

# Seguimiento de grandes incendios forestales, para el apoyo a la valoración de pérdidas económicas<sup>1</sup>

Miguel Castillo S.; Patricio Pedernera A.; Guillermo Julio A.<sup>2</sup>

## Resumen

Se aplicó el Simulador de Expansión de Incendios Forestales del Sistema KITRAL para la recreación de las condiciones por las cuales, grandes incendios afectaron a una empresa forestal durante el mes de febrero de 1999, en la Octava Región de Chile. El objetivo del estudio se centró en determinar cuántos eventos y en qué instantes de tiempo, afectaron a un predio en particular, para propósitos de cuantificar los daños económicos directos y apoyar la toma de decisiones para el Sistema de Seguros. Al respecto, se determinó que el predio de interés fue afectado por tres incendios, de un total de siete que afectaron a la zona en estudio.

## Introducción

La Octava Región de Chile fue severamente impactada por la ocurrencia y propagación de incendios forestales en el transcurso del período 7 al 11 de febrero de 1999, con daños que, de acuerdo a las estimaciones de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), excedieron a las 40 mil hectáreas. La conflictiva situación, que particularmente afectó a la zona costera de la Provincia de Concepción, fue generada principalmente por las condiciones meteorológicas de grado extremo que prevalecieron previamente y en el transcurso del período antes señalado y, también, debido a los efectos acumulativos de una prolongada sequía en la zona. Entre las cuantiosas pérdidas ocasionadas por los incendios, cabe señalar los originados a extensas plantaciones de Pino radiata, pertenecientes a diversas empresas forestales. Los daños directos resultantes sobre este recurso fueron cuantiosos, de una magnitud sin precedentes en los últimos 30 años, en la región, o por menos, desde que existen estadísticas oficiales sobre incendios forestales.

Lógicamente, un hecho de tal naturaleza, por la gravedad que representa, requirió ser profundamente analizado, por las implicancias económicas, sociales y ambientales que derivan. Indudablemente, las empresas forestales afectadas necesitan conocer exactamente cómo ocurrió el problema, y en qué forma y en qué oportunidad fueron dañados sus predios. Sin embargo, después de los incendios, el análisis visual de los terrenos quemados no permitió identificar con claridad los patrones de la propagación del fuego, y la información registrada en las centrales de operaciones no fue suficiente para determinar con completa precisión, la

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de esta ponencia se presentó en el II Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección Contra los Incendios forestales, 19-22 abril, 2004, Córdoba, España.

<sup>2</sup> Académicos, Departamento Manejo de Recursos Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Casilla 9206, Santiago, Chile.

propagación del fuego en la medida que arrasaban las plantaciones forestales. Por tal razón, se consideró la realización de un estudio cuyo propósito fue determinar los modelos de propagación del fuego de los diferentes siniestros ocurridos en los días 7 y 8 de febrero, a fin de conocer el origen de los daños en cada uno de los predios afectados. Para este estudio, se contempló preferentemente analizar la situación del Predio Trinitarias, perteneciente a la empresa Forestal Bío Bío S.A.

Para la ejecución del estudio se utilizó el simulador de incendios del Sistema KITRAL. Los resultados de la simulación revelan claramente los modelos de propagación del fuego de los incendios analizados, que predios fueron afectados en sus avances y en qué oportunidad se produjeron los daños.

Conforme a lo anterior, se plantearon los siguientes objetivos: definir mediante el empleo del simulador de incendios del Sistema KITRAL, los modelos de propagación de los incendios forestales ocurridos durante el período señalado, aportar antecedentes respecto al comportamiento de los incendios forestales que afectaron al predio Trinitarias y otros, de propiedad de la Empresa Forestal Bío Bío S.A., y determinar la superficie quemada por cada uno de los incendios que afectaron al predio antes mencionado.

## **Métodos**

El estudio fue desarrollado mediante un procedimiento que contempló la ejecución secuencial de las siguientes etapas: una actualización de Información Digital sobre Combustibles Forestales, la obtención de Parámetros Ambientales para la Simulación de los incendios considerados en el estudio. Posteriormente se empleó el Simulador de Incendios del Sistema KITRAL, cuyos resultados fueron procesados en un SIG.

### ***El Sistema KITRAL***

KITRAL es un sistema completamente elaborado en Chile, cuyo funcionamiento está apoyado en medios computacionales, y cuyo desarrollo se ha basado en la construcción de diversos módulos independientes interconectados que permiten al usuario poder realizar en forma ágil las actividades de mayor frecuencia en una central de operaciones. Entre sus principales características, destaca la capacidad de poder pronosticar la propagación del fuego a distintos instantes de tiempo, además de reconstruir eventos históricos y evaluarlos en términos de superficie, forma del siniestro y cuantificación de los combustibles afectados (Julio y otros 1995).

Con la simulación de un incendio, es decir, con la representación anticipada de las características que adquirirá en periodos posteriores a su iniciación o a partir de un momento dado de su desarrollo, es posible obtener una enorme cantidad de antecedentes útiles, tales como su velocidad y modelo de propagación, cantidad de energía liberada, longitud de las llamas, efectos de la radiación vertical, extensión del perímetro y esfuerzo requerido para el control, por mencionar los más relevantes.

El aspecto clave en la simulación del comportamiento del fuego, es la determinación de la velocidad y modelo de propagación, por cuanto a partir de estas dos variables, y siendo conocidas las condiciones ambientales prevalecientes en el terreno afectado, es posible estimar el efecto de los otros componentes presentes en la expansión del incendio (Julio 1999).

Son innumerables las variables que influyen en el modelo de propagación de un incendio forestal, o en la forma que va adquiriendo un foco en el plano horizontal, a medida que transcurre el tiempo desde su inicio. No obstante, la experiencia indica que la velocidad de propagación del fuego depende esencialmente de cuatro factores del comportamiento del fuego: Tipo de Vegetación (Modelo de Combustible), Contenido de Humedad de la Vegetación, Pendiente del Terreno y Velocidad del Viento (Brown y Davis 1973, Albini 1976).

Diversas investigaciones han demostrado que, tanto el modelo de combustible como el contenido de humedad de la vegetación, si bien afectan a la velocidad de propagación del fuego, no influyen en el modelo de propagación. Es decir, para diferentes niveles de valores o condición de los factores antes mencionados, se producirán también diferentes tamaños del incendio, pero siempre mantendrá la figura geométrica que generará el foco en el terreno, si los otros factores (pendiente y viento) se mantienen constantes. Por otra parte, las variaciones del modelo de combustible y el contenido de humedad no se presentan en superficies pequeñas (Anderson, 1983).

En cambio, con la inclinación del terreno y la intensidad del viento, la situación es diferente. Las relaciones de estos factores con la velocidad de avance del fuego no son lineales, de modo que las variaciones en sus niveles afectarán al modelo de propagación del incendio, aunque se mantengan constantes el modelo de combustible y el contenido de humedad de la vegetación. También, las fluctuaciones en el viento (dirección e intensidad) y en la pendiente (grado de inclinación y exposición), son muy altas, incluso en extensiones pequeñas, y además se pueden observar cambios significativos en sus efectos según el rumbo de la propagación (Andrews 1986).

El Simulador de incendios fue puesto a prueba bajo condiciones reales, recopilándose información completa y confiable de más de 120 incendios forestales de distintas magnitudes. Los resultados indican que KITRAL es capaz de efectuar pronósticos superiores al 90 por ciento en incendios superiores a las 60 hectáreas reales afectadas. A su vez, en siniestros con superficies inferiores a 2 hectáreas, el nivel de confiabilidad baja aproximadamente a un 58 por ciento, lo cual técnicamente es razonable si se considera que la unidad mínima de información presente en las bases de datos geográficas del sistema, se compone de celdas de 25 metros cuadrados para todos sus niveles de información (Castillo 1998).

Lo anterior prueba la alta confiabilidad del simulador, particularmente en el caso de incendios grandes, lo que junto a la velocidad de procesamiento que posee (proyección de 12 horas futuras en tres minutos), representa un muy buen estándar, dada la complejidad del tema y la elevada cantidad de variables, con sus respectivas funciones que concurren en el proceso.

### ***Actualización de Información Digital sobre Combustibles Forestales***

Consistió en la realización de un proceso de ajuste de los mapas de combustibles del sistema KITRAL, mediante la inclusión, en su base de datos geográfica, de los combustibles forestales identificados por la Empresa Forestal Bío Bío S.A. al interior de sus respectivos predios. Para ello se procedió a incorporar a la base de datos del sistema las cubiertas prediales rodalizadas proporcionadas por la Empresa, y a la calificación de las formaciones vegetales existentes dentro de los rodales, como

modelos combustibles forestales de acuerdo con la clasificación de Modelos de Combustibles desarrollada para el Sistema KITRAL.

Como resultado, se obtuvo un mapa digital de combustibles que cubre la totalidad de la zona de estudio, el que fue empleado para realizar las simulaciones de los incendios forestales.

### ***Obtención de Parámetros Ambientales para la Simulación***

En esta etapa, se procedió a estudiar el conjunto de los datos sobre el estado meteorológico observado en la zona de estudio, para los días correspondientes al período de interés. Sobre la base del análisis de los antecedentes recolectados, se evaluó posteriormente la factibilidad de empleo del Simulador de Campos de Vientos del Sistema KITRAL. De acuerdo con los antecedentes estudiados, la situación observada durante los días 07, 08, 09 y 10 de febrero demuestra claramente la existencia de condiciones favorables para la generación de incendios de comportamiento extremo, con un elevado grado de dificultad para el control. La existencia de altas temperaturas, unidas a la presencia de un viento de alta velocidad y a una sequía acumulada de varios meses, contribuyeron a que la propagación de los incendios alcanzara una alta conflictividad durante todo el día 07 de febrero. Como una forma de asemejar el valor de las variables ambientales a simular, respecto a las condiciones reales presentes en el área, en cada una de las simulaciones se ajustó el valor de cada una de ellas, para lograr representar adecuadamente las condiciones de día y noche, dada la duración del período de estudio considerado.

### ***Empleo del Simulador de Incendios del Sistema KITRAL***

El proceso de simulación fue desarrollado en forma independiente para cada incendio, obteniéndose como resultado un plano de propagación libre, que no incluye acciones de combate, para un período comprendido entre la hora de inicio de cada evento, y las 10:00 horas del día siguiente. El tiempo fue expresado en minutos, y se midió desde el momento de inicio del incendio (o minuto 0). Una vez localizados geográficamente los puntos de inicio, se efectuaron las simulaciones para cada evento, hasta lograr ajustar en forma aproximada el modelo de propagación del incendio simulado con la figura real del incendio. Como resultado de esta etapa, se generaron siete planos de tiempos de propagación, uno por cada incendio considerado en el estudio, cubriendo aproximadamente la misma superficie y a la misma resolución espacial. Posteriormente, estos planos fueron traspasados a un Sistema de Información Geográfica, con el cual se desarrollaron los análisis finales del estudio.

### ***Procesamiento de los Incendios Simulados en SIG***

El Sistema KITRAL posee herramientas que posibilitan el despliegue de los incendios simulados en pantalla, utilizando para ese efecto bandas de colores diferentes, las que permiten identificar la posición de los frentes de fuego en intervalos definidos por el usuario (que en este caso fueron cada 60 minutos). Sin embargo, para efectos del análisis que se deseaba realizar (integración de todos los modelos de propagación), el sistema no cuenta con herramientas orientadas para tales fines, razón por la que todo el procesamiento final debió realizarse por medio del empleo de los SIGs Idrisi para Windows y ARC/INFO para Unix.

Los procesos involucrados en esta etapa fueron: i) clasificación de los mapas de tiempo obtenidos en intervalos referidos a un instante de inicio común, y ii)

generación de mapas de conjunto donde fuese posible observar el desarrollo integrado de todos los incendios en un mapa único. Para estos efectos, se consideró como tiempo cero (o tiempo de inicio común para todas las simulaciones) la hora de inicio del incendio Huidanqui (11:00 del 07/02/99), dado que todos los demás siniestros analizados comenzaron en horas posteriores. Este proceso se realizó mediante la suma de la cantidad minutos adecuada, para desplazar el instante de inicio de la simulación realizada en el KITRAL, hasta el instante de tiempo que realmente le correspondió, en relación con la hora de inicio del incendio Huidanqui. De esta manera, se sumó a la hora de inicio de cada incendio la cantidad de minutos que se presenta a continuación:

**Tabla 1**— *Relación de tiempos de inicio real y los ingresados al Simulador del Sistema KITRAL.*

<b>Incendio</b>	<b>Hora de inicio real en la simulación</b>	<b>Minuto de inicio en la simulación con KITRAL</b>	<b>Minutos a sumar en la simulación</b>
Huidanqui	11:00	0	0
Hualqui	13:00	0	120
Puente 5	13:10	0	130
Quebrada Honda	14:40	0	220
San Lorenzo	15:50	0	290
Santo Domingo	19:50	0	530
Coihueco	22:20	0	680

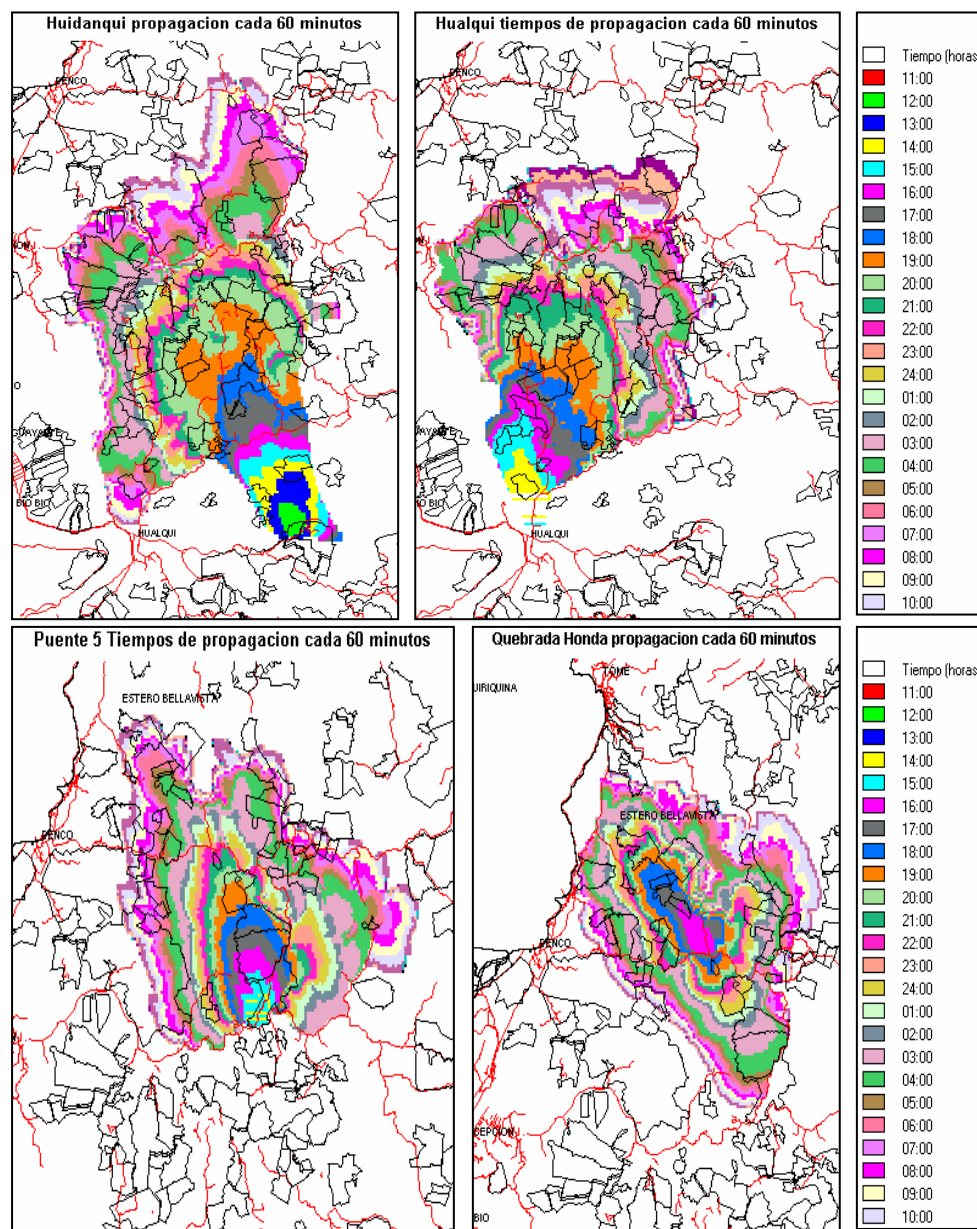
Con los planos de tiempo ajustado obtenidos, se procedió a realizar una subdivisión del intervalo de tiempo (11:00 del 01/02 hasta las 10:00 hrs. del 08/02), de modo que se obtuviese una representación más clara de la situación de avance de todos los incendios como conjunto. Para esto, se dividió el período considerado en cinco intervalos irregulares, considerando que para todos los incendios se debía mostrar alguna propagación, de acuerdo con los instantes de inicio de cada uno. Esto se logró construyendo mapas de situación para las 14:00, 17:00, 21:00 y 24:00 horas del 07/02, y para las 03:00, 07:00 y 10:00 horas del 08/02.

El paso final correspondió a la estimación de la superficie afectada por cada incendio dentro del conjunto. Debido a que el sistema entregó, para este caso, la situación de cada incendio en forma independiente, sin tomar en cuenta su interacción con los otros, fue necesario desarrollar un programa que analizara los tiempos de encendido de cada unidad de análisis, considerando la propagación conjunta de aquellos incendios que se juntaron en algún momento del período de análisis. El programa desarrollado emplea un algoritmo que recorre todos los píxeles de cada uno de los planos de tiempo generados por incendio, asignando a los píxeles de resultado un identificador que señala el primer incendio que alcanzó dicho píxel en su propagación. Este proceso fue necesario para poder identificar, dentro del predio Trinitarias, las superficies que fueron afectadas por cada uno de los incendios bajo análisis. En esta parte del estudio, sólo se consideraron los incendios que podrían haber tenido algún efecto sobre el predio de interés (Huidanqui, Hualqui, Puente 5, Quebrada Honda y Coihueco), descartándose los incendios San Lorenzo y Santo Domingo, porque claramente se constataba que no habían afectado al predio en cuestión. Así se obtuvo, entonces, el plano de superficies quemadas para cada incendio dentro de la zona del predio Trinitarias.

## Resultados

### Simulación de Incendios

En el caso de las simulaciones obtenidas mediante el empleo del sistema, las figuras siguientes presentan la propagación de los incendios individuales, donde cada banda de color, señala la posición del frente de fuego cada 60 minutos desde el momento de inicio del incendio, hasta la hora señalada como tiempo máximo de simulación (10:00 horas).



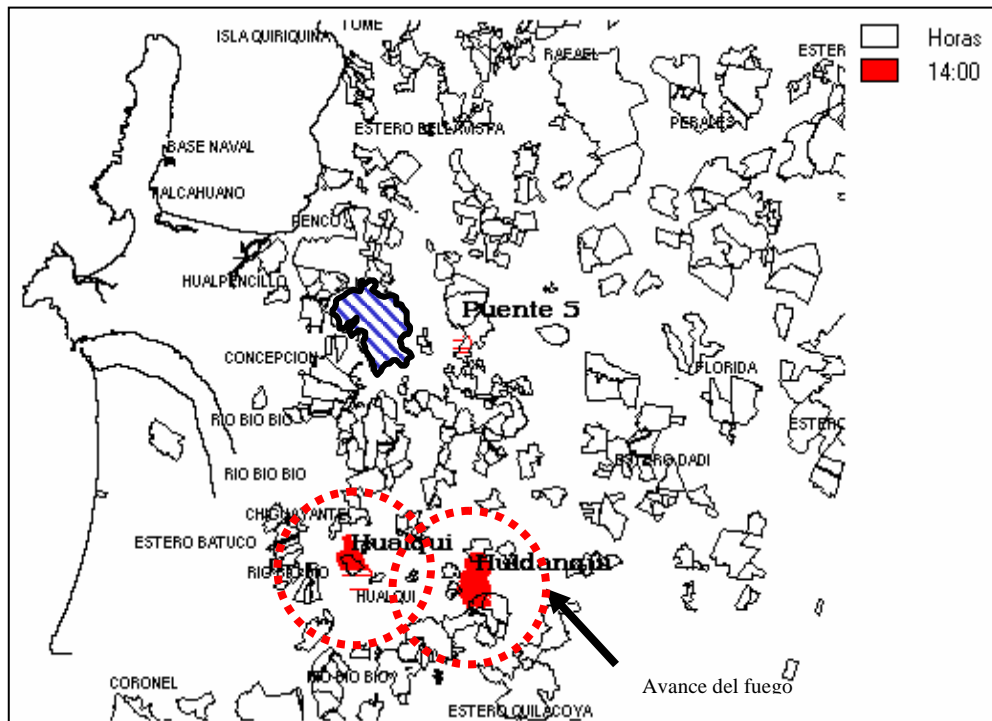
**Figura 1**— Simulación de incendios forestales a un período de 24 horas, utilizando el Sistema KITRAL. Las distintas bandas de colores representan cotas de propagación del fuego cada 60 minutos.

En todos los casos, es posible apreciar el violento avance de los incendios en las primeras horas transcurridas desde su inicio. Por otra parte fue posible apreciar el efecto de las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa que actúan como retardantes de la propagación en las horas de la noche.

### **Procesamiento de los Incendios Simulados en SIG**

Una idea más general de la situación acaecida durante los incendios del 07 de febrero, se pudo obtener al generar un mapa que muestra la situación general para períodos de tiempo posteriores al inicio de los incendios.

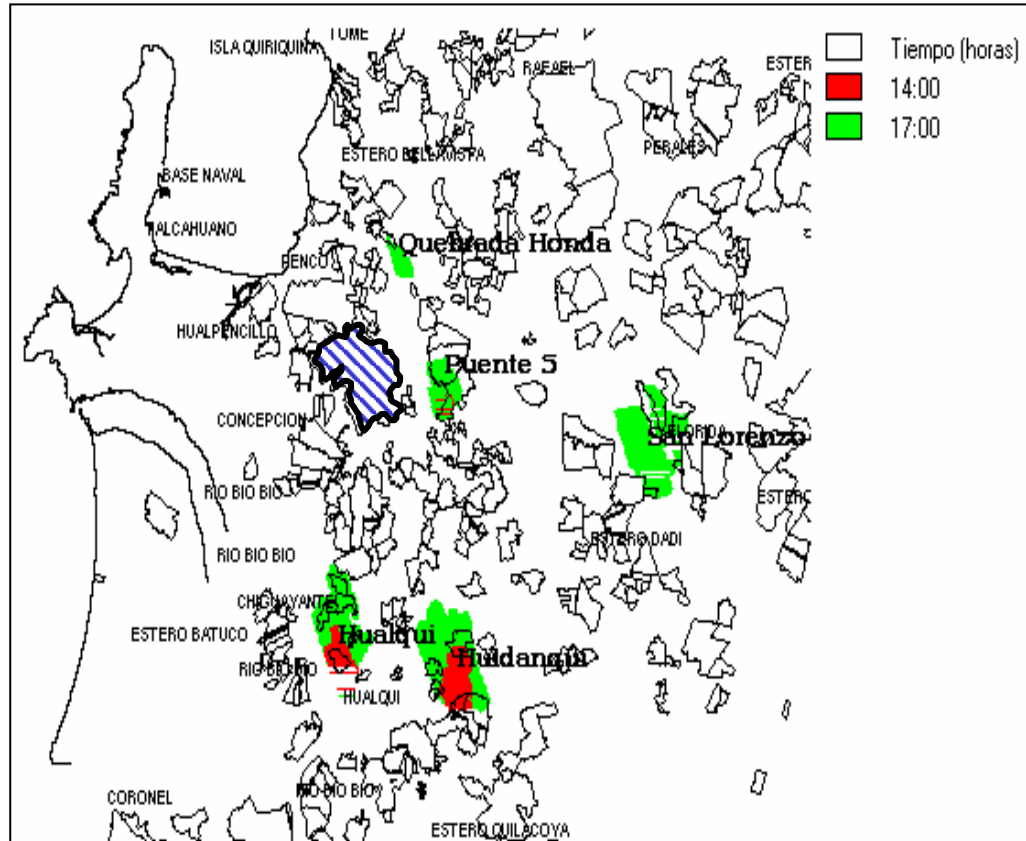
Al respecto, conviene mencionar que para mostrar esta situación, se seleccionaron intervalos de tiempo que permiten tener una visión relativamente clara del avance de los siniestros, cuidando de mostrar algún tiempo de propagación para cada uno de ellos. La Figura 2 muestra la situación general cuando habían transcurrido 3 horas desde el inicio del incendio Huidanqui, y 1 hora desde el inicio del incendio Hualqui.



**Figura 2**—Situación General a las 14:00 del día 07 de Febrero. El sector achurado señala el predio de mayor interés en el estudio (Trinitarias). Los círculos señalan los principales focos, con propagación N-NE.

En la figura, se puede apreciar claramente que el incendio Huidanqui avanzó rápidamente en dirección Noroeste, afectando una superficie de 776 ha, gran parte de las cuales corresponden a particulares. Lo mismo ocurre en el caso del incendio Hualqui, el que avanza en la misma dirección señalada, afectando una superficie aproximada de 423 ha.

La Figura 3, presenta la situación en la zona seis horas después (a las 17:00 horas), y se logra apreciar que los incendios continuaron con su expansión, en la misma dirección consumiendo predios de la empresa y de Forestal Celco.



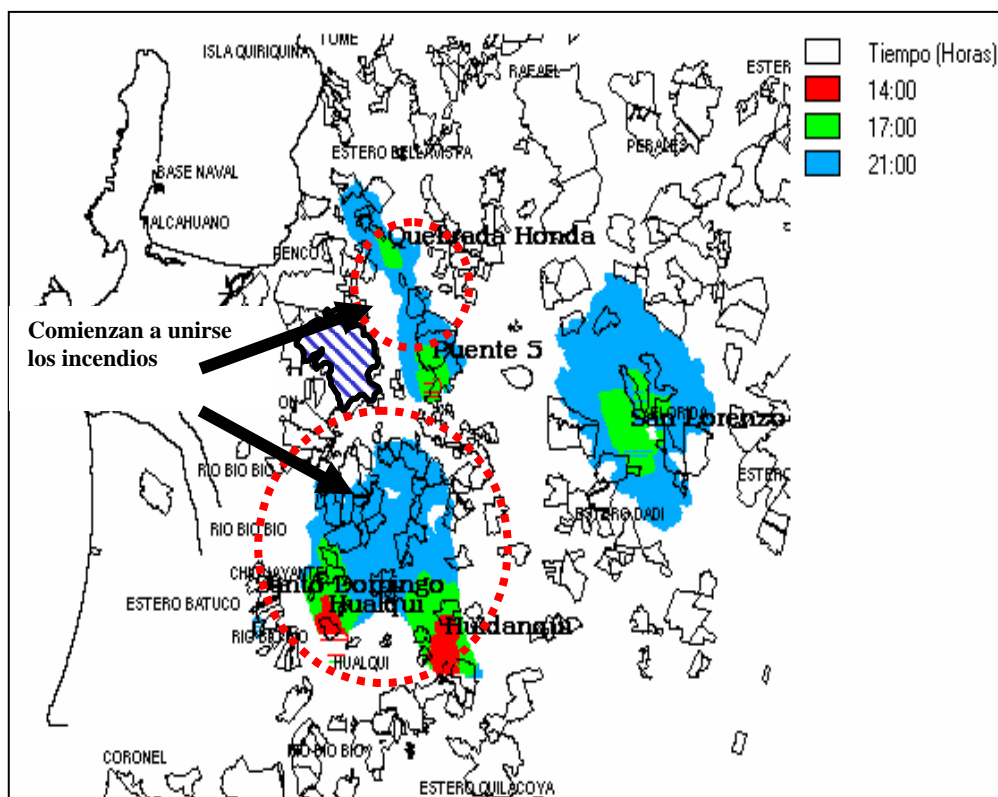
**Figura 3**— *Situación General a las 17:00 del día 07 de Febrero*

En el caso del incendio Huidanqui, a esta hora, la superficie afectada alcanzó las 2.440 ha. Por su parte el incendio Hualqui, afectó 1.780 ha., gran parte de las cuales correspondieron a predios de la empresa y de Forestal Celco. A la misma hora, ya se habían iniciado los incendios de Puentes 5 con 736 ha quemadas, Quebrada Honda, con 280 ha y San Lorenzo con 1.999 ha. Cabe destacar que en general la dirección general de avance de los incendios se mantiene hacia el Noroeste.

Por otra parte, fue notable la velocidad de avance y la expansión que adquirió en la simulación el incendio San Lorenzo (en la zona de Florida), el que en un lapso de sólo 70 minutos alcanzó una superficie mucho mayor que los demás focos en actividad. Esto evidencia posibles problemas en los valores asignados a las variables que condicionan la propagación del fuego en el proceso de simulación.

En el caso del incendio Puentes 5, fue posible apreciar que a esta hora ya se encontraba dentro del predio Camarico 1 de Forestal Celco, con una dirección de avance que lo llevó directamente hacia el predio Camarico 2, vecino al anterior. En el caso del incendio Quebrada Honda, su avance lo llevó directamente hacia el predio del mismo nombre, acumulando una superficie quemada de aproximadamente 280 ha. A continuación, la Figura 4 presenta la situación general observada a las 21:00 horas del 07 de febrero



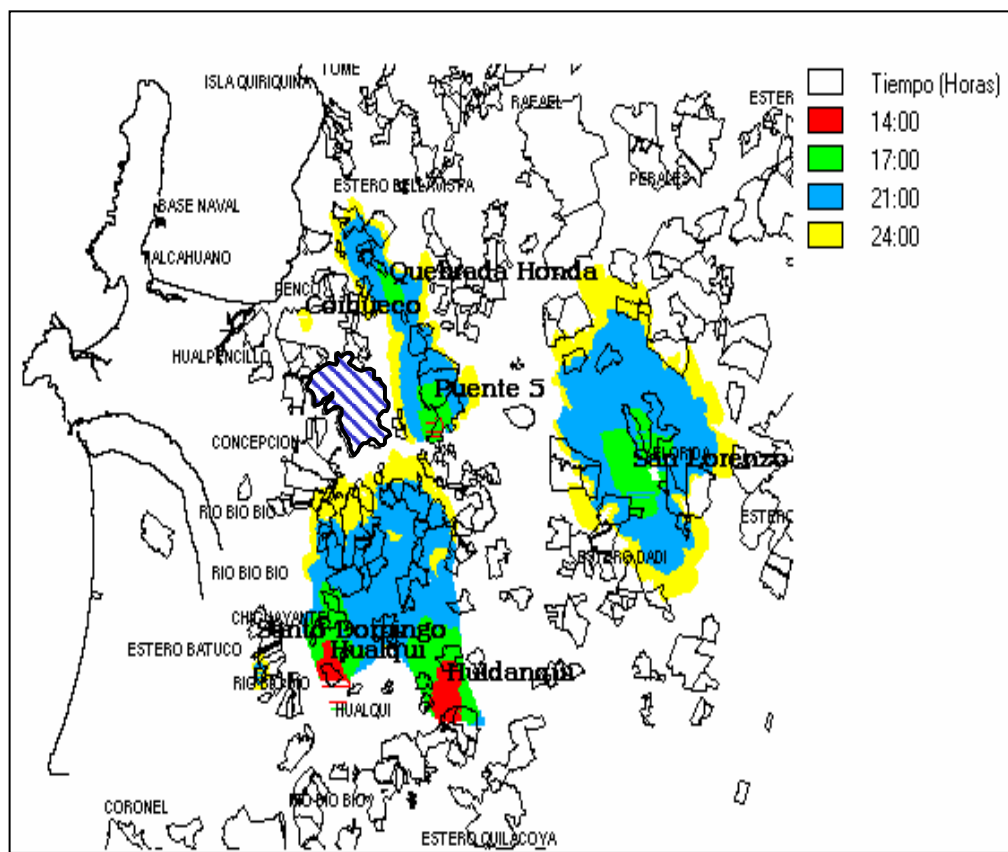


**Figura 4**— *Situación General a las 21:00 del día 07 de Febrero*

La Figura, muestra que a esta hora ya se había producido la unión de los principales siniestros, (Huidanqui y Hualqui), afectando en conjunto una superficie de 11.500 ha., causando daños en una gran cantidad de predios. El avance del fuego continúa hacia el norte, en dirección al predio Trinitarias de Forestal Bio Bio, con un frente de fuego originado en el incendio Huidanqui.

Hacia la parte Norte, también se unieron los incendios Puente 5 y Quebrada Honda, representando en conjunto una superficie aproximada de 4.700 ha., parte de las cuales corresponden al predio Camarico 1, que ya había sido consumido completamente. De la misma forma que en el caso de Huidanqui-Hualqui, el avance del fuego se mantenía francamente en dirección noroeste. Paralelamente se iniciaba el incendio Santo Domingo, con una superficie afectada de 55 ha.

A las 24:00 del 07 de febrero, la situación se mantenía en condiciones similares a las del período anterior, con un avance del fuego en dirección noroeste. Sin embargo, en la sección norte de la zona se iniciaba el incendio Coihueco, el que a esa hora había afectado un total aproximado de 117 ha., pertenecientes a particulares. La Figura 5, presenta la situación general a la hora indicada precedentemente.

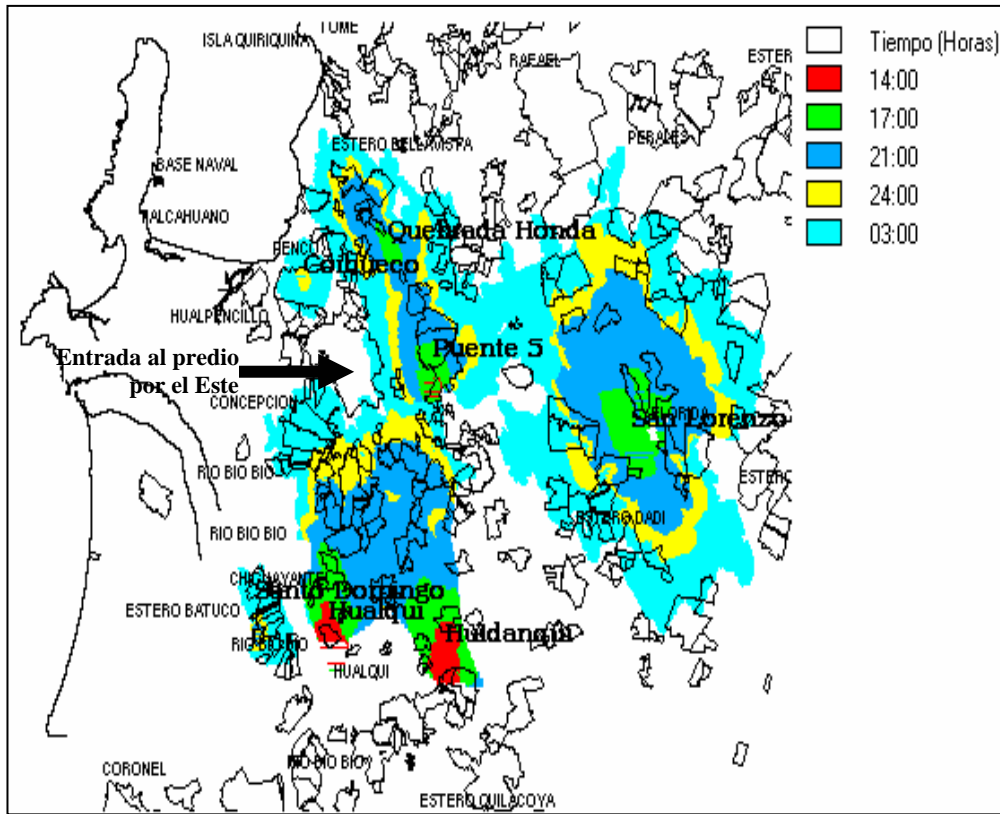


**Figura 5**— Situación General a las 24:00 del día 07 de Febrero

A esta hora, el incendio Huidanqui-Hualqui ya había consumido una superficie aproximada de 15.400 ha y se acerca a la ruta Concepción-Bulnes. Por su parte, el incendio Puente 5-Quebrada Honda, había consumido 7.200 ha. y comenzaba a expandirse hacia los lados, lo que en el período siguiente causaría la unión de estos incendios con el frente de fuego que viene desde el sur (Huidanqui-Hualqui).

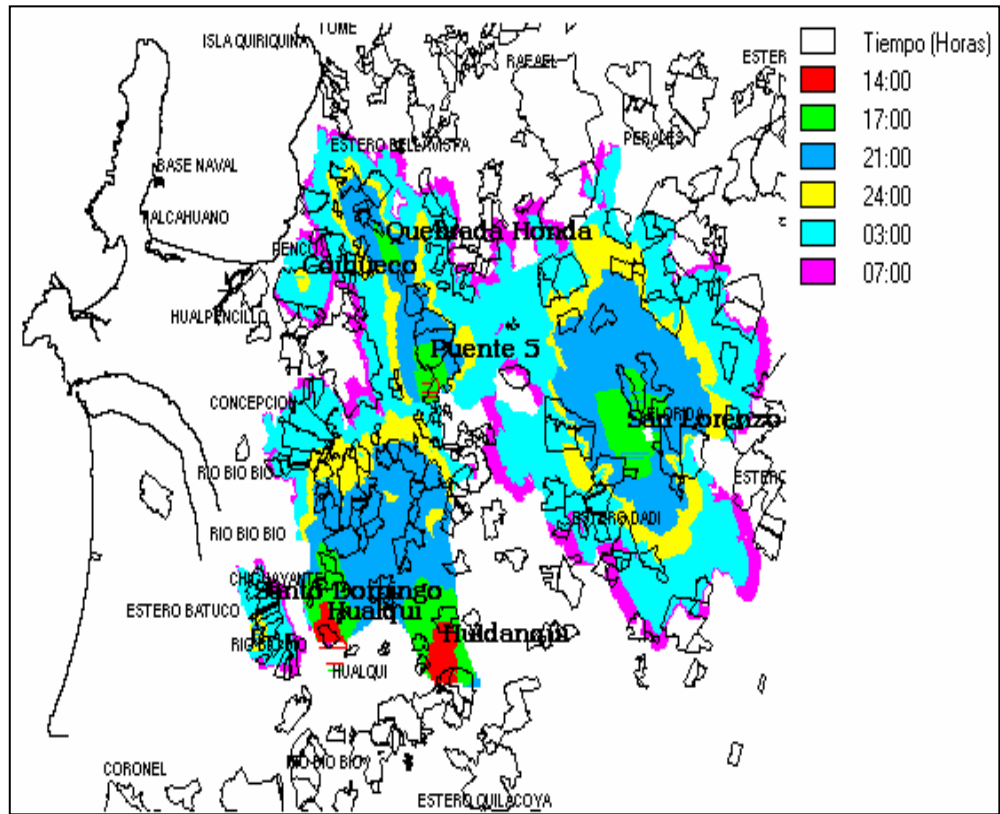
En el caso del incendio San Lorenzo, se pudo apreciar una propagación bastante explosiva (17.400 ha) lo que confirmaba la existencia de problemas en los parámetros que alimentaban la simulación.

En la figura, se puede apreciar claramente que a esta hora ya se está iniciando la amenaza al predio Trinitarias, por dos frentes de fuego; el incendio Huidanqui-Hualqui, por el sur, y el incendio Puente 5-Quebrada Honda por el este. En la Figura siguiente, se presenta la situación a las 03:00 horas del día 08 de febrero.



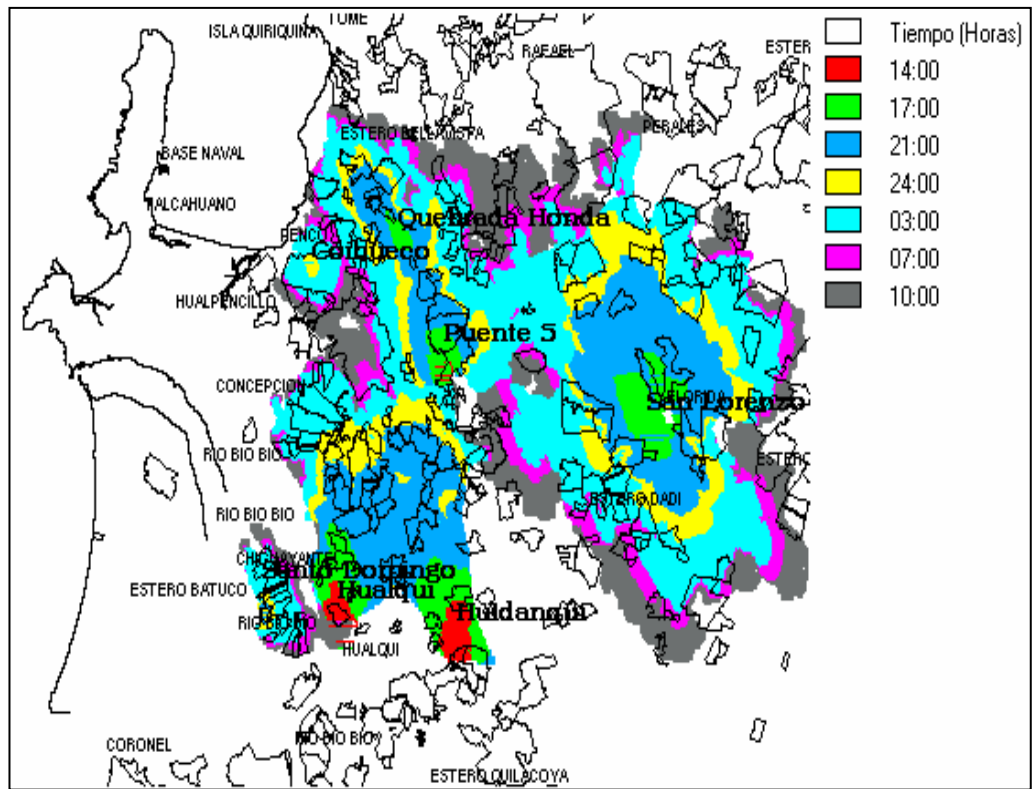
**Figura 6**— Situación General a las 03:00 del día 08 de Febrero. El fuego comienza a ingresar al predio Trinitarias por la sección Este.

En la figura, es posible observar que a esta hora se produce la entrada en el predio Trinitarias, del frente de fuego que avanza desde el sur (Huidanqui-Hualqui) y del incendio que avanza desde el este (Puente 5-Quebrada Honda). Por otra parte, y hacia el este se produce la unión de ambos incendios, continuando con su expansión hacia los lados. Al observar estos antecedentes, y dada la parte del predio por donde se produce la entrada del fuego, los incendios que afectaron al predio a esta hora correspondieron a los frentes de fuego originados por los incendios Huidanqui y Puente 5. En el caso del incendio Hualqui, su avance es detenido por la presencia de un curso de agua y de la carretera Concepción-Bulnes. En el sector norte, el incendio Coihueco a esa hora sólo representaba una amenaza al predio Trinitarias, aunque el frente de fuego se localizaba muy cerca del límite predial. En la parte sur, el incendio Santo Domingo continuaba su expansión, afectando 1440 ha. A continuación, la Figura 7 muestra la situación observada a las 07:00 horas



**Figura 7**— Situación General a las 07:00 del día 08 de Febrero

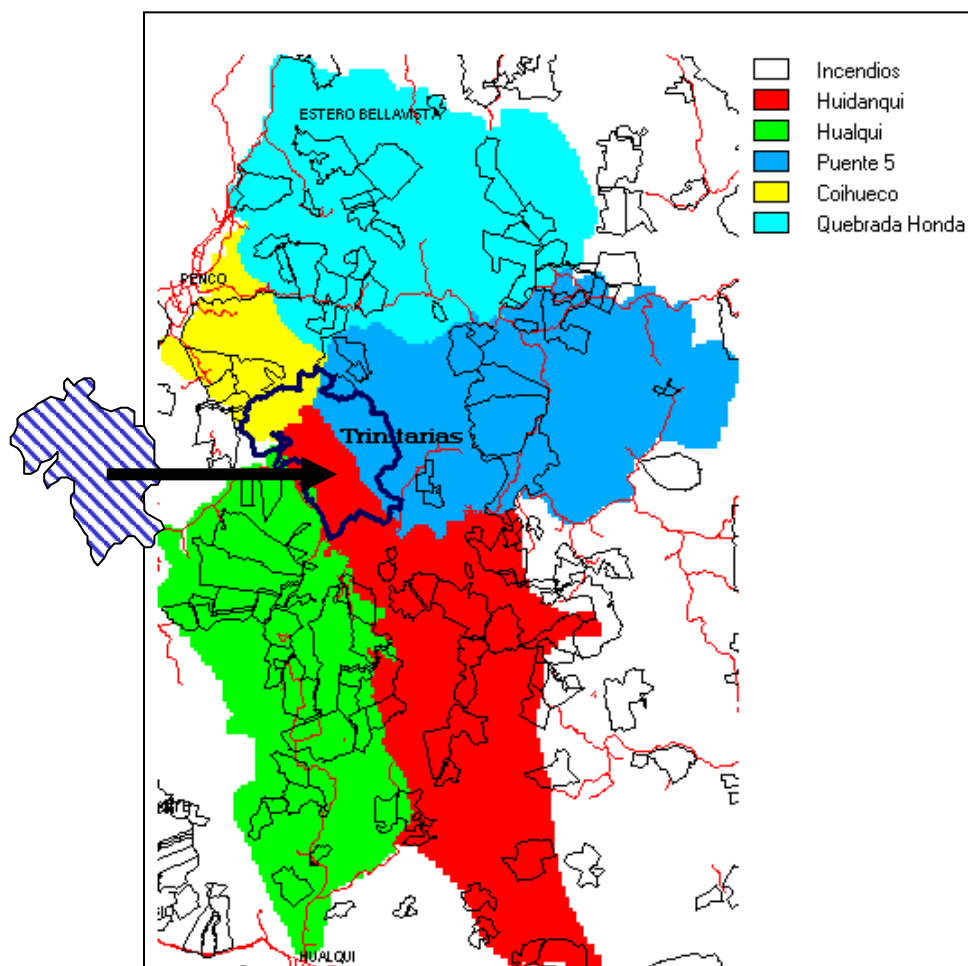
En este período, los incendios Huidanqui-Hualqui y Puente 5-Quebrada Honda, continuaban su avance dentro del predio Trinitarias, haciendo ingreso al predio por el norte, el frente de fuego originado en el incendio Coihueco. En todos los casos, se observaba la expansión de los incendios por los flancos, no apreciándose otros aspectos relevantes que mencionar. La situación final, se presenta a continuación en la Figura 8.



**Figura 8**— *Situación General a las 10:00 del día 08 de Febrero*

En la figura es posible apreciar que a las 10:00 horas el predio Trinitarias ya había sido consumido en su totalidad, quedando sólo un pequeño sector interior sin haber sido afectado por el fuego. En cuanto a los otros incendios en la zona, se observa que ya se han unido a los incendios principales, formando una imagen bastante compleja para su evaluación.

Dentro de la metodología se contempló la elaboración de un plano donde se mostrara la superficie afectada por cada uno de los incendios, en particular en el interior del predio Trinitarias. Este plano permitió evaluar la situación final respecto a cuántos siniestros afectaron a este predio, al final del período de simulación. Los resultados de esta evaluación se muestran en la figura 9.



**Figura 9**— Áreas quemadas por los incendios que afectaron al predio Trinitarias. Cada zona coloreada representa la superficie afectada por cada incendio.

De la figura, obtenida mediante la aplicación de un algoritmo de cálculo y asignación, se puede apreciar que el predio Trinitarias fue afectado por tres incendios: Huidanqui por el sur, Puente 5 por el Este y Coihueco por el norte, con 938, 735 y 441 ha para cada incendio respectivamente. Hacia la parte suroeste, se puede observar un pequeño sector no quemado de aproximadamente 43 ha.

## Comentarios finales

A partir de los datos entregados por las simulaciones fue posible reconstruir la situación que se presentó en la zona de Concepción durante los días 07 y 08 de Febrero de 1999.

El incendio San Lorenzo, presentó un comportamiento anómalo en la simulación, lo que significa que no fue posible emitir conclusiones respecto de su comportamiento. Esta situación se puede explicar por la inexistencia de datos confiables para alimentar al simulador de incendios, en particular en lo referido a los combustibles.

Sin embargo, cuando la información de entrada es confiable, el desarrollo del proceso de simulación post incendios, permite efectivamente confirmar las

observaciones registradas en terreno, respecto de la hora de entrada de los incendios al predio bajo observación. Finalmente se concluye que para este estudio de caso, el predio Trinitarias fue afectado por tres incendios: Huidanqui, Puente 5 y Coihueco, que causaron daños en 938, 735 y 441 ha respectivamente.

Finalmente, es necesario recalcar el desempeño del simulador de expansión de incendios forestales del Sistema KITRAL, cuyo diseño funcional resulta altamente efectivo tanto para pronosticar el avance del fuego, como también para recrear situaciones históricas, como fue la reconstrucción de estos grandes incendios. Por la rapidez en la entrega de resultados, y por la alta confiabilidad que presenta, especialmente en siniestros de gran magnitud, el sistema representa una efectiva contribución a la cuantificación de daños provocados por el fuego.

## **Bibliografía**

- Albini, F. 1976. **Estimating Wildfire Behavior and Effects**. USDA Forest Service. Gen.Techn.Rep. INT-30, Ogden. 92p.
- Anderson, H. 1983. **Predicting Wind-Driven Wild Land Fire Size and Shape**. USDA Forest Service, RES.pap. INT-305, Ogden.
- Andrews, P. 1986. **BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System**. Burn Subsystem. Part I. USDA Forest Service, Gen.Tech.Rep. INT-260, Ogden.
- Brown, A.; Davis, K. 1973. **Forest Fire. Control and Use**. Second Edition, Mc.Graw-Hill, N.York. 686p.
- Castillo, M. 1998. **Método de Validación para el Simulador de Expansión de Incendios Forestales del Sistema KITRAL**. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago. 123p.
- Julio,G.; Pedernera, P.; Castillo, E. 1995. **Diseño funcional de simulador de incendios forestales**. En: Actas Taller Internacional. Proyecto FONDEF FI-13. Santiago; 182-204.
- Julio, G. 1999. **Apuntes de Manejo del Fuego**. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 313p.