

NOTAS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO Y SU APLICACION EN EL CONTROL DE  
INCENDIOS FORESTALES

GUILLERMO JULIO A.\* y GERARDO GIROZ G.\*\*

C. D. Oxf.: (431,1, 431,5 431,6)

Los autores agradecen la colaboración de los señores Patricio Donoso, Luis Soto, César Alvarado, Pedro Bahamondes, Moisés Osorio, Wilfredo Inostroza y el Quinto Año de 1974 de la Escuela de Ingeniería Forestal de la Universidad Austral de Chile, sin cuya cooperación no habría sido posible ejecutar el Programa de Quemadas Controladas durante el verano 1974-75.

## INDICE DE MATERIAS

Resumen

Zusammenfassung

Summary

Introducción

Concepto del Comportamiento del Fuego

Factores que afectan al Comportamiento

Aplicación en el control de Incendios Forestales

El conocimiento del Comportamiento a través de quemadas controladas experimentales

Referencias.

## RESUMEN

El comportamiento del fuego es un concepto que debe ser conocido y aplicado en la preparación y ejecución de Planes de Control de Incendios Forestales y en el uso del Fuego prescrito en diferentes aspectos del Manejo de Bosques.

La presente publicación desarrolla un análisis conceptual del Comportamiento, las variables que lo caracterizan (Velocidad de Propagación e Intensidad Calórica, básicamente) y de los factores (topográficos, vegetacionales y climáticos) que ejercen influencia en la ignición y desarrollo de los incendios.

Someramente se describe la aplicación del concepto del Comportamiento del Fuego en diferentes aspectos que tradicionalmente se incluyen en la Prevención y Combate.

Finalmente se entregan algunas informaciones sobre la contribución que se pretende con la ejecución del Proyecto F-8 de la Universidad Austral, a objeto de mejorar el conocimiento sobre materia en Chile.

## ZUSAMMENFASSUNG

Im jungat besiedelten Südchile ist die Brandrodung noch immer ein wichtiges Arbeitsmittel der Land-und Forstwirtschaft. Der Ersatz des ausgebeuteten oder zerstörten Naturwaldes durch Plantagen frohwüchsiger Koniferen und besonders die Aufforstung halb oder schlecht gerodeter Felder ist ohne Brandrodung kaum denkbar.

So sind dann die Untersuchungen ueber die Dynamik der Brandrodung zu einer Notwendigkeit geworden. Die Gefahr der unkontrollierten Verbreitung des Feuers muss dabei ins Auge gefasst werden. In der folgenden Arbeit wird der Verbrennungsprozess von Grund auf gepueft und alle jene Umstaende erwogen die auf seine Abwicklung einwirken. Die Geschwindigkeit des Lauffeuers und die Tem-

peratur desselben, aber auch die Besonderheiten des Gelaendes (Relief), die Beschaffenheit der pflanzlichen Brennstoffe (Hitzentwicklung) und die herrschenden Wetterverhaeltnisse (Klima) spielen dabei eine Rolle. Diess Faktoren sind auch bei den Massnahmen zur Feuerverhütung und Bekämpfung zu beachten.

Abschliessend berichten die Autoren ueber ihre Taetigkeit im Forschungsworhaben F-8 der Universidad Austral de Chile, das eben dieses Thema zum Ziel hat.

## SUMMARY

Fire Behavior is a concept which should be known and applied in the preparation and implementation of forest fire control plans and in the use of prescribed burning in forest management.

This publication develops a conceptual analysis of fire behavior, the variables which characterize it (basically rate of spread and fire intensity) and the factors (topographical, vegetational and climatic) which influence the starting and spreading of fires. The text briefly describes the application of various aspects of the fire behavior concept which traditionally are included in the field of fire prevention and fighting.

Finally, in order to make the material better known in Chile, some information is presented about the intended contribution of the Universidad Austral's Project F-8.

## INTRODUCCION

El Control de los Incendios Forestales es una actividad relativamente reciente en Chile. Solamente en 1965 se comenzaron a aplicar algunas técnicas adecuadas para contrarrestar el efecto que estos siniestros estaban ocasionando al recurso forestal. El avance logrado en el período 1965-75 por parte de los servicios especializados ha sido realmente espectacular. Un índice lo entrega la Eficiencia del Programa, a través del cual se ha logrado reducir el promedio de superficie quemada por incendio, para todo el territorio nacional, desde 63,9 hás en 1965 a 14,5 hás en 1974 (5).

Por supuesto que la mayor eficiencia en la ejecución del Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales se ha ido logrando con la experiencia que han adquirido los especialistas en la materia, por el cada día mayor número de combatientes capacitados, por la incorporación de sistemas y técnicas modernas altamente especializadas y por la implementación de equipos y herramientas.

\* Ingeniero Forestal, profesor de la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad Austral de Chile. Cas.: 567 Valdivia.

\*\* Técnico Forestal, adscrito al Instituto de Manejo y Economía Forestal de la Universidad Austral de Chile.

Un índice de la importancia que ha ido adquiriendo esta actividad en Chile se refleja con el incremento de los presupuestos asignados por parte del Gobierno para el mismo período: 40.000 a 1.320.000 dólares, en moneda de 1974 (4) (10), sin considerar el préstamo otorgado en 1972 por el Gobierno Canadiense por 1.500.000 dólares, para la adquisición de equipos y herramientas de combate.

El desarrollo que ha ido adquiriendo el Control de los Incendios Forestales ha traído como consecuencia la incorporación de una terminología relacionada con la materia muy específica y novedosa; igualmente muchos conceptos y metodologías sobre Prevención y Combate están siendo ahora conocidos a través de los diferentes medios de difusión.

Sin embargo, no todas las personas vinculadas con la actividad forestal están al día en lo referente a términos y técnicas relacionadas con el Control de Incendios Forestales, incluso en lo que actualmente se encuentra en aplicación en Chile. Esto acarrea algunos problemas a los especialistas en la materia, porque a veces existen dificultades de comunicación con los especialistas de otros aspectos o áreas del desarrollo forestal.

Con la presente publicación se pretende contribuir al conocimiento de un aspecto muy específico del Control de incendios Forestales como es el Comportamiento del Fuego, considerado por los especialistas en la materia como tema de trascendental importancia en la aplicación de Programas de Prevención y Combate y en el Uso del Fuego Controlado.

## II.— CONCEPTO DEL COMPORTAMIENTO

El Comportamiento del Fuego es un término empleado para designar la forma de desarrollo del fuego en un incendio forestal (7). Algunos especialistas emplean este término para hacer referencia a las características físicas que puede observar el fuego durante el transcurso de un incendio, y que controlan el desarrollo potencial de los efectos que se pueden alcanzar en su propagación (11).

En general se puede afirmar que el término Comportamiento es sumamente amplio, puesto que incluye una gama muy variada de efectos, existiendo algunos difíciles de identificar y cuantificar. Entre los fenómenos físicos que normalmente se describen están básicamente: Intensidad Calórica, Velocidad de Propagación, Altura de las llamas, características de la fase gaseosa, inflamabilidad, ignición, características de la Columna de Convección, efectos de turbulencias, etc.

De todos los aspectos precedentemente señalados, son dos los que usualmente se emplean para describir el Comportamiento. Velocidad de Propagación e Intensidad Calórica.

**2.1 Velocidad de Propagación del Fuego.**— Es el rango de incremento o expansión de un incendio, medido en forma lineal (metros por minuto, metros por segundo o kilómetros por hora), o bien en términos dimensionales (metros cuadrados por minuto o hectárea por hora).

Es común la determinación de la velocidad de propagación en base el incremento en perímetro por unidades de tiempo (metros por hora o kilómetros por día). Esta forma de determinar la velocidad de propagación es importante para conocer la carga de trabajo que se requiere en la construcción de las líneas de control.

La velocidad de propagación varía según el tipo de incendio en desarrollo. Un incendio subterráneo puede desplazarse a un rango de pocos metros al día, en cambio uno superficial, que consume hojarascas o hierbas asociadas, lo puede hacer a un ritmo de 50 a 200 metros por hora (en terrenos planos y sin influencia del viento).

Tanto los incendios subterráneos como los superficiales pueden ser predecibles en lo que refiere a su velocidad de propagación, siempre que sea conocido el tipo de combustible por el cual se están desplazando, la pendiente, los efectos del viento y otros agentes climáticos que afecten el Comportamiento.

La situación es poco predecible cuando se presentan incendios de copa o aéreos, que en algunos casos pueden propagarse a velocidades de 5, 10 o más Kilómetros por hora, especialmente cuando producen efectos de turbulencia con una columna de Convección de desplazamiento errático.

A modo de ilustración se describen en el cuadro N° 1 los rangos de expansión diaria de un incendio de copas y comportamiento errático ocurrido en la localidad de Dwellingup, Western Australia, en enero de 1961 (16).

Cuadro N° 1.— Desarrollo de un incendio forestal de gran magnitud ocurrido en Dwellingup, W. Australia, ente el 21 de enero y el 2 de febrero de 1961

Día	Tamaño del incendio (Hás)	Expansión de superficie (Hás/hora)	Mayor avance de frente de propagación (Km)	Longitud de la línea de control perimetral (Km)
20/I	2.750	115	7,1(*)	16,2
21/I	25.800	965	10,7	70,0
22/I	40.150	595	6,6	78,5
23/I	45.250	212	5,0	95,5
24/I	69.550	1.013	11,6	126,0
25/I	120.550	2.125	13,5	139,0
26/I al				
2/II	185.000	—	—	147,5

Indudablemente situaciones como la expuesta no son comunes. En Chile no se tienen antecedentes de siniestros de esa magnitud y espectacularidad; sin embargo, no debe descartarse esa posibilidad si sobrevienen períodos críticos de sequía y altas temperaturas, especialmente en las zonas Centro y Centro-Sur del país.

**2.2. Intensidad Calórica.**— Es una forma de determinar o cuantificar el potencial de peligrosidad que puede representar un área cualquiera susceptible a la ignición y propagación del fuego. La intensidad calórica es definida por Davis (7) como la "tasa de liberación de energía, o tasa de liberación calórica por unidad de tiempo y por unidad de longitud del frente del incendio".

Matemáticamente se puede expresar que:

$$I = H \times W \times r$$

en donde "I" representa a la Intensidad Calórica, expresada en Kilocalorías/segundo/metro de frente de avance; "H" representa el Poder Calórico del Combustible, expresado Kilocalorías/kg de Material; "W" es el Peso del Combustible Disponible, expresado en Kg de materia seca/metro cuadrado; y "r" a la velocidad de propagación del fuego expresado en metros/segundo.

(\*) Hubo materiales incandescentes que produjeron focos a distancias mayores a 10 kilómetros.

El Poder Calórico de los Combustibles forestales, de acuerdo a la información proporcionada por Davis (7), oscila alrededor de los 3,600 Kilocorías por Kilogramo de Material al estado anhidro. En la actualidad en los laboratorios de la Universidad Austral en Valdivia se están desarrollando ensayos en 40 tipos de Combustibles forestales diferentes con el objeto de determinar los correspondientes poderes Caloríficos. Esta información estará disponible sólo a fines de 1975. (13)

Mac. Arthur en 1962 (14) describió el comportamiento de incendios en bosques de eucaliptos de acuerdo a una escala de diferentes rangos de intensidades calóricas. Se transcribe la escala señalada por el interés que representa para explicar el uso de este parámetro en la ejecución de quemas controladas y en la estimación del peligro potencial que puede representar un incendio.

Cuadro N° 2.— Descripción del Comportamiento del fuego de acuerdo a rangos de intensidades calóricas, en incendios superficiales en bosques de eucaliptos, en Australia

Intensidad del fuego (Kilocal/seg/metro)	Descripción del Comportamiento del fuego
4-10	Intensidad demasiado baja. Las llamas alcanzan una altura inferior a 30 cm, y los fuegos generalmente se apagan solos.
11-41	Intensidad óptima, la altura de las llamas son de 0,30 a 1,00 m. La columna de convección alcanza una altura de 2,5 metros. Existe la pequeña posibilidad que el fuego exceda las líneas de control.
42-57	Demasiado severa la intensidad para algunos tipos. La convección calórica alcanza de 5 a 10 metros de altura. Se pueden encontrar algunas dificultades en el control de la línea por la emisión de chispas, especialmente en combustibles densos.
58-82	Máximo permisible de intensidad calórica para los bosques comerciales, por el efecto del fuego y la columna de convección.

Los valores descritos por Mac Arthur han sido corroborados por los resultados obtenidos en Chile en la ejecución de quemas controladas experimentales a través del Proyecto F-8 de la Universidad Austral (13). Los resultados en 3 de las Quemas experimentales se exponen en el Capítulo V de la presente publicación.

En general, de acuerdo a lo establecido por Davis (7), los incendios pequeños difícilmente pueden exceder niveles de 500 Kcal/seg/metro. Los incendios de gran magnitud, de alta intensidad y de carácter explosivo, pueden sobrepasar niveles de liberación de energía calórica de 15.000 Kcal/seg/metro.

Relacionado con el Concepto Comportamiento del fuego aparecen expresiones tales como: Combustible Disponible, Combustible Total, Energía del Combustible y Tasa de Combustión. Para una mayor claridad en la explicación de la materia, se indican sus correspondientes definiciones:

a) *Combustible Disponible*.— Es la cantidad material vegetal que se quema en un incendio. Se mide en kilogramos por metros cuadrados, o bien en Toneladas por Hectárea.

b) *Combustible Total*.— Es la cantidad de material vegetal que se puede quemar en condiciones óptimas durante el desarrollo de un incendio forestal. Se le expresa en las mismas unidades indicadas para el Combustible Disponible.

c) *Energía del Combustible*.— Es el monto de Energía, medida en kilocalorías por metro cuadrado, que puede ser liberada cuando se quema el combustible disponible.

d) *Tasa de Combustión*.— Es la tasa de desprendimiento calórico por unidad de superficie que se está quemando por cada unidad de tiempo. Comúnmente se le expresa en kilocalorías por segundo y por metro cuadrado de superficie de combustible que se quema.

Todos los valores expresados en Toneladas o Kilogramos, están referidos a materiales vegetales en estado anhidro.

### III.— FACTORES QUE AFECTAN AL COMPORTAMIENTO

El Comportamiento de la mayoría de los incendios forestales que ocurren es fácilmente predecible, siempre que se conozcan adecuadamente los factores ambientales, que influyen en la ignición y en la propagación del fuego.

Existe una gran cantidad de factores que en una pequeña o mayor proporción influyen sobre el Comportamiento. Todos ellos pueden ser ubicados en alguno de los siguientes grupos o categorías:

- Factores climáticos
- Factores topográficos
- Factores vegetacionales.

3.1. *Factores Climáticos*.— Los factores climáticos y meteorológicos determinan los períodos y horas críticas de ocurrencia y propagación de incendio. Entre las variables más importantes cabe señalar a: Temperatura y Humedad Relativa del Aire, Velocidad del Viento y Precipitaciones.

a) *Temperatura del Aire*.— Las altas temperaturas contribuyen a acelerar el ritmo de evaporación de la vegetación y del suelo, permitiendo de ese modo un requerimiento menor de energía para provocar la inflamación.

b) *Humedad Relativa del Aire*.— Cuando los niveles son bajos (inferiores a un 40%) su efecto es similar al de las altas temperaturas, pues contribuye a reducir el contenido de humedad de la vegetación (disminuye la humedad de equilibrio), y por lo tanto influye en la disminución del nivel de energía exterior necesaria para provocar la ignición.

c) *Viento*.— Contribuye a acelerar la desecación de la vegetación, y por otro lado incrementar el abastecimiento de oxígeno para mantener la combustión ya iniciada. El efecto de enfriamiento que provoca el movimiento de masas de aire es ampliamente contrarrestado en el Comportamiento por los dos otros efectos ya descritos.

d) *Precipitaciones.*— Normalmente las temporadas de incendios forestales coinciden con los períodos de sequía. La ausencia de precipitaciones es tal vez la variable climática que en mayor grado influye sobre la ocurrencia de incendios forestales.

3.2. *Factores Topográficos.*— La Topografía es un factor de carácter fijo que afecta al Comportamiento del Fuego casi exclusivamente en los rangos de expansión de los incendios. Ello se explica debido a que el calor transferido por radiación y por convección se incrementa cuando el fuego asciende por una pendiente.

Dentro de los factores topográficos cabe señalar principalmente a la Configuración, la Exposición, la Altitud y la Pendiente:

a) *La Configuración,* tiene especial influencia en las regiones donde existen regímenes de viento y por consiguiente precipitaciones. La configuración o forma del área también afecta a otras variables climáticas, tales como la temperatura y la humedad relativa, que influyen en el comportamiento del fuego.

b) *La Exposición,* influye sobre la vegetación por la alteración que provoca en el efecto de algunas variables climáticas, tales como la radiación solar, la evaporación y en general el precalentamiento de los combustibles y el suelo.

c) *La Altitud,* afecta el comportamiento del fuego en forma parecida a la exposición. Además de los efectos producidos en el caso anterior, influye en la cantidad de oxígeno disponible.

d) *La Pendiente,* es el más importante de los factores relacionados con la topografía, porque produce un efecto de corrientes de aire caliente que pueden incrementar violentamente la velocidad de propagación (anticipa la exposición de los combustibles forestales a la fuente calórica, reduciéndose por lo tanto la duración de la fase de precalentamiento en la combustión).

3.3. *Factores Vegetacionales.*— Son conocidos normalmente bajo el término Combustibles Forestales. Su influencia en el Comportamiento del fuego en los incendios forestales es sumamente variable, dependiendo de la cantidad, continuidad, calidad, contenido de humedad, compactidad, etc.

Es interesante para el desarrollo de Programas de Prevención y Combate conocer las características de los combustibles forestales existentes en cada área, a fin de desarrollar las medidas necesarias para reducir o modificar su disposición y bajar, por consiguiente, la peligrosidad que pueden representar.

Los Combustibles forestales constituyen el único factor que influye en el Comportamiento del fuego que puede ser realmente controlado por el hombre. Atendiendo a la influencia de los Combustibles en los diferentes aspectos que caracterizan al Comportamiento del fuego, interesa la descripción de ellos desde diferentes puntos de vista,

a) *Cantidad de Combustibles.*— Representan el potencial de energía calórica que puede liberarse en un incendio forestal. Básicamente la cantidad que interesa conocer es el monto de combustible disponible.

De acuerdo a la recopilación efectuada por Nord y Countryman (15) para diferentes tipos de Combustibles superficiales en Norteamérica, la cantidad de toneladas por hectárea de materia seca por hectárea puede variar desde 15 (pastizales densos)

hasta 120-160 (chaparral mixto y manzanita, respectivamente).

Algunos resultados preliminares obtenidos por el Proyecto de Investigación F-8, de la Universidad Austral (15) indican los siguientes valores de cantidades de Combustibles Disponibles, Livianos y Superficiales.

Cuadro N° 3.—Combustible Disponible en Ton/há, para tres tipos de materiales livianos y superficiales, en la Provincia de Valdivia

Tipo Forestal	Lugar	Combustible Disponible (Ton/há)
Ulex Sp (puro)	Cudico	34.4
Hojarasca Pino Insigne y Zarcamora (bosque de 20 años) con desechos de podas y raleos	Las Palmas	33.0
Desechos de explotación a tala rasa, en Pino Insigne	Los Ulmos	112.0

b) *Calidad de los Combustibles.*— Los Combustibles forestales, de acuerdo a la especie u origen afectado, varían considerablemente en su capacidad de inflamabilidad, o en la mayor o menor facilidad que ofrecen al fuego en su propagación.

La inflamabilidad de los diferentes tipos de combustibles forestales está afectado por propiedades o características propias de la especie, y también por las condiciones ambientales que regulan la humedad y temperatura de la vegetación; es decir, por los factores que influyen en el mayor o menor requerimiento de energía calórica necesaria para la ignición.

Brumm, en 1970 (2), en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Forestales de la U. de Chile, determinó tiempos de ignición para 6 tipos de combustibles forestales en dos clases de contenidos de humedad. Los resultados se exponen en el cuadro N° 4.

Cuadro N° 4.—Tiempos de Ignición para 6 tipos de Combustibles Forestales bajo 2 clases de contenido de humedad

Tipo de Combustibles	Tiempos de Ignición (0.01 min.)	
	C. H.10%	C.H.20%
Hojarasca de Eucalipto	36	58
Hojarasca de Pino Insigne	34	51
Gramíneas sp.	20	40
Hojarasca de Roble	26	34
Hojarasca de Quillay	40	62
Hojarasca de Litre	55	72

Los resultados obtenidos por Brumm corroboran lo expuesto por Nord y Countryman, en el sentido que el contenido de humedad de la vegetación debe ser considerada como el factor de mayor influencia en la ignición y en la propagación del fuego en los incendios forestales.

Es importante establecer la diferencia que existe entre Combustibles vivos (tallos y hojas verdes) con los muertos (hojarasca y ramillas secas), en lo que a capacidad de retención de la humedad se refiere. En general los combustibles muertos o secos son altamente sensibles a los cambios de humedad y temperatura ambiental, a diferencia de los vivos, que reaccionan lentamente.

Una forma de clasificación de Combustibles de acuerdo a la capacidad de retención de la humedad o Tiempo de Retardación ha sido recientemente introducida en Estados Unidos por el Servicio Forestal (8) (9).

Por Tiempo o Constante de Retardación se ha definido al "Tiempo requerido por un Combustible para que en condiciones de Sequía pierda aproximadamente dos tercios de la diferencia de contenido de humedad existente entre su estado original y su punto de equilibrio (3) (8) (9) (12)

En base a ese concepto el Servicio Forestal de Estados Unidos ha clasificado a los Combustibles forestales en 3 categorías:

Clase 1, Clase 10 y Clase 100, que corresponden aproximadamente a Combustibles livianos, medios y pesados, con tiempos de retardación de 1, 10 y 100 horas, respectivamente.

c) *Distribución y Continuidad de los Combustibles.*— La forma como se encuentran dispuestos los Combustibles en un rodal, tanto en el plano vertical como en el horizontal, tiene una significativa influencia en la propagación del fuego y en el tipo de incendio que pueda desarrollarse.

La Continuidad está referida a la posición de las partículas de los Combustibles unos con respecto a otros, esto es en relación a la distancia, flujo de calor a través de ellas. La velocidad de propagación y el total del calor que se pueda generar en el área está normalmente influenciada por la continuidad de los Combustibles (3).

La distribución y continuidad de los Combustibles es un aspecto de real interés para conocer en la aplicación de programas de prevención, por cuanto el hombre puede manejar el Comportamiento de los futuros incendios a través de intervenciones en la vegetación, modificando o reduciendo el peligro con medidas tales como cortafuegos, despejes, regulación de cortas e intervenciones silviculturales, quemas controladas, etc.

## II.— APLICACION EN EL CONTROL DE INCENDIOS FORESTALES

Del análisis del Comportamiento del fuego y de los factores que lo determinan, se puede deducir el uso que es posible dar a este concepto en el Control de los incendios forestales.

4.1. *Determinación de Modelos de Propagación.*— Los efectos que afectan el Comportamiento, descritos en el Capítulo III (Topografía, Clima y Combustibles), de acuerdo a la forma como se presentan en un área particular, determinan el Modelo de Propagación de un incendio forestal que allí pueda desarrollarse. De ahí reside el interés de conocer antecedentes tales como velocidades y orientaciones del viento, pendiente y calidad y continuidad de Combustibles preferentemente, a objeto de estimar la forma, velocidad y rumbo del o de los frentes de propagación de los incendios que puedan ocurrir y disponer, de esa manera, las medidas adecuadas de prevención y supresión con la debida anticipación.

4.2. *Evaluación del Grado de Peligro.*— El Grado de Peligro de Incendios Forestales ha sido definido por la Sociedad de Forestales Americanos como "el resultado de la combinación de factores variables y constantes que determinan la posibilidad de ocurrencia de incendios forestales y que afectan sus momentos iniciales, propagación, resistencia al control y daños que posiblemente puedan originarse (17).

La evaluación cuantitativa o cualitativa del Grado de Peligro constituye lo que se conoce como índices de Evaluación del Grado de Peligro de Incendios Forestales.

Existe una gran cantidad de Factores Fijos y Variables que influyen en el Grado de Peligro de un Incendio, y que afectan su Comportamiento cuando se presenta el foco; entre los más conocidos cabe destacar a los factores climáticos (sequía, humedad relativa y temperatura del aire, viento) y los Combustibles (cantidad, calidad, continuidad y distribución de la vegetación).

4.3. *Detección.*— La aplicación de los Índices de Evaluación del Grado de Peligro y el adecuado conocimiento de los factores ambientales que están influyendo en la ocurrencia y propagación de incendios, conduce no solamente a determinar los Modelos de expansión del fuego, sino que también a la estimación de las superficies que serán afectadas en períodos determinados de tiempo. La eficiencia de un programa de detección de incendios puede ser fácilmente evaluada por la superficie quemada en los momentos de descubrimiento de cada foco. De esta manera los programas de detección, sean ejecutados por sistemas de puntos fijos, aéreos o mixtos, pueden ser debidamente racionalizados cuando se maneja adecuadamente la información conocida en relación al Comportamiento del fuego y los factores que lo determinan, para el área bajo protección.

4.4. *Abastecimientos y Combate.*— Cuando las Centrales de Operación de los Programas de Control de Incendios poseen una adecuada información de las áreas bajo protección, fácilmente pueden estimar los requerimientos de personal y equipos necesarios para extinguir un foco tan pronto como haya llegado el aviso de su detección.

En algunos países el estado de la Informática se encuentra tan desarrollado al respecto, que poseen sistemas Computarizados para decidir los recursos que se deben disponer para cada situación particular (Sistemas de Despacho Automático) (11) (16) (18).

Igualmente la forma de Combatir un incendio forestal dependerá básicamente de las características del área en cuestión y del Comportamiento del fuego en el lugar. Un adecuado conocimiento de los factores que influyen en el comportamiento permitirá al jefe del incendio calcular con facilidad los niveles de intensidad calórica y los rangos de propagación del fuego, y en base a esos antecedentes decidir la táctica y métodos a emplear en la extinción.

## V.— EL CONOCIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO A TRAVES DE QUEMAS CONTROLADAS EXPERIMENTALES

El empleo del fuego con el propósito de modificar la cantidad, calidad, continuidad y distribución de los Combustibles forestales, y reducir las probabilidades de ocurrencia y propagación de los incendios forestales, en una técnica de prevención muy

conocida, que está aplicando intensivamente en muchos países, incluyendo aquellos que poseen condiciones vegetacionales, climáticos y topográficas similares a Chile (3) (11) (14) (16).

Mediante el uso del fuego en forma prescrita es posible eliminar materiales vegetales de fácil combustibilidad, tales como pastos, matorrales secos, desechos de explotaciones agrícolas y forestales, etc., que puedan existir en un área determinada, que presumiblemente pueda ser afectada por un incendio.

La ejecución de quemas controladas con el objeto de reducir o modificar los combustibles forestales, puede constituir además un excelente medio para obtener información respecto al comportamiento del fuego en incendios que puedan desarrollarse en esas mismas condiciones.

La Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad Austral ha puesto en funcionamiento en 1974 el Proyecto de Investigación F-8 ("Usos y efectos del fuego Controlado en el Manejo Forestal"), con el que por medio de la ejecución de una serie de quemas controladas experimentales efectuadas en diferentes tipos vegetacionales, entre otros aspectos, se está intentando determinar las características de los factores que afectan al comportamiento del fuego en los incendios forestales y los diferentes niveles alcanzados por las variables que lo caracterizan a ese comportamiento.

A modo de información se presentan a continuación resultados preliminares de 3 quemas experi-

mentales efectuadas bajo el amparo del Proyecto F-8, exponiéndose tablas, gráficos y fotografías de valores de velocidades de propagación e intensidades calóricas, como así también los modelos de propagación alcanzados por el fuego en el transcurso de las quemas.

QUEMA EXPERIMENTAL N° 1 (Gráfico N° 1)  
SECTOR: Cudico (Comuna Valdivia).  
FECHA: 16-10-74.

COMBUSTIBLE: Ulex sp. (homogéneo, continuo, altura 1-2 mts, sin roce previo).

COMB. DISPONIBLE: 34,4 Ton/há. (Consumido en un 100% por la quema).

HUMEDAD COMBUST.: 85,2%.  
TEMPERATURA (17.00 hrs.): 21°C (a la sombra).  
HUMEDAD RELATIVA (17.00 hrs.): 32%.

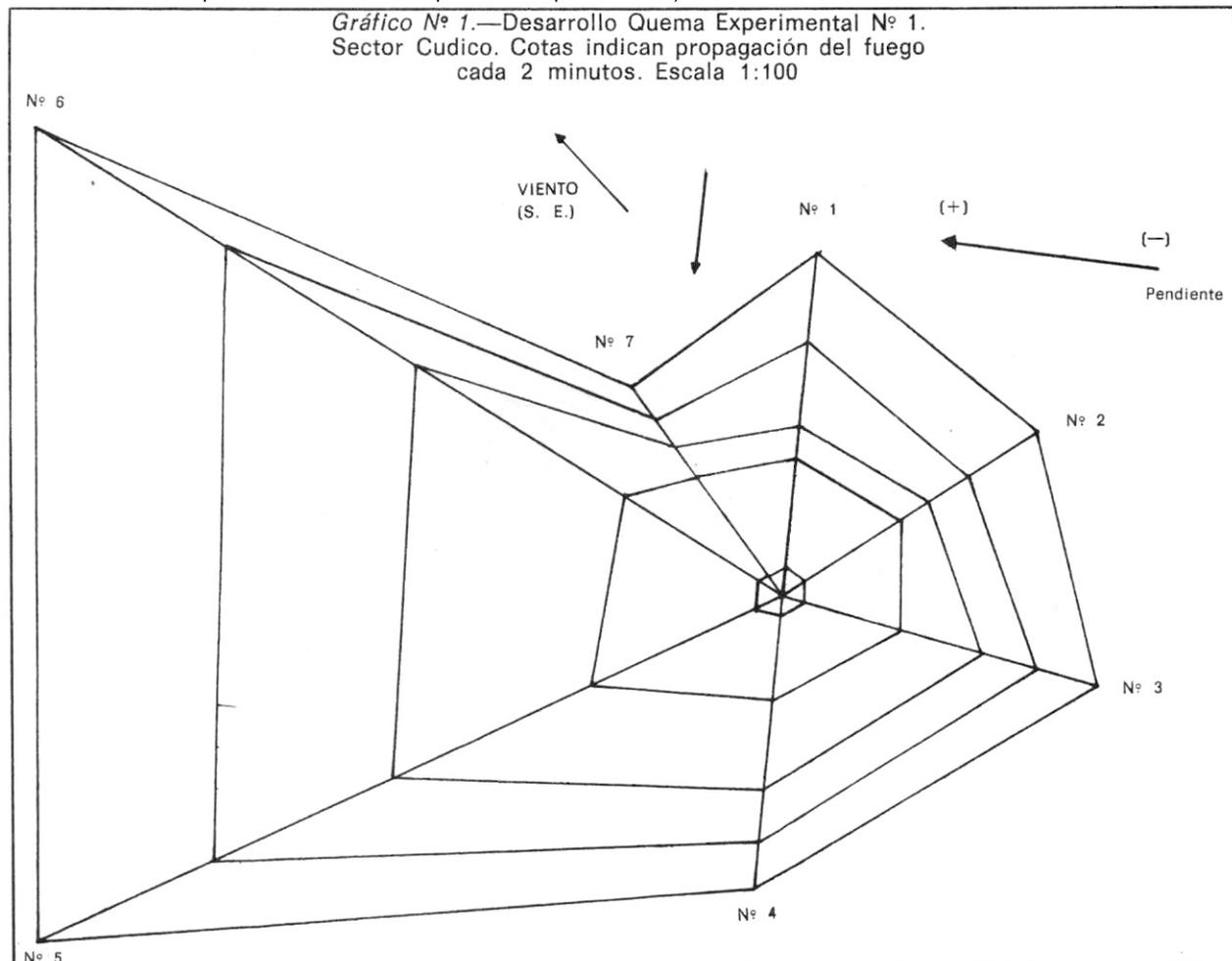
VIENTO (17-17.30 hrs.): Varió 1-3 m/seg, Dirección S. E.

N° DIAS SIN LLUVIA: 23.  
EXPOSICION: S. E. (inclinación variable entre 9 y 15°).

IGNICION Y PROPAGACION: Foco Central, que desplaza libremente en todo su perímetro hacia la periferia.

LINEAS DE CONTROL DE PROPAGACION: 7 líneas (rumbos: 0°-60°-118°-140°-180°-238°-280° Sexagesimales).

Gráfico N° 1.—Desarrollo Quema Experimental N° 1. Sector Cudico. Cotas indican propagación del fuego cada 2 minutos. Escala 1:100



**RESULTADOS DE LA QUEMA N° 1**

Avance del fuego por líneas de control (metros acumulados) por período de tiempo (minutos)

Tiempo acumulado (min.)	AVANCE POR LINEAS DE CONTROL (m)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.26	0.24	0.26	0.18	0.19	0.21	0.22
2	0.58	0.47	0.40	0.37	0.39	0.41	0.43
3	1.55	1.15	1.41	0.87	1.50	2.30	1.73
4	2.61	2.56	2.20	1.87	3.70	4.39	2.63
5	2.90	2.85	3.03	2.63	4.90	5.57	2.92
6	3.18	3.14	3.75	3.49	7.60	—	3.22
7	3.47	3.43	4.27	3.91	8.70	—	3.53
8	4.78	4.05	4.81	4.33	11.07	—	3.88
9	5.76	4.70	5.33	4.74	13.50	—	4.24
10	6.30	5.50	5.85	5.16	14.30	—	4.59
11	6.84	—	6.37	5.58	—	—	4.95
12	7.40	—	6.88	—	—	—	5.31
13	—	—	7.41	—	—	—	—

Rumbo (grados sexagesimales), velocidad de propagación (mt/hora) e Intensidad Calórica (Kcal/seg/mt) por línea de control

Línea de Control	Rumbo Grados Sexagesimales	Velocidad de propagación media (mt/hora)	Intensidad (*) Calórica Kcal/seg/mt
1	180°	37.0	127
2	238°	33.0	105
3	280°	34.2	113
4	0°	30.5	108
5	60°	84.8	289
6	118°	67.0	228
7	140°	26.5	77

(\*) En el cálculo de la Intensidad Calórica se utilizó un valor de Poder Calorífico del material combustible de 3.600 Kcal/Kg, de acuerdo a las estimaciones del Davis (Davis 1959).

Incremento Acumulado (m<sup>2</sup>) e Incremento Perimetral (m) por períodos de tiempo (min.)

Tiempo acumulado (min.)	Incremento acumulado (m <sup>2</sup> )	Incremento perimetral (m)
1	0.12	2.09
2	0.57	2.59
3	5.86	10.16
4	21.81	17.94
5	35.09	21.95
6	58.30	29.93
7	74.30	34.29
8	105.68	41.78
9	140.83	49.23
10	167.91	53.62
11	198.36	59.35

**QUEMA EXPERIMENTAL N° 3 (Gráfico N° 2)**  
SECTOR: Fundo Las Palmas (Comuna de Valdivia).  
FECHA: 16-12-74.

COMBUSTIBLE: Desechos de raleo y poda de pino insigne, mezclado con zarzamora, capa de hojarasca de aproximadamente 3 cm de espesor.  
EDAD DEL RODAL: 22 años.

COMBUSTIBLE DISPONIBLE: 33,3 Ton/há.

HUMEDAD DE COMBUSTIBLE: 117,76%.

TEMPERATURA (15.30 hrs.): 26.1°C.

HUMEDAD RELATIVA (15.30 hrs.): Varió entre 0,5-1,00 m/seg. Dirección N. E.

N° DE DIAS SIN LLUVIA: 13 días.

IGNICION Y PROPAGACION: Foco central que des- plaza libremente en todo su perímetro hacia la pe- rrisferia.

LINEAS DE CONTROL DE PROPAGACION: 8 lí- neas (Rumbos: 35°-68°-123°-170°-170°-214°-262°-300°- 350° sexagesimales).

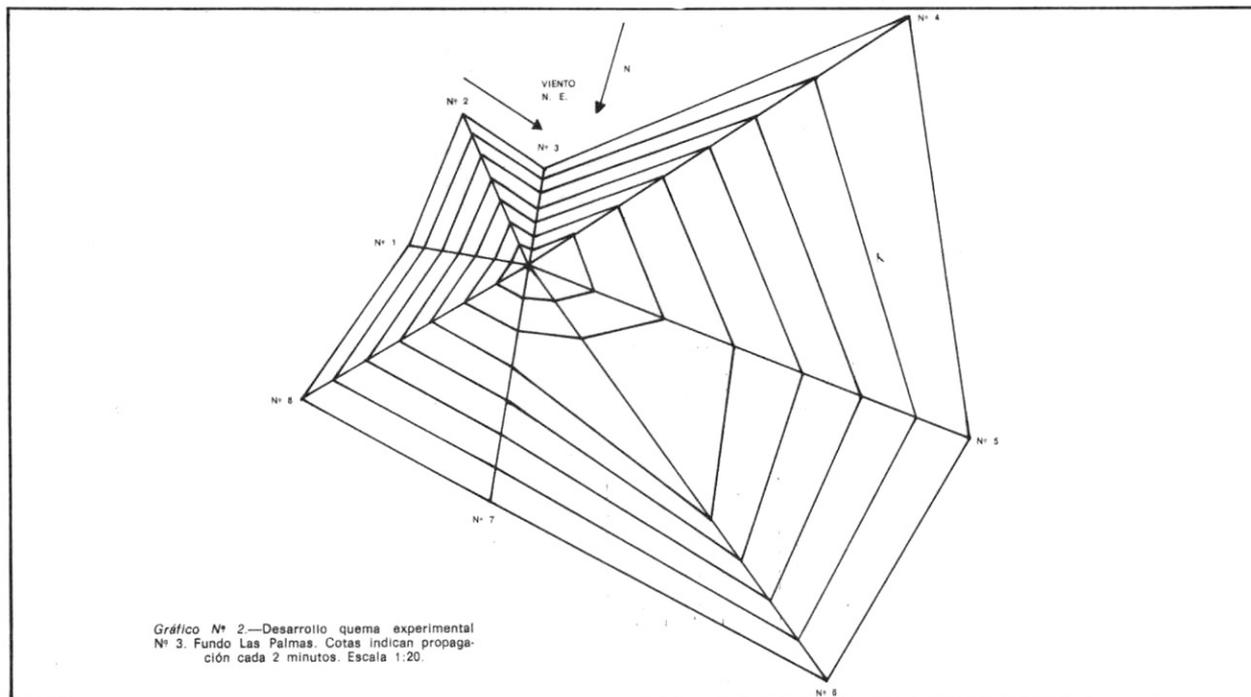


Gráfico N° 2—Desarrollo quema experimental N° 3. Fundo Las Palmas. Cotas indican propagación cada 2 minutos. Escala 1:20.

**RESULTADOS DE LA QUEMA N° 3**

Avance del fuego por líneas de control (metros acumulados) por períodos de tiempo (minutos)

Tiempo acumulado (minutos)	AVANCE POR LINEAS DE CONTROL (m)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	0.08	0.11	0.06	0.26	0.35	0.22	0.16	0.17
4	0.16	0.22	0.13	0.52	0.71	0.44	0.32	0.35
6	0.25	0.34	0.20	0.78	1.07	1.51	0.49	0.53
8	0.33	0.45	0.27	1.04	1.42	1.75	0.65	0.71
10	0.41	0.57	0.34	1.31	1.72	1.99	0.82	0.89
12	0.50	0.68	0.41	1.64	2.00	2.22	0.98	1.07
14	0.58	0.80	0.47	2.19	2.28	2.46	1.15	1.25
16	0.66	0.91	0.90	2.59	2.66	2.74	1.31	1.42
18	0.75	1.03	1.50	2.82	3.33	3.03	1.48	1.60
20	0.83	1.14	1.64	3.05	3.98	3.31	2.17	1.78
22	0.92	1.26	1.79	3.28	4.62	3.67	2.63	1.96
24	1.00	1.37	1.94	3.56	5.27	4.15	2.86	2.14
26	1.08	1.49	2.09	5.37	5.72	4.63	3.09	2.50
28	1.17	2.04	2.23	5.96	6.08	5.12	3.31	3.01
30	1.25	2.61	2.38	6.45	6.44	5.53	3.55	3.52

Rumbo (grados sexagesimales), velocidad de propagación mt/hora, e Intensidad Calórica (Kcal/seg/mt) por línea de control.

Línea de Control	Rumbo Grados Sexagesimales	Velocidad de propagación media (mt/hora)	Intensidad (*) Calórica Kcal/seg/mt
1	262°	2.5	26.2
2	214°	5.2	27.7
3	170°	4.8	23.4
4	123°	13.0	42.4
5	68°	12.9	26.3
6	35°	11.06	24.4
7	350°	7.1	18.5
8	300°	7.0	21.8

(\*) En el cálculo de la Intensidad Calórica se utilizó un valor de Poder Calorífico del material combustible de 3.600 Kcal/Kg, de acuerdo a las estimaciones del Davis (Davis 1959).

Incremento Acumulado (m<sup>2</sup>) e Incremento Perimetral (m) por períodos de tiempo (minutos)

Tiempo acumulado (min)	Incremento acumulado (m <sup>2</sup> )	Incremento perimetral (m)
2	0.10	1.25
4	0.38	2.58
6	1.29	4.82
8	2.11	6.09
10	3.13	7.29
12	4.76	8.57
14	6.50	10.16
16	9.07	11.48
18	12.85	13.17
20	16.79	14.90
22	21.54	17.12
24	28.20	20.82
26	37.58	23.15
28	44.93	25.64
30	52.52	28.42

**QUEMA EXPERIMENTAL N° 7 (Gráfico N° 3).**  
 SECTOR: Fundo Los Ulmos (Comuna de Valdivia).  
 FECHA: 16-1-75.  
 COMBUSTIBLE: Restos de explotación de Pino Insigne (8 meses), mezclado con murra, densidad alta y homogénea (0,3-2 mts de altura).  
 COMB. DISPONIBLE: 113 Ton/há (consumido en un 90% por la quema).  
 HUMEDAD DEL COMBUSTIBLE: 36%.  
 TEMPERATURA (15.00 hrs): 21,2°C.  
 HUMEDAD RELATIVA (15.00 hrs.): 48%.  
 VIENTO (15.00-15.30 hrs): Varió entre 1.5-2.0 m/seg dirección S. E.  
 N° DIAS SIN LLUVIA: 17 días.  
 IGNICION Y PROPAGACION: Foco central que se desplaza libremente en todo su perímetro hacia la periferia.  
 LINEAS DE CONTROL Y PROPAGACION: 8 Líneas (Rumbos: 15°-60°-100°-140°-200°-220°-270°-320° Sexagesimales).

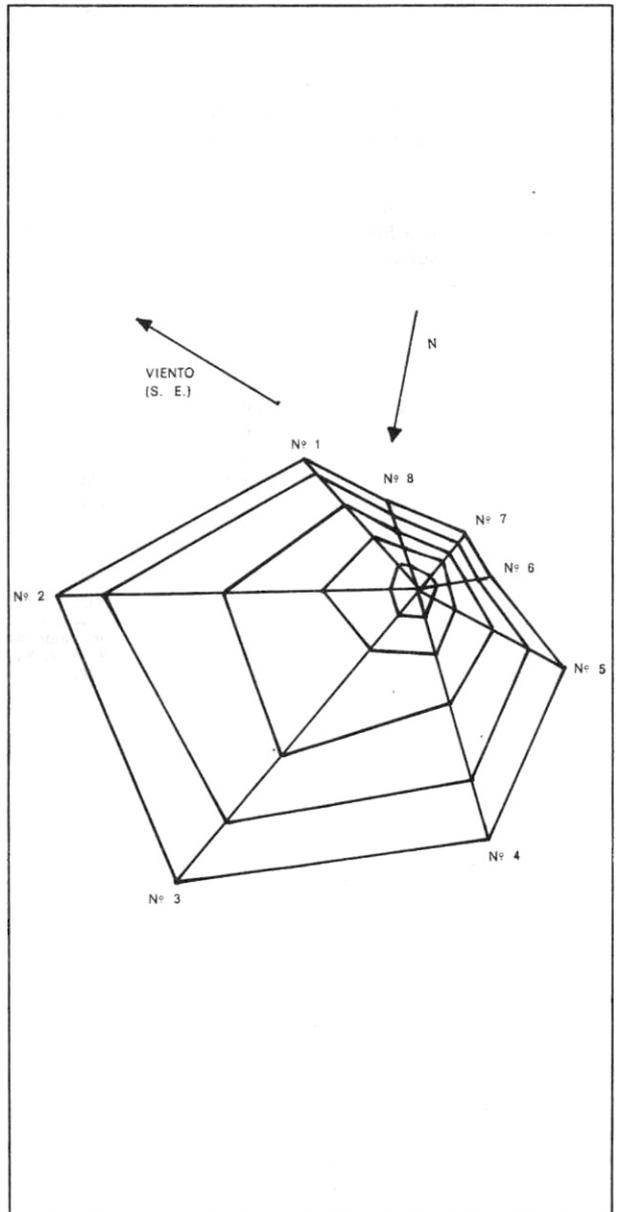


GRAFICO N° 3.— Desarrollo quema experimental N° 7. Fundo Los Ulmos. Cotas indican propagación cada 2 minutos. Escala 1:100.

**RESULTADOS DE LA QUEMA N° 7**

Avances del fuego por líneas de control (metros acumulados) por períodos de tiempo (minutos).

Tiempo acumulado (minutos)	AVANCE POR LINEAS DE CONTROL (m)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.27	0.21	0.25	0.21	0.14	0.12	0.13	0.19
2	0.54	0.42	0.50	0.42	0.28	0.24	0.27	0.38
3	0.84	0.90	0.89	0.73	0.42	0.36	0.40	0.55
4	1.14	1.53	1.28	1.07	0.66	0.48	0.53	0.69
5	1.45	2.31	2.01	1.41	1.01	0.60	0.64	0.83
6	1.87	3.23	3.54	1.90	1.37	0.72	0.75	0.97
7	2.32	4.18	5.16	2.44	1.72	0.84	0.86	1.11
8	2.58	5.13	6.33	3.22	2.07	0.96	0.96	1.25
9	2.72		7.39	3.79	2.42	1.08	1.07	1.39
10	2.87		8.45	4.25	2.72	1.20	1.18	1.53
11	3.01			4.71	3.00	1.32	1.29	1.68
12	3.15			5.17	3.28	1.45	1.39	1.82
13	3.30			5.57	3.57	1.57	1.50	1.96
14	3.44			5.85	3.85	1.69	1.61	2.10
15				6.12	4.13	2.08	1.72	2.24

Rumbo (grados sexagesimales), velocidad de propagación (mt/hora) e Intensidad Calórica (Kcal/seg/mt) por línea de control

Línea de Control	Rumbo Grados Sexagesimales	Velocidad de propagación media (mt/hora)	Intensidad (*) Calórica Kcal/seg/mt
1	220°	14.7	165
2	270°	38.5	422
3	320°	50.7	447
4	15°	24.5	212
5	60°	16.5	176
6	100°	8.3	127
7	140°	6.8	169
8	200°	8.9	155

(\*) En el cálculo de la Intensidad Calórica se utiliza un valor de Poder Calorífico del material combustible de 3.600 Kcal/Kg, de acuerdo a las estimaciones del Davis (Davis, 1959).

Incremento Acumulado (m<sup>2</sup>) e Incremento Perimetral (m) por períodos de tiempo (min)

Tiempo acumulado (min)	Incremento acumulado (m <sup>2</sup> )	Incremento perimetral (m)
1	0.10	1.20
2	0.42	2.44
3	1.24	3.20
4	2.70	4.16
5	5.44	8.80
6	11.49	12.92
7	20.20	17.37
8	30.21	21.13
9	40.79	24.56
10	52.40	27.86
11	66.60	31.03
12	79.57	34.33
13	95.05	37.60
14	111.14	40.81
15	128.81	44.05



FOTO N° 1.— Resultado de una Quema Controlada en Ulex sp., previamente cortado, en octubre de 1974. Sector Cudico.



FOTO N° 2.— Recuperación de la vegetación en la misma área tratada con una Quema Controlada indicada en la Foto N° 1, en Ulex sp. en el Sector Cudico (mayo 1975).



FOTO N° 3.— Resultado de una Quema en Bosque en Pie de Pino Insigne, a objeto de eliminar los desechos de raleos y podas. El Combustible liviano y superficial fue eliminado casi completamente (Fundo Las Palmas, Valdivia; diciembre de 1974).



FOTO N° 4.— Estado de la superficie del Suelo después de 6 meses, en un área tratada con una Quemada Controlada. La Quema se desarrolló con el objeto de eliminar los desechos de una explotación a tala rasa en bosque de Pino Insigne. (Los Ulmos, Valdivia, mayo de 1975).



FOTO N° 5.— Estado de un área, 6 meses después de haber sido tratada con una quema controlada. En esa oportunidad no se efectuó ninguna intervención previa a la vegetación, compuesta por Ulex sp. (Cudico, mayo de 1975).



FOTO N° 6.— El mismo sector indicado en la Foto N° 5, también con 6 meses de posterioridad a la ejecución de la Quema. En esta oportunidad el Ulex sp. fue previamente cortado. El Combustible fue eliminado en un 100%. (Cudico, mayo de 1975).

#### REFERENCIAS

- 1.—BROWN, J. K.  
1972 "Field of a Rate of Fire Spread model in Slash Fuels". Intermountain Forest and Range Experiment Station. U. S. D. A. Forest Service, Research Paper INT-116.
- 2.—BRUMM, EUGENIO  
1970 "Clasificación Preliminar de Combustibles Forestales en base a la Velocidad de Propagación y Tiempos de ignición". Tesis Facultad de Ciencias Forestales. U. de Chile.
- 3.—CLAR AND CHATTEN  
1966 "Principles of Forest Fire Management". The California State Board of Forestry. Sacramento, California. USA.
- 4.—CONAF  
1974 "Política de Desarrollo Forestal, Plan, Programas y Presupuesto para 1974. Publicación de la Corporación Nacional Forestal. 211 pág.
- 5.—CONAF  
1974 "Informe Temporada 1973-74". Publicación Mimeografiada de la Corporación Nacional Forestal.
- 6.—COUNTRYMAN, C.  
1972 "The fire environment concept". Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. U. S. F. S. California.
- 7.—DAVIS, KENNETH  
1959 "Forest Fire Control and Use". McGraw Hill Book Co. Inc.
- 8.—DEEMING, JOHN et Al.  
1972 "National Fire Danger Rating System". USDA Forest Service; Research Paper RM-84.
- 9.—DEEMING, JOHN et Al.  
1974 "National Fire Danger Rating System". U. S. D. A. Forest Service; Research Paper RM-84 (Edición Complementaria).
- 10.—JULIO, GUILLERMO  
1970 "Análisis del Control de Incendios Forestales en Chile". Boletín Técnico N° 23. Facultad de Ciencias Forestales, U. de Chile.
- 11.—JULIO, GUILLERMO  
1974 "Fundamentos del Control de Incendios Forestales". Publicación CONAF, 198 páginas.
- 12.—JULIO, GUILLERMO  
1974 "Terminología en Control de Incendios Forestales". PT-1-74. Corporación Nacional Forestal. 89 pág.
- 13.—JULIO, GUILLERMO et Al.  
1975 "Usos y Efectos del Fuego Controlado en el Manejo Forestal". Carpeta Antecedentes del Proyecto de Investigación F-8 Universidad Austral.
- 14.—MAC ARTHUR, A. G.  
1962 "Control Burning in Eucaliptos Forest Forestry and Timber Bureau, Leaflet N° 80. Canberra, Australia.
- 15.—NORD AND COUNTRYMAN  
1972 "Fire Relations". U. S. D. A. Forest Service. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, California.
- 16.—THE AUSTRALIAN FORESTRY COUNCIL  
1970 "Final Report-Forest Fire Control Study Tour". Australia.
- 17.—U. S. FOREST SERVICE  
1959 "Fireman's Guide". Fire Handbook of California Region.
- 18.—BARROW, J. S.  
1966 "Intelligence System for Forest Fires Control". Trabajo presentado al VI Congreso Forestal Mundial. Madrid. (Tomo II, pág. 1934).