

# ANÁLISIS DE TÉCNICAS DE QUEMA EN LA ELIMINACIÓN DE DESECHOS DE EXPLOTACIONES DE PINO RADIATA(\*)

Guillermo Julio A. (\*\*)

## RESUMEN

El estudio evalúa el comportamiento de los efectos del fuego aplicado para eliminar desechos de explotaciones a tala rasa en plantaciones de Pino Radiata.

Para tal propósito se efectuaron 24 quemas controladas, que incluyeron cuatro sitios diferentes tratados con las técnicas de encendido en retroceso, frontal y por los flancos en desechos dispersos, y con la técnica de retroceso en desechos ordenados en ruma.

Los resultados indicaron que el comportamiento del fuego, si bien en algunos casos alcanzó niveles críticos, es factible controlarlo si se consideran estrictamente las prescripciones establecidas en los planes de quema.

En la eliminación de desechos dispersos se constataron ventajas por parte de la técnica por los flancos con respecto a los otros dos tratamientos probados. Con este tipo de encendido las quemas se ejecutan con gran rapidez, son seguras, los niveles de intensidad calórica son moderados y demuestran ser altamente efectivos en la reducción de los residuos de la explotación.

## ABSTRACT

*The study evaluates fire behavior effects when burning clear cutting operations residues in radiata pine plantations.*

*With that purpose 24 controlled burnings were done in four different sites. In those sites different ignition techniques were used: backfire, headfire and flankfire with spreaded residues, and backfire with residues ordered in piles.*

*Results suggest that fire behavior, although in some cases reached critical levels, is controllable if burning prescriptions are strictly followed in burning plans.*

*When eliminating spreaded residues, advantages for the flankfire technique were appreciated, as compared with the other burning methods. With this kind of ignition, burnings are performed rapidly, safety and fire intensity levels are moderate and highly effective in logging residues reduction.*

---

(\*) Corresponde a una parte del proyecto "Efectos de los Diferentes métodos de utilización y Manejo de los residuos de explotación en los rendimientos de la Segunda rotación de Plantaciones de Pino Radiata", a cargo del Instituto Forestal.

(\*\*) Ingeniero Forestal, Profesor del Instituto de Manejo Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.

## ANTECEDENTES PRELIMINARES

El fuego ha representado, desde tiempos inmemoriales, una herramienta de gran utilidad en el cumplimiento de diversos fines en el manejo de recursos agrícolas y forestales.

Entre las diversas ventajas del uso del fuego cabe destacar su aplicación para la preparación de terrenos a forestar o reforestar, dada su gran efectividad en la eliminación de materiales vegetales. Al respecto es interesante señalar que en Chile, anualmente, son tratadas alrededor de 60.000 ha con quemas controladas con ese propósito (HALTENHOFF, 1987).

No obstante, la aplicación del fuego conlleva siempre un riesgo, ya sea en lo que respecta a la pérdida de la productividad del sitio o por la posibilidad que la quema se transforme en un incendio forestal. Sin embargo, este riesgo puede ser minimizado con un amplio margen de seguridad si se evalúa correctamente el sitio previamente a la operación, y si se toman todas las medidas necesarias para controlar su propagación y liberación calórica (BROWN y DAVIS, 1973; TORO, 1985; KUNZ et al., 1985; JULIO, 1986).

La planificación y ejecución de las quemas es una tarea que debe ser abordada con un criterio profesional. Es necesario concebir esta operación como un proceso riguroso, en el cual el análisis preliminar de las condiciones ambientales, el diseño de las medidas a aplicar, su ejecución con personal suficiente y capacitado, la adecuada disponibilidad de equipos y herramientas y, en general, las normas de seguridad, deben ser establecidas estrictamente de acuerdo a las recomendaciones técnicas en la materia, si es que efectivamente se desea que el balance final de los efectos positivos y negativos resulte netamente favorable (MARTIN y DELL, 1978; LUKE y Mc ARTHUR, 1977).

Por otra parte, el conjunto de variables que caracterizan al comportamiento del fuego (modelo y velocidad de propagación, tasa de combustión, liberación de energía, dinamismo de la columna de convección, etc.) debe ser pronosticado previamente a la ejecución de una quema, puesto que es determinante en la definición de la técnica de encendido y en las medidas de control que deben aplicarse, a objeto de asegurar el cumplimiento eficiente de los propósitos perseguidos.

El comportamiento del fuego depende de las características del terreno respectivo; es decir, de la topografía (pendiente, exposición y configuración), de las condiciones meteorológicas (especialmente la intensidad y dirección del viento) y de los materiales vegetales presentes (cantidad, continuidad y distribución).

Cada uno de los factores mencionados provoca efectos específicos en el fenómeno fuego y si ellos han sido evaluados correcta y oportunamente, es posible predecir con un alto grado de confiabilidad cómo se comportará el fuego en los momentos que la quema se ejecute.

Se ha comprobado, en innumerables ocasiones, la factibilidad de regular el efecto de los factores ambientales y, por lo tanto, la capacidad de manejar el comportamiento del fuego cuando sea necesario ejecutar una quema (MOBLEY et al., 1973; BROWN y DAVIS, 1973; MARTIN y DELL, 1978; VERGARA, 1983).

En relación a lo anterior, la forma de controlar los factores del comportamiento del fuego consiste esencialmente en lo siguiente:

- a) La vegetación, a través de un ordenamiento de los combustibles y sectorización del terreno puede ser regulada en lo que respecta a su efecto sobre la velocidad de propagación, dinamismo conveccional y concentración de la intensidad calórica. En el control de estos efectos, la técnica de encendido aplicada resulta fundamental.
- b) La topografía y el viento, que afectan principalmente la velocidad de propagación, la tasa de combustión y el dinamismo conveccional, pueden ser satisfactoriamente regula-

dos con la técnica de encendido, que contribuye, según se desee, a incrementar o reducir esos efectos.

- c) El tiempo atmosférico y la condición de la vegetación (contenido de humedad), que afectan principalmente a la tasa de combustión y, por consecuencia, a la velocidad de propagación, intensidad calórica y longitud de llamas, pueden ser reguladas con la oportunidad del encendido. Es decir, si se desea que el comportamiento del fuego alcance los menores niveles de conflictividad, se requerirá aplicar el encendido en los momentos que la temperatura y humedad relativa del aire y la condición de la vegetación sean propicias en tal sentido.

Los antecedentes recién expuestos fundamentan el objetivo del presente estudio, que esencialmente se refiere a la evaluación de técnicas de encendido en la aplicación de quemas controladas para la eliminación de desechos de explotaciones a tala rasa en plantaciones de Pino Radiata.

La técnica de encendido puede ser definida como la estrategia de aplicación del fuego en una quema. Expuesto en otras palabras, se puede señalar que corresponde a la secuencia y oportunidad de instalación de líneas de ignición en los diferentes sectores del terreno en tratamiento.

Dependiendo de las características del sitio y de los propósitos perseguidos en el uso del fuego, la técnica de encendido puede elegirse dentro de una amplia gama de posibilidades, con el fin de regular efectivamente el comportamiento en los términos deseables.

En la preparación de terrenos para la reforestación se emplean tradicionalmente dos técnicas de encendido: Retroceso y Frontal, las que se evalúan en el presente trabajo. Además, se incluye una tercera, conocida como Flancos, que está muy poco difundida en Chile, pero que es ampliamente utilizada en otros países por su efectividad en la eliminación de desechos leñosos y por su capacidad para regular los efectos del comportamiento del fuego.

## MATERIAL Y METODO

### *Terrenos de Ensayo*

Conforme a las pautas establecidas en el proyecto "Efectos de los diferentes métodos de utilización y manejo de los residuos de explotación en los rendimientos de segunda rotación de Pino Radiata" (INFOR, 1986), se seleccionaron los siguientes predios para la realización de los ensayos:

- Predio La Colcha, perteneciente a Forestal Arauco Ltda., ubicado en la comuna de Curanilahue, Provincia Arauco, con suelos de roca metamórfica como material de origen.
- Predio Meñir, perteneciente a Forestal Río Vergara S.A., ubicado en la comuna Nacimiento, Provincia Bío-Bío, con suelos graníticos.
- Predio Maquehua, perteneciente a Forestal Mininco S.A., ubicado en la Comuna Los Angeles, Provincia Bío-Bío, con suelos de arenas finas.
- Predio San Pedro, perteneciente a Bosques de Chile Ltda., ubicado en la Comuna Constitución, Provincia Talca, y con suelos de roca metamórfica.

En la realización del estudio se estipuló evaluar el comportamiento y efectos del fuego en los desechos de explotación dispuestos en dos formas diferentes: ordenados en rumas y sin ordenamiento (dispersos). Además se estableció probar tres técnicas distintas de encendido por predio a tratar con los desechos dispersos y una sola técnica de encendido, con tres repeticiones por predio, para los desechos ordenados en rumas.

**CUADRO 1**  
**ANTECEDENTES DE LAS PARCELAS DE ENSAYO PARA**  
**LOS TRATAMIENTOS CON QUEMAS**

<b>Predio</b>	<b>Parcela N°</b>	<b>Tipo</b>	<b>Superficie (has)</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Exposición</b>
La Colcha	EFA 2	Disperso	6,20	15	NO
	EFA 3	Disperso	4,50	14	NO
	EFA 4	Disperso	4,96	24	NO
	EFA R-1	Rumas	0,25	5	NO
	EFA R-2	Rumas	0,25	3	NO
	EFA R-3	Rumas	0,25	5	NO
Meñir	FVA 4A	Disperso	0,95	34	NE
	FVA 4B	Disperso	2,05	25	N
	FVA 5	Disperso	3,74	24	NE
	FVA R-1	Rumas	0,25	30	NE
	FVA R-2	Rumas	0,25	30	NE
	FVA R-3	Rumas	0,25	25	NE
Maquehua	FMC 2	Disperso	1,66	0	-
	FMC 3	Disperso	2,04	0	-
	FMC 4	Disperso	2,61	0	-
	FMC R-1	Rumas	0,25	0	-
	FMC R-2	Rumas	0,25	0	-
	FMC R-3	Rumas	0,25	0	-
San Pedro	BCH 2	Disperso	1,17	31	SO
	BCH 3	Disperso	1,71	23	O
	BCH 4	Disperso	3,83	23	O
	BCH R-1	Rumas	0,25	40	SO
	BCH R-2	Rumas	0,25	15	SO
	BCH R-3	Rumas	0,25	20	SO

En resumen, el estudio consideró la aplicación de 24 quemas controladas, 12 de las cuales se efectuaron en desechos dispersos (en parcelas de forma y extensión variable) y otras 12 en materiales ordenados en rumas (en parcelas cuadradas y de 0,25 ha de superficie).

### *Inventario de Desechos*

Se aplicaron diferentes métodos en la inventariación de los desechos en las parcelas de estudio, dependiendo ello de la disposición de los combustibles.

#### *Desechos sin ordenamiento*

En el caso de los materiales sin ordenamiento o dispersos, se optó por la aplicación del método de los transectos lineales, descrito por BROWN (1974), por considerarse más adecuado en la evaluación de la carga de combustibles.

Debido a que con esta técnica sólo se mide el peso de los desechos existentes sobre el piso del bosque, fue necesario complementarla con una evaluación de la capa de material orgánico no incorporado al suelo mineral, de acuerdo a las recomendaciones dadas por BEAUFAIT et al. (1974) y WILLIAMS (1976).

Por otra parte, algunos de los coeficientes de las fórmulas propuestas por BROWN (1974), calculadas para especies coníferas del hemisferio norte (Pino ponderosa, Pino contorta y Pino oregón), fueron corregidos para el Pino Radiata, de acuerdo a los resultados del estudio desarrollado por NAVARRETE (1986).

#### *Desechos ordenados en rumas*

La técnica de inventario aplicada correspondió a una derivación del método australiano o por pesada, descrito por JULIO Y GIROS (1975), y que consistió en una recolección sistemática de muestras de residuos leñosos (cada ruma por medio y a una distancia de 10 metros desde el mismo extremo, en cada una de las parcelas).

La muestra consistió en el material extraído en un corte transversal total de la ruma, de una anchura de 50 a 70 cm. Este material fue pesado en el terreno y determinado posteriormente en laboratorio su contenido de humedad, a fin de conocer su peso al estado anhidro.

Simultáneamente a la recolección del material, fue medido el volumen del corte transversal, el que relacionado con el peso anhidro del combustible extraído permitió conocer la densidad del mismo y los respectivos valores promedios por parcela y predio. También, en la determinación de los volúmenes de los cortes transversales se obtuvieron los antecedentes necesarios para establecer una función que relaciona la altura y anchos de las rumas con los volúmenes de ellas.

El inventario se completó con la medición de la longitud, altura y ancho de cada ruma, en todas las parcelas del estudio, antecedentes que permitieron determinar el volumen y pesos de los materiales contenidos, aprovechando las relaciones indicadas en el párrafo precedente.

#### *Planes de Quema*

El estudio consideró, en sus bases, que las quemas debían realizarse como operaciones normales de eliminación de desechos de explotación.

Por lo tanto, la preparación del terreno y la ejecución misma de la quema estuvieron a cargo siempre de la empresa propietaria del terreno de ensayo, apoyándose para tal efecto por el personal de las brigadas de combate de incendios forestales.

Al autor, por su parte, le correspondió definir la técnica de encendido a aplicar en cada caso, efectuar el análisis del comportamiento del fuego en el desarrollo de la operación y la

evaluación de los resultados, exclusivamente en lo referente al efecto en la reducción del material de desechos.

Concretamente, los planes de quema para cada parcela, y sus respectivas operaciones ejecutadas, fueron abordadas de la siguiente manera:

- Para la instalación de los cortafuegos, en algunos casos se aprovechó la red caminera existente y en otros fue necesario la construcción de cortafuegos especialmente para la operación. En estos últimos, las especificaciones fueron un ancho de 3 a 5 metros, con un raspado hasta el suelo mineral.  
Debe señalarse que todas las parcelas quedaron, en todo su perímetro, aseguradas con una faja de control (camino o cortafuego). No se consideraron cortafuegos ni fajas interiores.
- Respecto a la técnica de encendido, las decisiones se basaron en la exposición, pendiente del terreno, la dirección del viento predominante y la forma y extensión de la parcela.
- La oportunidad del encendido se determinó considerando especialmente la condición de humedad de los desechos y la intensidad del viento. En principio se estableció iniciar todas las quemas entre el atardecer y la noche.
- Las personas, equipos y organización de las operaciones estuvieron a cargo de las empresas, de acuerdo a las normas establecidas por ellas mismas para la ejecución de quema. Por lo general, dada la importancia del estudio, se dispusieron medios más que suficientes para asegurar un buen control.

### *Medición del Comportamiento del Fuego*

#### *Carga de combustibles*

Se determinó en base al peso del material de desechos al estado anhidro por unidad de superficie (Kg/m y Ton/ha), basándose en los resultados de los inventarios de combustibles.

#### *Condición de los combustibles*

Se determinó para cada ensayo, en los minutos previos al encendido. La condición del combustible se expresó en términos de porcentaje de contenido de humedad de los materiales de desechos, para lo cual se utilizó el método propuesto por Kollmann (1959), citado por PANSHIN y de ZEEUW, 1970), basado en las diferencias entre los pesos del material al estado húmedo y anhidro.

#### *Estado atmosférico*

En los momentos previos al encendido fueron medidas, en todos los casos, la velocidad y dirección del viento, la temperatura del aire y la humedad relativa del aire. También, en el transcurso de cada quema, periódicamente se controlaron la dirección e intensidad del viento.

Además, con el propósito de evaluar las condiciones ambientales en el momento del encendido, se recolectó la información meteorológica de los 30 días previos a la quema (temperaturas, humedad relativa, intensidades de viento y agua precipitada). Estos anteceden-

tes se obtuvieron de estaciones meteorológicas de las propias empresas, situadas todas ellas en las cercanías de las parcelas de ensayo.

#### *Velocidad de propagación del fuego*

Se determinó el tiempo transcurrido en el avance de los frentes de fuego entre estacas colocadas previamente y a distancias conocidas.

La velocidad de propagación se expresó en dos formas diferentes: m/seg y m/min, de acuerdo al uso posterior requerido de este antecedente.

#### *Longitud de llamas*

Se estimó periódicamente en forma visual, durante el transcurso de cada quema. Se determinaron, en base a esos datos, los valores promedios y máximos de cada ensayo.

Los valores promedios calculados en base a las observaciones de terreno comparadas con los valores calculados con la fórmula propuesta por Byram (ALBINI, 1974), que relaciona la longitud de la llama con la intensidad calórica lineal.

#### *Intensidad calórica lineal*

Para su cálculo se utilizó la fórmula de Byram, citada por BROWN y DAVIS (1974), que relaciona el poder calorífico del combustible, el peso del material combustible al estado anhidro por unidad de superficie y la velocidad de propagación lineal del frente de alcance del fuego.

Los antecedentes correspondientes al poder calorífico del material fueron obtenidos de los estudios efectuados por COVACEVICH (1979).

#### *Dinamismo conveccional*

Los antecedentes recolectados sobre el dinamismo conveccional se basaron exclusivamente en observaciones visuales, dada la imprevisión y variabilidad de este fenómeno y la imposibilidad de implementar mecanismos especiales de medición.

#### *Inventario de combustibles consumidos*

En cada parcela de combustible disperso se efectuó una sectorización, estableciendo unidades de superficie que fluctuaron en 0,1 y 0,2 ha. Posteriormente, en cada sector se llevó a cabo una evaluación visual de la cantidad promedio de material consumido, comparando la condición del terreno quemado con los antecedentes del inventario de combustibles efectuado previamente al tratamiento.

En las parcelas con el material apilado se aplicó un procedimiento similar al de las parcelas con desechos dispersos, con la única diferencia que los sectores, en este caso, estuvieron representados por los espacios cubiertos por las rumas, es decir, cada parcela tuvo tantos sectores como rumas existentes.

**RESULTADOS Y DISCUSION**

*Carga de Combustibles*

A través de los inventarios efectuados pudo determinarse el peso del material de desechos en las parcelas con combustibles dispersos y arrumados. Los antecedentes respectivos se exponen en los Cuadros 2 y 3.

**CUADRO 2**

**INVENTARIO DE COMBUSTIBLES EN PARCELAS CON DESECHOS DISPERSOS**  
(Método Intersectos Lineales)

Parcela	N° Líneas Muestreo	Peso según Tipo de Partículas (ton/ha)					Peso Total (Ton/ha)
		Hojarasca	0-0,5 cm	0,6-2,5 cm	2,6-7,5 cm	> 7,5 cm	
EFA 4	12	11.716	1.223	6.890	7.152	18.610	45.641
EFA 3	12	16.110	2.154	8.873	6.146	17.086	50.369
EFA 2	11	22.494	2.132	10.529	11.175	34.816	81.146
FVA 4-A	6	16.957	1.369	8.969	12.238	8.291	47.824
FVA 4-B	9	8.139	0.979	7.450	9.998	8.139	33.432
FVA 5	12	7.631	1.121	6.783	9.588	8.140	33.263
FMC 2	5	4.648	3.406	13.663	14.554	20.395	56.666
FMC 3	10	13.247	2.762	8.311	10.424	27.175	61.919
FMC 4	5	6.507	3.234	13.049	8.260	14.334	45.384
BCH 2	10	11.504	1.488	8.713	11.899	46.645	80.249
BCH 3	10	12.012	2.683	7.112	4.917	20.359	47.083
BCH 4	10	25.740	2.256	6.925	6.884	16.889	58.694

**CUADRO 3**  
**INVENTARIO DE COMBUSTIBLES**  
**EN PARCELAS CON DESECHOS ARRUMADOS**

Parcela	Nº	Superficie	Dimensiones Rumas(m)		Densidad de	Carga del Com	Peso Total
	Rumas	Rumas (%)	Alto	Ancho	Rumas (kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>2</sup> )	Parcela (ton)
EFA R-1	8	41,6	0,70	2,98	39,352	18,308	19,176
EFA R-2	4	23,9	0,66	3,00	42,515	18,858	11,247
EFA R-3	9	39,5	0,48	2,21	33,095	10,689	10,637
FVA R-1	7	42,0	0,74	3,00	42,082	20,851	21,542
FVA R-2	8	60,7	0,62	4,54	22,760	9,488	14,216
FVA R-3	6	46,7	0,70	3,92	30,994	14,471	17,109
FMC R-1	4	27,6	0,84	3,57	37,032	20,706	14,227
FMC R-2	4	32,2	0,84	4,12	36,272	20,262	16,409
FMC R-3	5	35,3	1,02	4,40	35,058	23,852	22,594
BCH R-1	4	25,5	1,00	3,80	72,335	48,428	30,903
BCH R-2	6	36,0	0,81	3,00	94,992	50,001	47,995
BCH R-3	6	39,0	0,90	3,25	90,802	54,508	53,449

En las parcelas con desechos dispersos, al comparar los diferentes lugares de ensayo, se observan fluctuaciones importantes (de 33 a 81 tn/ha), que podrían atribuirse a variaciones en la calidad de sitio y el tipo de aprovechamiento de cada sector.

También se observa en el Cuadro 2, que en promedio para todas las parcelas de ensayo, la mayor proporción de peso de los materiales correspondían a las partículas gruesas (con una incidencia cercana al 40%), siguiendo en importancia la hojarasca, las partículas medias, las partículas finas y, en último término, las muy finas, con una muy baja participación (alrededor del 4%).

En el inventario de materiales arrumados se observa, de acuerdo a los antecedentes del Cuadro 3, una fuerte variación de los valores entre las parcelas, tanto entre los predios como entre las parcelas de los mismos predios. Las rumas se caracterizaron por ser muy heterogéneas en cuanto a su altura, ancho, alineaciones y continuidad. Lo mismo se comprobó respecto a la densidad de los desechos y a la carga de combustibles. Estas diferencias pueden ser explicadas por la modalidad de trabajo, en las empresas, en el ordenamiento de los desechos, en el aprovechamiento de los rodales.

### *Evaluación del Comportamiento del Fuego*

#### *Encendido en retroceso en desechos dispersos*

De acuerdo a lo esperado, los resultados obtenidos indicaron un nivel mínimo de conflictividad del comportamiento del fuego, que se caracterizó por una velocidad de propaga-

ción sumamente lenta, una baja tasa de intensidad calórica, llamas de escasa longitud y un dinamismo conveccional incipiente.

**CUADRO 4**

**PARAMETROS DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN PARCELAS CON DESECHOS DISPERSOS TRATADOS CON LA TECNICA DE RETROCESO**

Parcela	Velocidad Propagación (M/min)	Intensidad Calórica (Kcal/m/seg)	Longitud de Llamas (m)		
			Máxima	Promedio Real	Promedio Fórmula
EFA - 4	0,501	121,4	5,5	0,8	1,34
FVA - 4A	0,667	194,4	4,5	1,2	1,67
FMC - 2	0,475	170,5	4,0	0,9	1,56
BCH - 3	0,454	219,9	1,4	1,1	1,74
PROMEDIO	0,524	176,5	3,85	1,0	1,58

De los antecedentes expuestos se puede observar una gran similitud de valores entre los distintos sitios tratados. Como se indicó previamente, los parámetros del comportamiento reflejaron un bajo dinamismo convencional, lo que coincidió con las apreciaciones visuales en el terreno.

*Encendido frontal en desechos dispersos*

Los resultados con la aplicación de la técnica frontal se presentan en el siguiente cuadro.

**CUADRO 5**

**PARAMETROS DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN PARCELAS CON DESECHOS DISPERSOS TRATADOS CON LA TECNICA FRONTAL**

Parcela	Velocidad Propagación (M/min)	Intensidad Calórica (Kcal/m/seg)	Longitud de Llamas (m)		
			Máxima	Promedio Real	Promedio Fórmula
EFA - 3	9,253	3.242,2	10,0	2,6	6,08
FVA - 4B	2,690	473,9	5,5	1,6	2,51
FMC - 3	1,700	627,7	5,0	1,7	2,86
BCH - 4	3,322	1.540,3	7,5	2,5	4,31
PROMEDIO	4,241	1.471,0	7,0	2,1	3,94

En este caso se presentaron niveles de conflictividad en el comportamiento que podrían calificarse de medianos a altos, con importantes desarrollos tridimensionales, que se tradujeron en movimiento convencionales ascendentes, una frecuente formación de remolinos y frentes de llamas que alcanzaron en algunas oportunidades altas velocidades de propagación. No obstante, en todos los casos, la quema se mantuvo dentro de márgenes previsible y controlables.

La explicación de esta mayor conflictividad es simple, porque la técnica establece la modalidad de encendido que permite la propagación del fuego en su sentido natural, esto es, a favor de la dirección del viento o subiendo por la pendiente.

Respecto a las diferencias que se pueden observar en la intensidad calórica y en la longitud de las llamas entre las parcelas de ensayo, ello puede interpretarse, sin lugar a dudas, por el efecto de la velocidad de propagación de los frentes de fuego, que en este tipo de técnica de encendido constituye la variable más relevante del comportamiento (ALBINI, 1974).

#### *Encendido por los flancos en desechos dispersos*

Los resultados con la aplicación de esta técnica de encendido podrían calificarse como intermedios entre los obtenidos por las técnicas en retroceso y frontal. Esto es lógico, por cuanto la técnica por los flancos constituye lo que podría denominarse una técnica en retroceso acelerada, ya que en general el fuego avanza en un sentido contrario al efecto del viento o de la pendiente, pero la modalidad de encendido establece, por las cuñas que se forman, una cantidad variable de frentes parciales que se propagan perpendicularmente a la dirección de avance global.

### CUADRO 6

#### PARAMETROS DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN PARCELAS CON DESECHOS DISPERSOS TRATADOS CON LA TECNICA POR LOS FLANCOS

Parcela	Velocidad Propagación (M/min)	Intensidad Calórica (Kcal/m/seg)	Longitud de Llamas (m)		
			Máxima	Promedio Real	Promedio Fórmula
EFA - 2	1,397	768,3	6,5	2,1	3,13
FVA - 5	1,121	238,9	6,5	1,7	1,81
FMC - 4	0,839	268,4	5,5	1,6	1,93
BCH - 3	1,287	560,6	8,5	2,5	2,71
PROMEDIO	1,161	459,0	6,75	1,97	2,39

A pesar que las velocidades de propagación observadas en la técnica por los flancos son notablemente inferiores a las comprobadas en las quemas frontales (valores promedios de 1.16 y 4.24 m/min, respectivamente), la operación se desarrolla más rápidamente. Ello se debe a que el encendido simultáneo en líneas paralelas permite cubrir con fuego todo el terreno en un período más corto. En general, las quemas por los flancos requirieron prácticamente la mitad del tiempo ocupado por las quemas frontales.

Por otra parte, los valores de la intensidad calórica pueden calificarse como moderados, lo que junto a la rapidez con que se ejecuta la quema (como se revisará más adelante), conduce a suponer una razonable reducción de los desechos sin alterar significativamente las propiedades del suelo (RALSTON y HATCHELL, 1971).

*Encendido en retroceso en desechos arrumados*

En este tratamiento se encontraron las mayores diferencias en el comportamiento del fuego al comparar los resultados de las parcelas de ensayos en los predios y entre los predios, lo que indudablemente puede explicarse por las diferencias comprobadas en el inventario de combustibles (pesos y volúmenes de las rumas).

**CUADRO 7**

**PARAMETROS DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN PARCELAS CON DESECHOS ARRUMADOS TRATADOS CON LA TECNICA DE RETROCESO**

Parcela	Velocidad Propagación (M/min)	Intensidad Calórica (Kcal/m/seg)	Longitud de Llamas (m)		
			Máxima	Promedio Real	Promedio Fórmula
EFA R-1	0,396	503,8	7,0	1,7	2,58
EFA R-2	0,581	780,6	7,0	2,4	3,16
EFA R-3	0,370	303,2	6,5	1,3	2,04
FVA R-1	0,611	984,1	7,0	2,6	3,48
FVA R-2	1,801	1.293,3	7,5	2,2	3,98
FVA R-3	2,926	3.160,7	8,5	2,8	6,01
FMC R-1	0,575	826,2	7,0	2,0	3,24
FMC R-2	0,610	899,3	6,5	2,1	3,37
FMC R-3	0,904	1 933,0	8,0	1,9	4,78
BCH R-1	0,140	461,7	2,8	1,1	2,48
BCH R-2	0,211	613,8	4,9	1,6	2,83
BCH R-3	0,987	3.408,2	3,5	1,6	6,27
PROMEDIO	0,842	1.264,0	6,35	1,94	3,68

*Transferencia de Energía*

Los antecedentes sobre la energía potencial del combustible (correspondiente a la energía contenida en el combustible disponible inventariado previamente a la quema) y la energía efectivamente liberada (como consecuencia de la quema), son interesantes de analizar conjunta-

mente con los respectivos valores de la intensidad calórica. Toda esta información provee una referencia valiosa en la evaluación de los efectos del fuego sobre las propiedades del suelo (BEAUFIT et al., 1975; NORUM, 1974; WELLS et al., 1978). Los Cuadros 8 y 9 se refieren a ello.

CUADRO 8

**ENERGIA POTENCIAL Y ENERGIA LIBERADA EN PARCELAS CON DESECHOS DISPERSOS SEGUN LA TECNICA DE ENCENDIDO**

Técnica Encendido	Parcela	Energía Potencial (Kcal/m <sup>2</sup> )	Energía Liberada (Kcal/m <sup>2</sup> )	%
Retroceso	EFA -4	22.511	14.543	64,6
	FVA -4A	23.849	17.500	73,4
	FMC -2	27.939	21.531	77,1
	BCH -2	39.294	27.771	70,7
	<b>PROMEDIO</b>	<b>28.398</b>	<b>20.336</b>	<b>71,6</b>
Frontal	EFA -3	24.982	21.023	84,2
	FVA -4B	17.227	10.570	61,4
	FMC -3	30.526	22.157	72,6
	BCH -4	33.060	27.824	84,2
	<b>PROMEDIO</b>	<b>26.449</b>	<b>20.393</b>	<b>77,1</b>
Flancos	EFA -2	40.657	33.002	81,2
	FVA -5	16.506	12.783	77,4
	FMC -4	22.445	19.200	85,5
	BCH -3	23.244	17.782	76,5
	<b>PROMEDIO</b>	<b>25.713</b>	<b>20.692</b>	<b>80,5</b>

CUADRO 9

**ENERGIA POTENCIAL Y ENERGIA LIBERADA EN LAS PARCELAS CON DESECHOS ARRUMADOS TRATADAS CON LA TECNICA DE RETROCESO**

Predio	Parcela	Energía Potencial (Kcal/m <sup>2</sup> )	Energía Liberada (Kcal/m <sup>2</sup> )	%
La Colcha	EFA R-1	90.017	67.838	75,4
	EFA R-2	92.718	80.117	86,4
	EFA R-3	52.661	48.195	91,5
	<b>PROMEDIO</b>	<b>78.465</b>	<b>65.383</b>	<b>83,3</b>
Meñir	FVA R-1	104.726	96.845	92,5
	FVA R-2	47.430	42.922	90,5
	FVA R-3	72.682	64.721	89,0
	<b>PROMEDIO</b>	<b>74.946</b>	<b>68.163</b>	<b>90,9</b>
Manquehue	FMC R-1	103.938	86.981	83,7
	FMC R-2	101.798	86.949	85,5
	FMC R-3	119.726	109.077	91,1
	<b>PROMEDIO</b>	<b>108.457</b>	<b>94.336</b>	<b>87,0</b>
San Pedro	BCH R-1	236.885	200.675	84,7
	BCH R-2	245.528	214.297	87,3
	BCH R-3	267.620	233.579	87,3
	<b>PROMEDIO</b>	<b>250.011</b>	<b>216.184</b>	<b>86,4</b>
<b>PROMEDIO TOTAL</b>		<b>127.970</b>	<b>111.016</b>	<b>86,8</b>

Es interesante destacar los resultados obtenidos en las quemas con materiales tratados con la técnica por los flancos. En este caso, el promedio de energía liberada con respecto a la disponible es mayor que la observada en las quemas frontales, en circunstancias que los promedios de intensidad calórica, de acuerdo a los antecedentes expuestos en los Cuadros 5 y 6 fueron significativamente menores en las primeras (459 y 1.161 kcal/m/seg, respectivamente).

Esto último estaría revelando, en principio, la ventaja que ofrecería la aplicación de la técnica por los flancos sobre los otros tratamientos. La liberación de energía es proporcionalmente muy alta, pero la tasa de combustión muy baja, lo que significa que la transferencia de calor se llevó en un período más prolongado.

De todo ello se puede inferir que en la técnica por los flancos el suelo estuvo afectado por

temperaturas más moderadas y, en consecuencia, con una menor alteración de sus propiedades, a diferencia de lo que podría haber ocurrido con las quemas frontales y las quemas en desechos arrumados.

*Efectos de las técnicas en la eliminación de los desechos*

Con el objeto de facilitar el análisis del efecto de la técnica de encendido en la reducción de los combustibles, los resultados se presentan separadamente de acuerdo a la disposición de los materiales de desechos.

**CUADRO 10**

**EFFECTO DE LAS TECNICAS DE ENCENDIDO EN LA ELIMINACION DE DESECHOS DISPERSOS**

Técnica	Parcela	Combustible Disponible (Ton/ha)	Combustible Consumido (Ton/ha)	%
Retroceso	EFA -4	45,641	29,250	64,1
	FVA -4A	47,824	34,980	73,1
	FMC -2	56,666	43,410	76,6
	BCH -2	80,249	56,379	70,3
	<b>PROMEDIO</b>	<b>57,595</b>	<b>41,005</b>	<b>71,2</b>
Frontal	EFA -3	50,369	42,190	83,8
	FVA -4B	33,432	21,160	63,3
	FMC -3	61,919	44,670	72,1
	BCH -4	58,694	48,140	82,0
	<b>PROMEDIO</b>	<b>51,103</b>	<b>30,040</b>	<b>76,4</b>
Flancos	EFA -2	81,146	66,517	82,0
	FVA -5	33,263	25,650	77,1
	FMC -4	45,384	38,470	84,8
	BCH -3	47,083	37,810	80,3
	<b>PROMEDIO</b>	<b>51,719</b>	<b>42,112</b>	<b>81,4</b>



CUADRO 11

EFFECTO DE LA TECNICA DE ENCENDIDO EN RETROCESO  
EN LA ELIMINACION DE DESECHOS ARRUMADOS

Predio	Parcela	Combustible Disponible (Ton)	Combustible Consumido (Ton)	%
La Colcha	EFA R-1	19,176	16,192	84,4
	EFA R-2	11,247	9,678	86,0
	EFA R-3	10,637	9,648	90,7
	<b>PROMEDIO</b>	<b>13,687</b>	<b>11,839</b>	<b>86,5</b>
Meñir	FVA R-1	21,542	20,075	93,2
	FVA R-2	14,216	12,944	91,1
	FVA R-3	17,109	15,340	89,7
	<b>PROMEDIO</b>	<b>17,622</b>	<b>16,120</b>	<b>91,5</b>
Maquehue	FMC R-1	14,227	12,066	84,8
	FMC R-2	16,409	14,225	86,7
	FMC R-3	22,594	20,470	90,6
	<b>PROMEDIO</b>	<b>17,743</b>	<b>15,587</b>	<b>87,8</b>
San Pedro	BCH R-1	30,903	26,082	84,4
	BCH R-2	47,995	41,756	87,0
	BCH R-3	53,449	46,501	87,0
	<b>PROMEDIO</b>	<b>44,116</b>	<b>38,113</b>	<b>86,4</b>
<b>PROMEDIO TOTAL</b>		<b>23,192</b>	<b>20,415</b>	<b>88,0</b>

Las mayores proporciones de combustibles consumidos correspondieron a las quemas con desechos ordenados, lo que lógicamente es explicable por la concentración de materiales existentes en las rumas. En estos casos, la combustión se ve favorecida por la gran continuidad (vertical y horizontal) y contacto entre las partículas, factores que contribuyen a un desarrollo más rápido de las fases de presecado, precalentamiento o ignición (BROWN y DAVIS, 1973).

En las parcelas con los desechos dispersos, el mayor efecto en la eliminación de los combustibles lo provocaron los tratamientos con la técnica de encendido por los flancos, siguiendo en orden de importancia las técnicas frontal y en retroceso.

Los resultados obtenidos con la técnica por los flancos permiten reiterar los comentarios emitidos anteriormente respecto a este tratamiento. Al parecer, en el objetivo de preparar terreno para la reforestación, este tipo de quema presentaría condiciones ventajosas, porque además de su efecto en la eliminación de los desechos, su desarrollo se realiza con una alta

transferencia de energía calórica, pero a una baja o moderada tasa de combustión. Todo esto conduce a suponer que no se estarían provocando alteraciones significativas en las propiedades del suelo.

## CONCLUSIONES

- a) La carga de combustibles, determinada a través de los inventarios de desechos, presentó diferencias importantes entre las parcelas con materiales dispersos y las con materiales arrumados. En general, las diferencias mencionadas pueden atribuirse a diferentes causas, destacándose entre otras a las variaciones en la calidad del sitio, las modalidades de explotación forestal, los trabajos de reordenamiento de los desechos en la preparación de las parcelas y factores meteorológicos como temporales de viento, que contribuyeron a incrementar la cantidad de residuos.
- b) En relación al comportamiento del fuego en las parcelas con desechos dispersos, se comprobó que la aplicación de la técnica de encendido frontal es la que provoca los niveles más críticos sobre las variables velocidades de propagación, longitud de llamas, intensidad calórica y dinamismo conveccional. Por el contrario, los niveles más moderados se observaron con la técnica en retroceso.  
En las parcelas con desechos arrumados los niveles de comportamiento del fuego fueron críticos sólo en algunos casos, manifestándose especialmente en las variables intensidad calórica y dinamismo conveccional.
- c) Los resultados de las técnicas de encendido en la reducción de combustibles indicaron que la mayor efectividad se observó en la técnica en retroceso, aplicada a desechos arrumados.
- d) Se puede concluir, en principio, en las ventajas que ofrecería la técnica por los flancos sobre los otros tratamientos estudiados, por cuanto la liberación de energía es proporcionalmente muy alta, pero la tasa de combustión baja, lo que significaría que la transferencia de calor se efectúa en períodos más prolongados.  
Lo anterior conduce a suponer que, en la técnica por los flancos, el terreno estuvo sometido a temperaturas más moderadas y, en consecuencia, la alteración de las propiedades del suelo sería menor que en el caso de las quemas frontales y las aplicadas en desechos arrumados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALBINI, F.A. 1974. Fire Behavior Estimation - A Course Outline. USDA Forest Service. Northern Forest Fire Lab. Missoula. Montana. 67 p.
- BEAUFAIT, W., MARDSEN, N., NORUM, R. 1974. Inventory of Slash Fuels Using 3 p. Subsampling. USDA For. Ser., Gen. Tech. Rep. INT-13 Ogden. Utah, 17 p.
- BROWN, J.R. 1974. Handbook for Inventorying Downed Wood Material. USDA. For Ser., Gen. Techn. Rep. INT-16, Ogden, Utah. 24 p.
- BROWN, A. A., DAVIS, K.P. 1973. Forest Fire Control and Use. Mc Graw Hill, N. York. 686 p.
- COVACEVICH, R. 1979. Poder Calorífico de Pino Insigne y otras Especies Forestales Chilenas. Tesis Ing. For. Santiago. U. de Chile. 92. p.
- HALTENHOFF, H. 1987. El Uso del Fuego como Herramienta de Trabajo Silvoagropecuario, CONAF, Doc. Trab. N° 83. Santiago. 36 p.
- HOUGH, W. A. 1968. Fuel Consumption and Fire Behavior of Hazard Reduction Burns. USDA, For-Ser. Res. Pap. SE-36 p.
- JULIO, G. 1986. Preceptos técnicos en el uso del fuego en Terreno Rurales. Actas Seminario Uso del Fuego, CONAF-CORMA. Concepción. 17.p
- JULIO, G., GIROZ, G. 1975. Notas sobre el comportamiento del Fuego y su aplicación en el Control de Incendios Forestales. Bosques 1(1): 18-27.
- KUNZ, M., AGUIRRE, S. PETERS, R., PRADO, J.A. 1975. Efectos de la utilización de las Plantaciones de Pino Insigne en la Mantención de la Productividad del Sitio. Simp. Pinus Radiata - Investigación en Chile. Fac. Ciencias Forestales. UACH. Valdivia. Tomo I: 177-197.
- LUKE, R.H., MC. ARTHUR, A.G. 1977. Bushfires in Australia. Wilke and Co., Victoria. Australia. 359 p.
- MARTIN, R.D., DELL, J.D. 1978. Planning for Prescribed Burning in the Inland Northwest. USDA For. Ser.Gen. Techn. Rep. PNW 76, Portland, Oregon, 67 p.
- MOBLEY, H., JACKSON, R., BALMER, W., RUZISKA, E., HOUGH, W. 1973. A Guide for Prescribed Fire in Southern Forest. USDA, For. Ser. Atlanta, Georgia, 40 p.
- NAVARETE, A. M. 1986. Comparación de dos métodos para inventariar combustibles forestales. Tesis, Ing. For. Valdivia. Univ. Austral de Chile. 59 p.
- NORUM, R. A. 1974. Fire Intensity - Fuel reduction Relationships Associated with Understory Burning in Larch-Douglas Fir Stands. Tall Timber Conference N° 14, Montana. pp. 559-572.
- PANSHIN, A. J. DE ZEEUW, C. 1970 Textbook of wood technology. 4ª ed. Mac Graw Hill, N. York, 722 p.
- RALSTON, CH. W., HATCHELL, G.E. 1971. Effects of Prescribed Burning on Physical Properties of Soil. Proc. Prescribe Burning Symp. USDA. For. Serv. Charleston, S. Carolina. pp: 68-84.
- TORO, J. 1985. Aspectos Nutricionales del Pino Radiata en relación al uso del sitio. Actas Simp. Pinus Radiata - Investigación en Chile. Fac. Cs. Forestales. UACH. Valdivia Tomo I: 152 - 162.
- VEGA, J.A. 1978. Utilización del Fuego Controlado en las Comunidades Vegetales de Galicia. Bol. Est. Central de Ecología. Vo. 14, N° 7. Madrid, 19 p.
- VERGARA, R. 1983. Proposición de Normas Técnicas para la aplicación del Fuego en Faenas Silvoagropecuarias. Tesis, Ing. For. UACH, Valdivia. 123 p.
- WELLS, C. G., CAMPBELL, R.E.; DEBANO, L.F. 1978. Effects if Fire on Soil. USDA Forest Service, Gen. Techn. Rep. WO-7. Washington.
- WILLIAMS, D F. 1976 Forest Fuel in Unthinned Radiata Pine stands. Forestry 39 (4) 238 - 244.