

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 <a href="http://www.balneariolapaloma.com">www.balneariolapaloma.com</a> ) .....	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