entre el peso seco de diferentes categorías de combustible, se sugiere explorar -con un mayor número de muestras- funciones predictivas del peso seco de una categoría de difícil medición indirectamente a partir del peso seco de otra categoría que resulte más fácil medir, por ejemplo: estimar la carga de combustible total a partir de la carga de combustible fino.
- Adjudicar de forma más precisa la importancia relativa concedida a los factores de riesgo en la elaboración de los mapas de riesgo de incendios a partir de estadísticas de incendios forestales de la zona.

7. RESUMEN

El presente trabajo se llevo a cabo en el Área Protegida, Reserva Forestal de Cabo Polonio – Aguas Dulces (SE del departamento de Rocha). Mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG) se elaboró un mapa de riesgo de incendios forestales identificando áreas que presentan distinta susceptibilidad al inicio y propagación del fuego. Los factores de riesgo considerados fueron: presencia humana, antecedentes de principios de incendios, orientación de las laderas, tipo vegetacional, pendiente de las laderas, cortafuegos artificiales y naturales, cercanía al depósito de herramientas de combate de incendios, cercanía a los abastecimientos de agua, visibilidad desde la torre de vigilancia y dirección de los vientos más frecuentes. Se definieron cuatro niveles de riesgo de incendios, ocupando el 1%, 47%, 29% y 2% del área de estudio en orden decreciente de riesgo, mientras que el 21% del área de estudio no presentó riesgo de incendio. Se realizó un muestreo de la carga de combustible forestal superficial en cinco estratos diferenciados: dos de *Eucalyptus grandis* (fustal y tallar), y tres de *Pinus* (*P. taeda*, *P. elliotii* y *P. pinaster*). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los estratos de eucaliptos ni entre los estratos de pinos para la variable peso seco de las distintas categorías de combustible forestal superficial. Se diferencian estadísticamente la mayoría de las categorías de combustible si se compara los estratos de eucaliptos en su conjunto vs. los estratos de pinos en su conjunto. No se observaron diferencias significativas entre la carga de combustible superficial fino ni en la carga de combustible superficial total entre los estratos de eucaliptos y pinos (en promedio 28,4 tt/ha de combustible total, 73 % correspondiente a material fino). En cuanto a la categoría hojarasca, existe una superioridad significativa de los estratos de pinos con respecto a los estratos de eucaliptos (valores promedio de 21,2 tt/ha vs. 10,9 tt/ha).

8. SUMMARY

The present work was carried out in the Protected Area, Reserva Forestal de Cabo Polonio – Aguas Dulces (SE of the Departamento de Rocha). A map of forest fire risk was elaborated by using a geographic information system (SIG). The map identifies areas that present different susceptibility to the beginning and spread of fire. The risk factors considered were: human presence, antecedents of forest fires, vegetation, aspect, slope, artificial and natural fire breaks, proximity to the tools deposit for the combat of fires, proximity to water supplies, detection tower visibility and most frequent winds direction. Four levels of fire risk were defined, occupying 1%, 47%, 29% and 2% of the study area in falling order of risk, while 21% of the study area didn't present fire risk. A sampling of the load of superficial forest fuel was carried out in five differentiated strata: two of *Eucalyptus grandis* (high forest and coppice), and three of *Pinus* (*P. taeda*, *P. elliottii* and *P. pinaster*). No statistically significant differences were found for the variable dry weight of the different categories of superficial forest fuel between the strata of eucalyptus or pines. Most of the fuel categories differ statistically when the eucalyptus complete data set with the pine one are compared. No significant differences were observed among the load of fine superficial fuel and total superficial fuel between the strata of eucalyptus and pines (28,4 tt/ha average for total fuel, 73 % corresponding to fine fuel). As for the litter category, a significant superiority of pines over eucalyptus was detected (21,2 tt/ha vs 10,9 tt/ha in average).

9. BIBLIOGRAFIA

1. AFC (ASOCIACIÓN FORESTAL CORRIENTES) - CONSORCIO MANEJO DEL FUEGO. 2001. Procedimiento N° 5; procedimiento para el uso del índice de riesgo de incendios forestales. Santo Tomé, Corrientes. 15 p.
2. AGUADO, I.; BOVIO, G.; CAMIA, A.; CARREIRAS, J.M.B.; CARVACHO, L.; CECCATO, P.; CHUVIECO, E.; COCERO, D.; DESHAYES, M.; DOWNEY, I.; FERNÁNDEZ-PALACIOS, A.; FLASSE, S.; JURADO, J.; KARTERIS, M.; KOUTSIAS, N.; LOBO, A.; MARTÍN, M.P.; NAVARRO, C.; NAVARRO, R.; PAUSAS, J.G.; PEREIRA, J.M.C.; RIAÑO, D.; RODRÍGUEZ-SILVA, F.; SÁ, A.C.L.; SALAS, F.J.; SANTOS, T.N.; SILVA, J.M.N.; SOUSA, A.M.O.; STACH, N.; VALLEJO, V.R. 1999. Remote sensing of large wildfires. *In* The european mediterranean basin. Berlín, Springer. 211 p.
3. AGUDELO, N.; MORENO, B. 1997. Educación y silvicultura preventiva. Boletín de Protección Forestal de la CONIF (Colombia). N°2: 12-15.
4. AGUDELO, N. 1997. Generalidades sobre incendios en plantaciones forestales. Boletín de Protección Forestal de la CONIF (Colombia). N°2: 3-11.
5. ALCANTARA, D.A. 1999. Los bosques, los caminos y los incendios forestales. <http://www.fundacion-ica.org.mx/CUADERNILLOS/ESPECIAL3.pdf>
6. ALMEIDA, R. 1994. Forest fire risk areas and definition of the prevention priority planning actions using gis. <http://www.sgi.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/egis/eg94193.html>
7. ALTAMIRANO, A.; CALDEVILLA, G.; VENTURINO, L.; CRAVINO, J.L. 2003. Ficha informativa de los humedales RAMSAR. <http://www.mgap.gub.uy/Renare/SIG/FichaRAMSAR.htm>
8. ARTUS, H.; DENTONI, M.C.; KUNST, C.; RODRIGUEZ, N. 1997. Fuego prescripto en plantaciones de pino. *In* Quemadas prescriptas en plantaciones forestales, (1997, Bariloche) KUNST, C. & RODRIGUEZ, N. 88 p.
9. ASOCIACION TÉCNICA DE CARRETERAS. COMITÉ ESPAÑOL DE LA A.I.P.C.R. 1995. Manual de capacidad de carreteras (Versión española de la obra "Highway Capacity Manual", Special Report N° 209 del TRB). 2ª ed., Madrid. S/p.
10. BALNEARIOLAPALOMA.COM. 2003. Naturaleza. <http://www.balneariolapaloma.com/naturaleza.htm>
11. BAPTISTA, P.; 1998. Los incendios forestales en la República Oriental del Uruguay. *In* 1º Seminario Sul-Americano e 5ª Reuniao Técnica Conjunta SIF/FUPEF/IPEF Sobre Controle de Incendios Florestais (Belo Horizonte, 1998) Assuncao, G.; Couto, L. pp. 330-345

12. BARDAJI, M.; MOLINA, D.M. 1998. Criterios para la asignación de modelos de combustible; caso de la comarca del Solsonès (Lleida). N°51:54-62.
13. BATISTA, A.C. 2000. Mapas de risco; uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. FLORESTA. 30 (1/2): 45-54.
14. BATISTA, A.C.; SOARES, R.V. 1997. Manual de prevencao e combate a incêndios florestais. Curitiba, Convênio IAP/FUPEF. 50 p.
15. BIANCHI, M.; ROMERO, G.; PADULA, M. 1997. Incendios forestales. Universidad de la República Oriental del Uruguay. Montevideo. Facultad de Agronomía. 30 p.
16. BRUSSA, C.A. 1994. Eucalyptus. Montevideo. Hemisferio Sur. 328 p.
17. BUTLER, B.W.; COHEN, J.D. 2003. Firefighter safety zones; how big is big enough. <http://www.firelab.org/fbp/fbresearch/safetyzone/fszdocs/IAWF%20Safety%20Zone%20paper.pdf>
18. CALDEVILLA, G.F.; QUINTILLÁN, A.M. 2000. Incendios forestales; cómo prevenirlos. Almanaque del Banco de Seguros del Estado. pp. 223-231.
19. CALDEVILLA, G.F.; QUINTILLÁN, A.M. 2003. Defensa contra incendios forestales; una alternativa accesible para construcción de torres de observación. Almanaque del Banco de Seguros del Estado. pp. 222-231.
20. CAJA DE JUBILACIONES Y PENSIONES BANCARIAS. 1998. Prevención de incendios. Revista de la Caja de Jubilaciones y Pensiones Bancarias. Diciembre. pp. 14.
21. CARVACHO, L. 1999. Estimación de grandes incendios forestales a través de regresión logística y redes neuronales. In Seminario internacional de sistemas de información geográfica y teledetección espacial aplicados a la ordenación del territorio y del medio ambiente, (1999, Talca) Universidad de Talca, Departamento de Gestión Forestal y Ambiental. pp. 137-146.
22. CASTAÑEDA, A.E. 1997. Zonificación para el manejo de incendios en plantaciones forestales en Colombia. Boletín de protección forestal de la CONIF (Colombia). N°2: 38-46.
23. CASTAÑEDA, A.E. 1999. Riesgo de incendios en plantaciones forestales en Colombia. Boletín de Protección Forestal de la CONIF (Colombia). N°4: 25-50.
24. CONIF (CORPORACIÓN NACIONAL DE INVESTIGACION Y FOMENTO FORESTAL). 1997. Origen de los incendios forestales. Boletín de protección forestal. N°2: 47-51.
25. CORTACANS, D.; GALLERO, J.; RUIK, S. 2001. Optimización de la red de caminos forestales, según mínimos costos en función del volumen de madera

- proyectado a extraer. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 95 p.
26. DAMEROW, W.L. 1994. Forest fire prevention in Uruguay. Brainerd (Minnesota, USA), Department of Natural Resources. 12 p.
 27. DALLA TEA, F. 1999. Conformación de consorcio de incendios forestales en el litoral. *In* Jornadas forestales de Entre Ríos,(XIV, 1999, Entre Ríos). Entre Ríos, INTA Concordia. pp. D2-1 – D2-4
 28. DE CASTRO, R. 2002. Humedad de equilibrio de maderas de pinos y eucalyptus en seis sitios de Uruguay. *In* Avances en la caracterización de maderas uruguayas, (2002, Montevideo) Montevideo. LATU-JICA. pp. 7-8
 29. DENTONI, M.C.; MUÑOZ, M. 2001. Glosario de Términos Relacionados con el Manejo del Fuego. <http://iufro.boku.ac.at/iufro/silvavoc/glossary.htm>
 30. FARIÑA, I.; FIGOLI, I.; LIZARRAGA, J. 2002. Prevención de incendios forestales en un predio de la zona de la Floresta (Canelones). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 72 p.
 31. FERNÁNDEZ, V.; RESNICHENKO, Y. 2000. Maldonado – Punta del Este uso de satélites en la prevención de incendios. Revista Geo Uruguay. Montevideo. Nº4: 7-26.
 32. FERRAZ, S.F.; VETTORAZZI, C.A. Mapeamiento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informacoes geográfica (SIG). 1998. Cientia forestalis, Piracicaba. Nº53: 39-48.
 33. GARCIA DE PEDRAZA, L.; GARCIA VEGA, M.P. 1987. La meteorología y los incendios forestales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Hojas Divulgadoras Nº 14/87 HD. 24 p.
 34. ICONA (INSTITUTO NACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA). 1981. Técnicas para defensa contra incendios forestales. Madrid, ICONA. 200 p. (Monografía 24).
 35. ICONA (INSTITUTO NACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA). 1987. Manual para determinación de causas de incendios forestales. Madrid, ICONA. 19 p.
 36. ICONA (INSTITUTO NACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA). 1987. Manual para el primer ataque a un incendio forestal. Madrid, ICONA. 26 p.
 37. ICONA (INSTITUTO NACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA). 1987. Manual de prevención de incendios mediante tratamiento del combustible forestal. Madrid, ICONA. 43 p.

38. IGN (INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL) – Proyecto RECORD. 2003 .Que es la corrección diferencial?. <http://www.geo.ign.es/servidor/geod/record/corrdif.html>
39. JUNTA DE ANDALUCIA. CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE. 2002. Manual de formación para la lucha contra incendios. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/incendios/manual_incendios/manual.html
40. KUNTZ, S.; KARTERIS, M. Fire risk modelling based on remote sensing and GIS. In Satellite technology and GIS for forest mapping and fire management, 4-6th November, 1993 in Thessaloniki, Greece.
41. LATORRE, A.; LEMES, M. J. 1995. Trabajos efectuados para la determinación de aprovechable y recursos disponibles. Reserva Forestal de Cabo Polonio. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. S/p.
42. MAC Donagh, P. 2002. Bases forestales para la incorporación de tecnología en cosecha de madera. Proyecto de Desarrollo Forestal NEF Corrientes Norte y Misiones. Boletín Técnico N°7.
43. MANTERO, C. 1996. El secado de la madera. Facultad de Agronomía. 15 p.
44. MARCOS, F.; RUIZ,J.; IZQUIERDO,I. 2001. Xiloenergética. Montes. N°63. pp. 63-71.
45. MARTÍN, P. 1999. Aplicaciones de la teledetección a los incendios forestales. In Seminario internacional de sistemas de información geográfica y teledetección espacial aplicadas a la ordenación del territorio y del medio ambiente, (1999, Talca) Universidad de Talca, Departamento de Gestión Forestal y Ambiental. pp. 41-50.
46. MARTÍNEZ RUÍZ, E. 1996. Manual del contrafuego. El método indirecto en la extinción de incendios forestales. Madrid, España. 44 p.
47. MENEGHETTI, J.O. 2003. Lagunas uruguayas y sur de Brasil. <http://www.wetlands.org/inventory&/SAA/Body/11urugbr@.htm#11.1>
48. MOLDES F.J. 1995. Tecnología de los sistemas de información geográfica. 1ª. Imp. España, RA-MA Editorial. 190 p.
49. MONTEVIDEO.COM.UY. 2003. Enciclopedia geográfica del Uruguay; Rocha. <http://www.montevideo.com.uy/uruguay/rocha.htm>
50. NICOLÁS J.I. 2000. Aspectos técnicos de las áreas cortafuegos. <http://da.montes.upm.es/seminarios/incendios/00/jinicolas.htm>

51. OLIVEIRA, D. S. Zoneamento de incêndios em povoamentos florestais no norte de Santa Catarina. Curitiba, 2002. 111p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
52. PADULA M. 1992. Los incendios y la Acacia longifolia. Uruguay Forestal. Montevideo. Nº3: 8-9.
53. PARDO, S. 2000. Plan de protección contra incendios forestales para la Reserva Forestal de Cabo Polonio y Aguas Dulces. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de la República Oriental del Uruguay-Junta de Andalucía. S/p.
54. PEREYRA, C.; GEYMONAT, M.; GONZALEZ, J.; CANTERO, J. 2001. Pautas para La elaboración de un mapa de riesgo de incendios con estructura de sistema de información geográfica para la cuenca del arroyo La Tapa, En La Sierra De Comechingones, Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Río Cuarto – Argentina. S/p.
55. QUINTILLÁN, A.M.; TAMBURI, P.; PARENTINI, J. 1988. Plan de protección contra incendios forestales para el Parque de Vacaciones para Funcionarios de UTE- ANTEL. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 2v. 363 p.
56. QUINTILLÁN, A.M.; TAMBURI, P. 1994. El combustible y la protección contra incendios forestales. Almanaque del Banco de Seguros del Estado. pp. 260-264.
57. QUINTILLÁN, A.M.; TORRES, G.R. 2001. Incendios forestales; los daños que ocasionan. Almanaque del Banco de Seguros del Estado. pp. 241-247
58. QUINTILLÁN, A.M.; TORRES, G.R. Impacto del fuego en una plantación de *Pinus taeda* en el litoral oeste de Uruguay. In Jornadas Forestales de Entre Ríos, (XVI, 2001, Concordia). pp. 22.
59. QUINTILLÁN, A.M.; TORRES, G.R. 2002. Incendios forestales; uso de excéntrica para su prevención y combate. Almanaque del Banco de Seguros del Estado. pp. 219-228.
60. RODRIGUEZ, N.F. 1999. Conformación de consorcio de incendios forestales en el litoral. In Jornadas forestales de Entre Ríos, (XIV, 1999, Entre Ríos). Entre Ríos, INTA Concordia. pp. D3-1 – D3-3
61. ROSALES, M.P.; VIAZZI, M.L.; POTRIE, G.E. 2002. Plan de protección contra incendios forestales para un grupo de establecimientos forestales de la zona de Palmitas (dpto. de Soriano). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 2v. 105 p.
62. SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación). 2000. Resolución 152/2000.
<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/0-4/silvo/res152a.htm>

63. SALAS, J.; CHUVIECO, E. 1994. Geographic information systems for wildland fire risk mapping. *Wildfires*. 3 (2): 7-13.
64. SARASOLA, M.; VERA, H.; GROSSO, E.; ARIM, M.; KORENKO, V.; CLARA, M.; BAÑALES, P. 2001. Diagnóstico de los ecosistemas boscosos costeros del Uruguay. http://www.dinama.gub.uy/modules.php?op=modload&name=Web_Links&file=index&req=visit&lid=45
65. SEQUEIRA E.L.; PÉREZ L.A.; Técnicos de la Dirección Nacional de Meteorología. 1994. Advertencias meteorológicas sobre riesgo de incendio forestal. *Uruguay Forestal*. Nº 7: 5p.
66. SMITH, D.T. 1999. Mapping the bushfire of Hobart. Australian bushfire conference, Albury, July 1999. S/p.
67. SOARES, R.V. 2000. Novas tendencias no controle de incêndios florestais. *Floresta*. 30 (1/2): 11-21.
68. SORARES, R.V.; BATISTA, A.C. 2000. Inventario do material combustível. Curso de prevenção e controle de incendios florestais. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. 5 p.
69. TAMBURI, P. 2000. Incendios forestales; esquema de prevención y recomendaciones básicas. *Revista de la Sociedad de Productores Forestales*. pp. 27-29.
70. TRAN, C. 2002. Fire Management Operational Manual; guidelines for planning and conducting fuel reduction. Australia, Southeast Queensland Fire and Biodiversity Consortium. 96 p.
71. TUSET, R.; DURAN, F. 1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Hemisferio Sur. Montevideo. pp. 688.
72. UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA. FACULTAD DE ARQUITECTURA. 2000. Maderas primera parte. Cátedra de construcción 1. Universidad de la República (Uruguay). Montevideo. pp. 13.
73. URUGUAY - DNM (DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA). 2003. El clima del Uruguay. http://www.meteorologia.com.uy/caract_climat.htm
74. URUGUAY - SEPAE (SERVICIO DE PARQUES DEL EJERCITO). 2002. Cartilla de instrucciones; prevención de incendios. Ministerio de defensa. Uruguay. Rocha. 3 p.
75. URUGUAY - DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1979. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Tomo III. Descripción de las unidades de suelos. Montevideo. 452 p.

76. URUGUAY - DIRECCIÓN FORESTAL. 1990. Ley forestal Nº 15.939 - Decretos reglamentarios. Montevideo. 118 p.
77. URUGUAY - DIRECCIÓN FORESTAL. 1995. Recomendaciones prácticas para caminería. Uruguay Forestal. Nº10: 26.
78. URUGUAY - DIRECCIÓN FORESTAL. 2000a. El efecto del fuego sobre los ecosistemas naturales y plantaciones forestales. Uruguay Forestal. Nº24: 5-6.
79. URUGUAY - DIRECCIÓN FORESTAL. 2000b. El factor fuego en los ecosistemas forestales. Uruguay Forestal. Nº24: 9-10.
80. URUGUAY - DIRECCIÓN FORESTAL. 2000c. Adaptación y respuesta al fuego de los eucaliptos. Uruguay Forestal. Nº25: 8-10.
81. URUGUAY - DIRECCIÓN GENERAL FORESTAL. 2002. Visto: el decreto 188/02 de fecha 23 de mayo de 2002. Montevideo. 4 p.
82. URUGUAY - DNB (DIRECCIÓN NACIONAL DE BOMBEROS). 1992. Legislación profesional. Ministerio del interior. Uruguay. Montevideo. 39 p.
83. URUGUAY - DNB (DIRECCIÓN NACIONAL DE BOMBEROS). 1999. Edicto de policía del fuego normas preventivas de incendios forestales. Ministerio del interior. Uruguay. Montevideo. 1 p.
84. URUGUAY - DNB (DIRECCIÓN NACIONAL DE BOMBEROS). 2001. Si sales de vacaciones. http://www.minterior.gub.uy/prevencion/incendio/en_vacac.htm
85. URUGUAY - DNB (DIRECCIÓN NACIONAL DE BOMBEROS). 2001. El equipo que usamos para apagar el fuego. http://www.minterior.gub.uy/prevencion/incendio/eq_bomb.htm
86. URUGUAY. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. 2002. 23 del 5 del 2002 - Ley forestal: se sustituyen los artículos 7º, 8º, 9º y 10º del decreto 849/88 de 14 del 12 de 1998. <http://www.presidencia.gub.uy/decretos/2002052701.htm>
87. VETTORAZZI, C.A.; FERRAZ, S.F. de B.; R. de O.A. VALENTE. Análise de risco por meio de técnicas de geoprocessamento, para planejamento de prevencao e controle de incêndios. 2do Simposio Sul-Americano de Controle de Incendios Florestais y 6ta Reuniao Técnica Conjunta IPEF/FUPEF/SIF de Controle de Incêndios Florestais. 14 al 16 de Agosto de 2001. S/p.
88. ZUCCHINI, H. & IRIGOIN, N. 1998. Cortafuegos (1ª nota). Revista SAGPyA Forestal. Nº8: 8-11.
89. ZUCCHINI, H. & IRIGOIN, N. Cortafuegos (última nota). 1999. Revista SAGPyA Forestal. Nº9: 6-12.