



## Vigencia del Índice de Riesgo de Incendios Forestales

Patricio Pedernera A.; Miguel Castillo S.;  
Laboratorio de Incendios Forestales  
Departamento Manejo de Recursos Forestales  
Facultad de Ciencias Forestales  
Universidad de Chile  
Casilla 9206, Santiago

### Resumen

Se describe el proceso de diseño y construcción de una serie de índices de riesgo de incendios forestales para Chile, que consideran la inclusión de variables meteorológicas, de incendios y poblacionales, que tienen relación directa con la iniciación de incendios forestales en nuestro país.

Los índices desarrollados (una ecuación general para todo el país, y 15 ecuaciones específicas) permiten estimar la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales, en 15 zonas de riesgo distribuidas a lo largo de Chile.

Se analiza la vigencia de los índices actualmente en operación, desde el punto de vista de las recomendaciones realizadas por el autor original que los diseñó, y considerando algunos aspectos de poca representatividad que son atribuidos a los resultados que la operación del indicador ha registrado.

Por otra parte, se menciona las pruebas de validación realizadas por la Universidad de Chile, al índice original propuesto en 1990, y se indica aspectos que pueden ser mejorados en una nueva evaluación de la operación del indicador.

Finalmente se señala la necesidad imperiosa de contar con un programa de investigación de largo plazo que posibilite la elaboración de nuevas herramientas y/o la introducción de mejoras en las herramientas ya existentes.



## 1. Introducción

La evaluación del riesgo de incendios forestales es una materia que ha tenido importancia en el manejo del fuego desde sus orígenes. Esto, debido a que las actividades de prevención, presupresión, combate y uso del fuego deben basar sus decisiones de asignación de recursos, en la evaluación de las variables que permitan anticiparse de alguna manera a la ocurrencia de incendios, con el propósito de cumplir con los objetivos esenciales del manejo del fuego; es así como se debe disponer de algún mecanismo que permita:

- Evaluar el estado atmosférico y sus posibles efectos en la ocurrencia y propagación de incendios forestales.
- Estimar los problemas del momento y en el corto plazo, que se puedan generar como consecuencia de la posible ocurrencia de incendios y del comportamiento del fuego.
- El nivel probable de conflictividad de esos potenciales problemas, y
- La posible localización de los mismos.

Estos antecedentes, que son fundamentales en las decisiones de asignación de recursos para las operaciones de prevención, presupresión, combate y uso del fuego, pueden ser provistos mediante la Evaluación del Grado de Peligro.

La Evaluación del Grado de Peligro, debe entenderse como "la combinación de factores fijos y variables que determinan la probabilidad de ocurrencia, el comportamiento del fuego en los momentos iniciales del incendio, el potencial de propagación, el esfuerzo de control y, los daños que presumiblemente se pueden originar" (CIFFC,2002).

La expresión cuantitativa o cualitativa del grado de peligro, se expresa a través de los Índices de Grado de Peligro, los que son construidos de acuerdo con las variables y factores mas relevantes en la iniciación y propagación del fuego en la región donde serán aplicados; además, son específicos dado que evalúan aspectos parciales del grado de peligro (Julio, 1999).

De acuerdo a lo señalado por Julio (1999) la mayoría de los índices están diseñados para cumplir objetivos específicos de apoyo a las operaciones de manejo del fuego. Así, es posible identificar los siguientes tipos de índices:

- ☑ *Índice de Riesgo*, también conocidos como índices de ocurrencia o de ignición, cuyo propósito es estimar la probabilidad de inicio de incendios forestales en una región determinada y en un instante determinado.
- ☑ *Índice de Sequía*, también denominado índice de humedad acumulada, que permite estimar la condición de la vegetación, o su susceptibilidad a la ignición e inflamabilidad. Resume el efecto acumulado de la sequía o de las precipitaciones.



- ☑ *Índice de Propagación*, que posibilita la estimación del probable rango de velocidad de propagación en combustibles determinados y de acuerdo a las condiciones ambientales previas a la ocurrencia.
- ☑ *Índice de Intensidad*, se refiere a la estimación de la energía calórica que emitirá un incendio que se propague den un determinado combustible y para condiciones ambientales definidas.
- ☑ *Índice de Carga*, permite estimar la cantidad de trabajo o esfuerzo requerido para controlar un incendio.
- ☑ *Índice de Carga Total*, se refiere a la estimación del monto total de trabajo diario requerido para controlar todos los incendios que pueden ocurrir en una región determinada.

Todos estos índices debiesen operar en forma de una estructura interconectada, cuya finalidad es la evaluación global de los problemas potenciales que representa la ocurrencia y propagación de incendios forestales. Una estructura de este tipo se conoce como Sistema de Grado de Peligro.

Dada la importancia de contar con indicadores de este tipo para nuestro país, en 1983, con el apoyo del Programa Nacional de Investigaciones para el Manejo del Fuego Impulsado en forma conjunta por la Corporación nacional Forestal, empresas Forestales y Universidades, se definió una línea de acción con el propósito de diseñar un sistema Nacional de Evaluación del Grado de Peligro, formado por cuatro indicadores: Riesgo, Propagación, Combustión y Severidad (Julio, 1987); de éstos, sólo el primero fue completado satisfactoriamente.

## **2. El Índice de Riesgo de Incendios Forestales (Julio, 1990)**

En 1990, Julio propone un índice global de riesgo, y 15 índices específicos para las zonas que en mayor grado eran afectadas por incendios forestales en la época. Para ello, se realizó un trabajo de investigación, una zona de estudio correspondiente a la totalidad del territorio comprendido entre la V y la X región de nuestro país. Dicho estudio se llevó a efecto entre julio de 1988 y agosto de 1989, considerando las siguientes etapas:

- a) Definición de zonas de Riesgo en el área de estudio, considerando antecedentes generales sobre clima, topografía, vegetación, Ocurrencia de Incendios y densidad poblacional.
- b) Recolección detallada de antecedentes sobre incendios forestales y clasificación por zonas de riesgo.
- c) Recolección de antecedentes meteorológicos diarios en estaciones existentes en cada una de las zonas de riesgo.
- d) Evaluación del Efecto de la sequía y la estacionalidad, y diseño de las funciones respectivas.



- e) Definición de variables y evaluación del peso de las mismas en el riesgo de incendios forestales.
- f) Diseño de los índices de riesgo.
- g) Validación de los índices.

Para la realización del estudio se consideraron las siguientes fuentes de información:

- a) Clima, Valores promedios de variables climáticas en Chile para un periodo de 30 años, publicados por Almeida y Sáez (1958)
- b) Meteorología. Registros meteorológicos diarios para cuatro temporadas (1985-88) en 33 estaciones, distribuidas en toda el área de estudio, pertenecientes a la Fuerza Aerea de Chile, Armada de Chile, Corporación nacional Forestal, Universidades Austral y Concepción, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y las empresas Forestal Arauco, Forestal Celco y Forestal Mininco SA.
- c) Ocurrencia de Incendios Forestales. Fichas de incendios forestales registradas en el sistema estadístico de manejo del fuego de la Corporación nacional Forestal correspondientes al período 1985-88.
- d) Vegetación. Cartas vegetacionales de Chile, Elaboradas por Quintanilla (1974)
- e) Topografía. Antecedentes generales publicados en el Atlas Geográfico de Chile (IGM, 1988)
- f) Densidad poblacional. Valores de las comunas del área de estudio elaborados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE,1988).

La delimitación de las zonas de riesgo consideró la evaluación de variables como la Pluviometría media de otoño, primavera y verano; la temperatura media y la máxima de enero, la nubosidad media anual, el número de meses secos anuales, la Humedad relativa media de enero, la densidad de incendios forestales, la densidad poblacional, la distribución general de la vegetación y la distribución general de la topografía. La unidad de superficie de referencia correspondió a la carta par de letras del sistema GEOREF.

El procedimiento consistió en asignar un puntaje normalizado a cada una de las variables climáticas, densidad de incendios y densidad poblacional de acuerdo a la dispersión de valores de cada una de ellas y al peso relativo que cada una tiene en la probabilidad de ocurrencia de incendios.

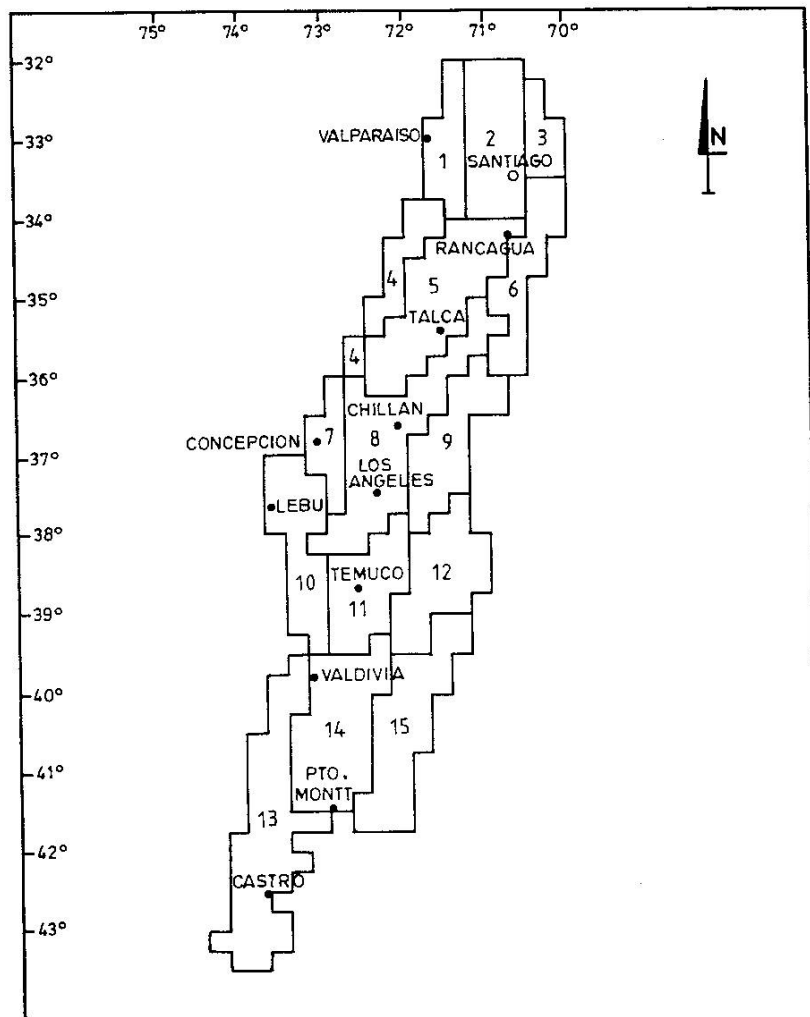
Posteriormente, se calculó los puntajes promedios ponderados por cada variable y por unidad territorial, de modo que se pudo calcular un puntaje final para cada una de las unidades territoriales; luego por medio de una escala de rangos establecidos se pudo delimitar preliminarmente las zonas de riesgo.



Esta delimitación fue confrontada con los antecedentes vegetacionales y topográficos, para identificar las zonas de riesgo, considerando su homogeneidad en relación con la ocurrencia de incendios forestales y los efectos del clima, la vegetación y la topografía.

Las zonas de riesgo identificadas, se presentan a continuación, en la figura 1.

Figura 1  
Zonas de Riesgo



Los antecedentes sobre la Ocurrencia de Incendios Forestales, consideraron la extracción de la información correspondiente a localización exacta del incendio, fecha y hora de inicio del incendio y causa del incendio. Al respecto cabe señalar que se debió descartar los datos de hora de inicio y causa de los incendios, por la baja confiabilidad que ellos tenían.



Esta información fue clasificada por zona de riesgo, y luego se ordenó cronológicamente, para obtener la ocurrencia diaria y promedios mensuales para todo el período bajo análisis.

Respecto de la Información Meteorológica, se recolectaron datos sobre Temperatura del Aire, Humedad Relativa, Precipitación y Velocidad del Viento. Aunque se había considerado la recolección de antecedentes sobre nubosidad, radiación solar y evaporación; pero hubo que descartarlos debido a que no todas las estaciones contaban con datos completos o confiables (Tabla 1).

**TABLA 1**  
**Valores Meteorológicos promedios, máximos y mínimos a mediodía (14:00 horas)**

Zona de Riesgo	Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)			Velocidad Viento (nudos)		
	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min
<b>1</b>	20,8	31,0	12,2	57	98	12	8,7	20	0
<b>2</b>	26,7	33,7	12,0	43	91	18	9,6	19	0
<b>4</b>	21,1	30,4	12,4	71	100	36	5,6	17	0
<b>5</b>	22,2	35,8	11,2	59	98	30	3,1	27	0
<b>7</b>	20,2	28,9	13,0	57	98	17	12,9	32	0
<b>8</b>	24,9	34,0	11,1	41	100	11	6,2	20	0
<b>10</b>	19,9	29,0	14,0	62	100	29	8,8	25	0
<b>11</b>	21,9	32,0	12,0	48	96	21	7,7	20	0
<b>13</b>	18,2	35,2	9,8	66	96	22	10,2	34	0
<b>14</b>	20,2	29,4	12,3	58	99	30	5,9	40	0
<b>Total</b>	<b>21,6</b>	<b>35,8</b>	<b>9,8</b>	<b>56</b>	<b>100</b>	<b>11</b>	<b>7,9</b>	<b>40</b>	<b>0</b>

Para la evaluación de la sequía, se elaboró un indicador que permitiera conocer la condición de la vegetación en cuanto a su contenido de humedad y a la consecuente susceptibilidad a la ignición o inicio de incendios forestales. La determinación del factor de sequía consideró el estudio de 94 eventos de precipitación de variadas intensidades y registradas en diferentes sectores del área de estudio, entre los meses de noviembre y abril en el período 1985-1988.

Cada uno de estos eventos, fue relacionado con la ocurrencia de incendios forestales en los días siguientes del respectivo sector, para obtener una función que asociara la cantidad de agua caída con la condición de la vegetación en días posteriores.

Los valores del factor de sequía, se presentan en la Tabla 2.



**TABLA 2**  
Valores del factor de sequía en los días siguientes al término de una lluvia

Monto de Agua Caída (mm)	Factor de Sequía en los días siguientes (mm)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
> 70	70,0	58,2	47,4	37,7	28,9	21,4	14,8	9,3	4,8	1,3	0,5
70,0 – 58,3	58,2	47,4	37,7	28,9	21,4	14,8	9,3	4,8	1,3	0,5	0,5
58,2 – 47,5	47,4	37,7	28,9	21,4	14,8	9,3	4,8	1,3	0,5	0,5	0,5
47,4 – 37,8	37,7	28,9	21,4	14,8	9,3	4,8	1,3	0,5	0,5	0,5	0,5
37,7 – 29,0	28,9	21,4	14,8	9,3	4,8	1,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
28,9 – 21,5	21,4	14,8	9,3	4,8	1,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
21,4 – 14,9	14,8	9,3	4,8	1,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
14,8 – 9,4	9,3	4,8	1,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
9,3 – 4,9	4,8	1,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
4,8 – 1,4	1,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
1,3 – 0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
< 0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

La estacionalidad, puede ser definida como los períodos o lapsos, durante una temporada, donde la ocurrencia tiende a presentar una determinada intensidad, debido al efecto conjunto de factores como condición climática, estado general de la vegetación y tipo o nivel de actividad humana (Brown y Davies, 1973).

En este caso, para evaluar la estacionalidad, se consideraron el riesgo generado por las actividades humanas durante el transcurso de la temporada y la condición esperada de la vegetación como consecuencia de su estado fisiológico independientemente del efecto de las precipitaciones de verano.

Sin embargo, ante la ausencia de antecedentes cuantitativos que permitiesen la elaboración de una fórmula, se siguió un procedimiento cualitativo cuyos coeficientes fueron seleccionados a partir de correlaciones con los respectivos promedios de la ocurrencia para el total del período en estudio. De acuerdo con esto, lo más adecuado era el empleo de una escala de 1 a 3 (nivel de significación de 0,001). Los valores del factor de estacionalidad, se presentan en la Tabla 3.

**TABLA 3**  
Valores del factor de estacionalidad según Zonas de Riesgo y para diferentes períodos en el transcurso de la temporada de incendios.

Período	Factor de Estacionalidad por Zona de Riesgo										
	1	2	4	5	7	8	10	11	13	14	
Nov. 1 - 15	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Nov. 16 - 30	2,5	1,2	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Dic. 1 - 15	3,0	1,5	1,0	1,0	2,0	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	
Dic. 16 - 31	3,0	2,0	1,0	1,2	2,5	1,2	1,5	1,2	1,0	1,0	
Ene. 1 - 15	3,0	2,0	1,0	1,5	3,0	1,5	1,5	1,5	1,2	1,0	
Ene. 16 - 31	3,0	1,5	1,0	1,5	3,0	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	
Feb. 1 - 15	3,0	1,5	1,2	1,5	3,0	2,0	2,0	1,5	1,2	1,5	
Feb. 16 - 29	3,0	1,5	1,2	1,5	3,0	2,0	1,5	1,5	1,2	1,5	
Mar. 1- 15	2,5	1,5	1,2	1,2	3,0	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	
Mar. 16 - 31	2,5	1,5	1,2	1,2	2,5	1,5	1,2	1,0	1,0	1,2	
Abr. 1 - 15	2,0	1,2	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	
Abr. 16 - 30	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	



Las zonas de riesgo que no aparecen indicadas en el cuadro anterior, fueron descartadas del análisis debido a falta de información.

Con los antecedentes recolectados, se procedió a analizar y evaluar diversos modelos matemáticos y fórmulas empleadas para relacionar la incidencia de las diferentes variables en la probabilidad de inicio de incendios forestales, incluyendo entre ellas algunos indicadores utilizados en otros países, como el factor de Riesgo de Ångström, el Índice Franssila, el factor de Humedad Efectiva y el Índice de la Costa Azul.

Las pruebas estadísticas efectuadas, demostraron que la función que representaba con una mayor confiabilidad el riesgo de incendios forestales en Chile, era una regresión lineal múltiple con cinco variables independientes (Temperatura, Humedad relativa, Velocidad del Viento, factor de Sequía y factor de Estacionalidad), cuya expresión matemática es:

$$Y = 17,6653 + 1,1692X_1 - 0,4387X_2 + 0,3473X_3 + 18,6882X_4 - 0,2664X_5$$

Donde:

$Y$	es la probabilidad diaria de ocurrencia de incendios forestales en una escala de 0 a 100
$X_1$	es la Temperatura del Aire, en grados Celsius
$X_2$	es la Humedad relativa del Aire, en porcentaje
$X_3$	es la velocidad del viento, en nudos
$X_4$	es el factor de estacionalidad, según tabla
$X_5$	es el factor de sequía, según tabla

Por medio del análisis de la distribución de los resultados del índice, aplicado para el total del área de estudio, y para las cuatro temporadas consideradas, se establecieron cinco categorías de riesgo para calificar los puntajes obtenidos en la aplicación de la fórmula (Tabla 4)

**TABLA 4**  
**Categorías de Riesgo para el Índice General**

<b>Categorías de Riesgo</b>	<b>Rango de Valores del Índice</b>
Nulo	< 25
Bajo	26 - 40
Medio	41 - 55
Alto	56 - 70
Extremo	> 70

De la misma forma, se establecieron los rangos de valores para el índice para cada una de las zonas de ocurrencia, los que se presentan en la tabla 5.





TABLA 5  
Categorías de Riesgo para los Índices Específicos

Zonas de Riesgo	Valores de Índices por Categoría de Riesgo				
	Nulo	Bajo	Medio	Alto	Extremo
1	0-30	31-50	51-65	66-80	81-100
2	0-25	26-45	46-60	61-75	76-100
4	0-30	31-45	46-60	61-70	71-100
5	0-25	26-40	41-65	66-80	81-100
7	0-25	26-40	41-60	61-75	76-100
8	0-30	31-50	51-65	66-80	81-100
10	0-30	31-45	46-60	61-75	76-100
11	0-30	31-50	51-65	66-80	81-100
13	0-30	31-40	41-55	56-70	71-100
14	0-30	31-45	46-60	61-75	76-100

Correa (1998), realiza una evaluación del índice de riesgo en la V región, concluyendo los resultados que entrega la aplicación del índice en la quinta región, tienen una buena correlación con los montos de ocurrencia registrados en el período analizado (1990/91 a 1995/96).

Sin embargo, en la ejecución de su estudio, el autor detecta algunas distorsiones que afectan indudablemente la confiabilidad de los resultados del índice; entre ellos errores de digitación, problemas en la delimitación espacial de las áreas de cobertura de las estaciones meteorológicas empleadas para evaluar el índice, y alguna incidencia de incendios de origen intencional (factor de estacionalidad). Por otra parte, indica que los procedimientos de cálculo y uso del índice en la Quinta Región no eran adecuados, lo que afectaba directamente a la relación entre los valores del índice y la ocurrencia real registrada.

La conclusión final de dicho estudio, indica que la baja confiabilidad atribuida al índice de riesgo radica en problemas en los procedimientos de cálculo, descartando errores en los coeficientes o diseño general de las ecuaciones.

### 3. Vigencia del Índice de Riesgo de Incendios Forestales

Aunque las pruebas de validación otorgaron una suficiente confiabilidad a los índices desarrollados, de acuerdo con las palabras del autor del estudio, no pueden ser considerados como definitivos (Julio, 1990). Esta afirmación se basa en el hecho que para algunas de las variables incluidas en el índice, no se contó con información absolutamente satisfactoria, debido a que o la información no era completa, o simplemente no se contaba con ella; en particular respecto de la evaluación de la estacionalidad.

Al respecto, cabe mencionar que en el caso de la sequía, se contaba con antecedentes sobre la evaluación del contenido de humedad de la vegetación (Bahamondez, 1983), sin embargo, en cuanto a la incidencia del ser humano en la ocurrencia de incendios no se encontró ningún estudio publicado con anterioridad, de modo que dichos



antecedentes sólo fueron incluidos en forma provisoria en el índice. Esta situación se mantiene hasta la actualidad.

Por otra parte, la delimitación de zonas de riesgo fue realizada mediante procesos manuales, dado que en la época en que se desarrolló el estudio, no se contaba con herramientas de análisis espacial (SIG), que aunque hubiesen estado disponibles, es seguro que no se contaba con la información digital necesarias para su correcta operación.

Cabe mencionar, que en la época en que el índice fue desarrollado, las planillas electrónicas no eran una herramienta conocida ni de uso extendido como hoy día. Uno de los objetivos del índice desarrollado, era simplemente dotar a las centrales de operaciones de alguna herramienta que les permitiera calcular la probabilidad de ocurrencia en forma fácil y expedita, utilizando sólo una calculadora de bolsillo.

En términos de su vigencia, el mismo autor señala la necesidad de evaluar periódicamente los factores involucrados en la construcción del índice, producto del aumento en la cantidad de información que lógicamente debe ocurrir con el correr del tiempo, y también considerando que el desarrollo tecnológico proporciona nuevas y mejores herramientas para capturar y procesar los datos requeridos en la formulación y ajuste de modelos.

Por otra parte, la dinámica de la ocurrencia de incendios forestales, es un fenómeno que tiene una variabilidad espacial y temporal que los índices de alguna manera deben capturar, para que la representación del riesgo sea adecuada; esto es de particular importancia respecto del factor humano como causante de incendios forestales.

Sabido es que para que haya un incendio, se requiere que dos elementos interactúen simultáneamente: primero, que la vegetación se encuentre en un estado de susceptibilidad; y segundo, que exista un agente capaz de proporcionar la energía necesaria para producir la aparición de llamas.

Ambos aspectos hoy día pueden ser manejados en cierta forma, mediante técnicas de análisis espacial, el que permite estimar de diversas maneras la condición de la vegetación, desde el punto de vista de su susceptibilidad a la ignición, o desde el punto de vista del stress hídrico de la vegetación en la época estival; lo que aún no está claro como poder anticiparse a la conducta humana, considerando al ser humano como el agente que puede proporcionar la energía suficiente para iniciar un incendio forestal, aunque existen algunas alternativas para enfrentar este problema.

Ahora bien, en cuanto a la vigencia del índice de riesgo de incendios forestales, es posible realizar algunas consideraciones, respecto de algunos aspectos que pueden ayudar a mejorar la calidad de la información que el índice actual puede entregar:

- a) **Período de Vigencia:** Es posible modificar el periodo de vigencia del índice, extendiendo el período de análisis hacia el mes de Octubre y el mes de Mayo; sin embargo este aspecto dependerá de la dinámica temporal de la ocurrencia de incendios que se ha registrado durante los últimos 15 temporadas.
- b) **Zonas de Riesgo:** La definición de las zonas de riesgo deber ser considerada dentro del contexto en el cual ellas fueron definidas. Es obvio que la delimitación



de zonas a partir de unidades territoriales de 60.000 hectáreas, corresponde a un nivel bajísimo de resolución, pero que para la época en que fueron definidas corresponden a un excelente esfuerzo por delimitar y localizar espacialmente los problemas potenciales durante la temporada.

Sin embargo, es probable que las zonas de riesgo definidas con anterioridad no cambien radicalmente su forma por cuanto han sido definidas en función de algunas variables que dentro de ciertos márgenes no han sufrido modificaciones sustanciales.

Para mejorar la representatividad o resolución de la probabilidad de ocurrencia en el interior de cada zona de riesgo, es posible emplear técnicas de interpolación o similares que permitan obtener una superficie continua para la distribución de valores de las variables involucradas, a partir de una muestra de puntos distribuidos dentro de ellas.

Si se cuenta con dicha información, es posible aplicar la ecuación de índice sobre la totalidad de la zona y se puede entonces obtener la distribución de la probabilidad de ocurrencia en el interior de cada zona. Lógicamente que esto requiere de un trabajo bastante importante para poder definir los puntos donde se deben hacer las mediciones (estaciones meteorológicas) y por supuesto será necesario definir el área de influencia de cada una de estas estaciones.

Otra forma en que se puede enfrentar el problema, es delimitar dentro de cada zona sectores de igual comportamiento para las variables meteorológicas. Estas áreas podrían ser definidas empleando los distritos agroclimáticos (Santibáñez, 1993). Al emplear esta aproximación, se hará necesario contar con mediciones de las variables de interés en cada uno de los distritos que formen parte de la zona de riesgo. Esta última aproximación fue la utilizada por el sistema Kitral, en el módulo de cálculo del riesgo de incendios forestales.

- c) Factor de Estacionalidad: Esta es quizá la variable que puede presentar mayores dificultades, debido a la casi imposibilidad de poder calificar intencionalidad en el inicio de incendios forestales. La única vía factible para introducir mejoras, radica en la necesidad de conducir algún tipo de estudio que posibilite la estimación del comportamiento humano en la iniciación de incendios.

Sin embargo, una salida intermedia se podría encontrar en la posibilidad de reproducir el comportamiento histórico de la ocurrencia por medio de un simulador de encendido, que de alguna manera recoja la información contenida en las bases de datos de sistema estadístico y permita iniciar incendios de acuerdo con alguna distribución de probabilidad que se pueda determinar a partir del análisis de las bases de datos.

- d) Inclusión de otras variables: Es un aspecto que valdría la pena considerar, siempre y cuando la información que se necesitaría para incluirlas estuviera disponible. De acuerdo a lo señalado por Julio (1990), se pensó en incluir la radiación solar y la nubosidad como variables, pero no pudieron ser incluidas debido a la no existencia de dicha información. Si dicha información existe (lo que no es claro) cabría estudiar la conveniencia de incluirlas.



Por otra parte, en los últimos tiempos, se ha generado un notable interés respecto del uso de herramientas de percepción remota para apoyar el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales para niveles regionales. Numerosas investigaciones, especialmente en España, se han preocupado de analizar el tema y de proponer metodologías para implementar índices de riesgo basados en el uso de imágenes satelitales.

Al respecto, Bermúdez (1997) realizó un trabajo donde empleaba imágenes satelitales NOAA-AVHRR para estimar el riesgo de incendios forestales. El trabajo se basó en el uso de índices de vegetación (NDVI) como indicador del nivel de stress hídrico de la vegetación y por ende, de su susceptibilidad a la ignición, en combinación con la temperatura aparente derivada del análisis de la banda térmica de dicho satélite.

Como resultado del trabajo señalado, al relacionar los índices generados mediante esta técnica, con la ocurrencia de incendios, se obtuvo un buen nivel de correlación, de modo que se pudo demostrar la utilidad de herramientas de este tipo.

Sin embargo no puedo dejar de mencionar, que el uso de imágenes satelitales en nuestro país presenta dos limitaciones importantes que deben ser consideradas al momento de pensar en utilizar la percepción remota como herramienta: primero, nuestro país no posee satélites geoestacionarios que proporcionen una cobertura completa diaria sobre la totalidad del país, de modo que no se puede asegurar resolución temporal razonable.

En segundo lugar, aparece el problema de la resolución espacial. Hasta la fecha, el único satélite que presenta un resolución temporal razonable (imágenes del mismo punto al menos dos veces por día) es la serie de satélites NOAA, cuyo gran problema es la resolución de 1,1 x 1,1 kilómetros en el centro de la imagen. Esto, por razones obvias impide realizar un análisis más fino por cuanto elementos existentes sobre la superficie de la Tierra que tengan una dimensión menor a 100 há, no son vistos por el satélite. Sin embargo, si la necesidad de resolución no es un problema importante, NOAA es una alternativa válida y de costo razonable.

Existen numerosas alternativas técnicas que permitirían mejorar el índice de riesgo de incendios forestales, sin embargo cualquier modificación que se desee realizar sobre el índice que actualmente opera en nuestro país, debe estar apoyada por un fuerte programa de investigación, que de soporte económico y científico a los desarrollos futuros en esta línea de acción.

#### **4. Referencias**

- Bahamondez, P. 1983. Modelo de tablilla indicadora de evaluación del grado de peligro de incendios forestales. Tesis Ing. Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 53 pp.
- Bermúdez, C.; 1997. Diseño de un Índice de peligro de Incendios Forestales mediante análisis de Imágenes Satelitales NOAA-AVHRR. Memoria de Título Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 62 p.



- CIFFC. 2002. Glossary of Forest Fire Management Terms. Canadian Interagency Forest Fire Centre. Winnipeg, Manitoba, Canadá, 47 pp.
- Correa, L. 1998. Evaluación del Índice de Riesgo de Incendios Forestales para la Quinta región del país. Memoria de Título Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 98 pp.
- Julio, G.; 1987. Identificación de líneas y anteproyectos de investigación en manejo del fuego. Inf. Conv. N°116, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral, Valdivia, 28 p.
- Julio, G. 1990. Diseño de Indices de Riesgo de incendios forestales para Chile. Revista Bosque 11(2): 59-72. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral, Valdivia.
- Julio, G. 1999. Fundamentos de Manejo del Fuego. Manual Docente. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 300 pp.
- Santibáñez, F.; Uribe, J. 1993. Atlas Agroclimático de Chile. Ministerio de Agricultura, Fondo de Fomento de Investigación Agropecuaria, Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, Chile, 99 pp.