

## Los incendios en el noroeste de la Patagonia: su relación con las condiciones meteorológicas y la presión antrópica a lo largo de 20 años

MÓNICA I DE TORRES CURTH<sup>1, ✉</sup>, LUCIANA GHERMANDI<sup>2</sup> & GABRIELA PFISTER<sup>1</sup>

1. *Departamento de Matemática, Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue.*
2. *Laboratorio Ecotono, Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue, INIBIOMA-CONICET, Argentina.*

**RESUMEN.** Los incendios resultan de una compleja interacción entre condiciones ambientales y fuentes de ignición. El manejo de recursos naturales requiere del conocimiento de las respuestas del fuego a variaciones ambientales locales como las condiciones meteorológicas. Estudiamos las relaciones entre precipitación, temperatura y número de incendios, y áreas quemadas en la Patagonia noroccidental, para el período 1984-2004, en dos zonas separadas por la isohieta de 1200 mm de precipitación media anual. Comparamos también datos de incendios en el departamento de Bariloche con estadísticas de la provincia de Río Negro, Patagonia y el resto del país, y con los recursos asignados para la lucha contra los mismos. En el Bosque, el área quemada se asoció con la precipitación acumulada en los meses lluviosos y en los meses secos, y más débilmente con la temperatura. En la Estepa, el área quemada se asoció con la precipitación de los meses secos y moderadamente con la temperatura. El número de incendios presentó escasa asociación con las variables meteorológicas y con el área quemada. El 81% de los incendios registrados en Patagonia ocurren en la provincia de Río Negro, la mitad de ellos en Bariloche, mostrando una tendencia creciente. El 85% del área quemada en Patagonia pertenece a Río Negro, del cual el 0.3% corresponde a Bariloche. La relación entre el número de incendios y el área afectada sugiere que su combate ha sido efectivo, excepto en temporadas con un déficit extremo de precipitación y altas temperaturas. En temporadas de inviernos y veranos secos pueden esperarse grandes superficies quemadas en el Bosque y serán suficientes veranos secos para que esto suceda en la Estepa. Las únicas dos temporadas de grandes incendios registradas estuvieron relacionadas con eventos La Niña. La tendencia del cambio climático global hace prever un incremento de la amplitud y frecuencia del fenómeno ENSO y, consecuentemente, el riesgo de grandes y severos incendios.

[Palabras clave: área quemada, número de incendios, precipitación, temperatura, estepa, bosque]

**ABSTRACT. Fires in northwestern Patagonia: their relationship with meteorological conditions and anthropic pressure over a 20 years period:** Fires are the result of a complex interaction between meteorological and environmental conditions, and ignition sources. A careful knowledge of response to local environmental variables is necessary to deal with fires and to define adequate natural resource management policies. The goal of this study was to find relationships between precipitation, temperature, and number and size of fires, in northwestern Patagonia during the 1984-2004 period, in steppe and forest environments, which are separated by the 1200 mm isohiet of mean annual precipitation. We also analyzed the relationship between local, regional and national

---

✉ Departamento de Matemática, Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue, Quintral 1250, (8400)Bariloche, Argentina.  
detorres@crub.uncoma.edu.ar

*Recibido: 19 de abril de 2007; Fin de arbitraje: 31 de mayo de 2007; Revisión recibida: 24 de octubre de 2007; Segunda revisión recibida: 29 de noviembre de 2007; Tercera revisión recibida: 19 de enero de 2008; Aceptado: 19 de febrero de 2008*

statistics, and the available resources for fire combat. In the forest, the burned area was associated with autumn-winter and spring-summer cumulative precipitation, and less with temperature. In the steppe, the burned area was associated with spring-summer cumulative precipitation and moderately with temperature. The number of fires showed a poor relationship to the meteorological variables and the burned area. An eighty-one percent of fires recorded in Patagonia happened in Río Negro province, and of these, 50% were registered in the department of Bariloche, showing a tendency to increase. An eighty-five percent of the burned area in Patagonia occurred in Río Negro province, and only 0.3% of that area in Bariloche. The relationship between the number of fires and the burned area suggests that the combat tasks were effective except during seasons with extreme precipitation deficit and high temperatures. During dry winters or summers we can expect extensive burned areas in forest environments, and a summer with low precipitation will be enough for this to happen in the steppe. We have registered only two fire seasons with large burned areas, and both were related to a La Niña phenomena. The global change tendency will increase the frequency and amplitude of ENSO phenomena and, consequently, the risk of severe and extensive fires.

[Keywords: burned area, number of fires, precipitation, temperature, steppe, forest]

## INTRODUCCIÓN

El fuego, junto con las urbanizaciones y las actividades agro-ganaderas, es el disturbio de mayor ubicuidad en el mundo (Bond & van Wilgen 1996). Entre 2000 y 2004 en Europa mediterránea se incendió un promedio anual de medio millón de hectáreas en más de 61 mil incendios por año (European Commission 2005). En los Estados Unidos, se quemaron entre 1999 y 2005, un promedio de 2.6 millones de hectáreas por año, en un promedio de 88 mil incendios (National Interagency Fire Center 2006). En nuestro país se registró, para el mismo período, un promedio de 2.1 millones de hectáreas afectadas por el fuego por año para un promedio anual de alrededor de 13 mil incendios (PNMF 1999-2005). En la Patagonia, entre 1999 y 2005 se quemaron más de 2.7 millones de hectáreas en 17 mil incendios, siendo el 85% de la superficie afectada y el 82% de los incendios correspondientes a la provincia de Río Negro. Sin embargo, en el mismo período en el departamento de Bariloche, sólo se registraron 58300 ha quemadas (2.1% del total de la Patagonia y 2.5% del total de Río Negro), en 8 mil incendios (más de 45% de los incendios de todo el país) (PNMF 1999-2005).

El fuego es un fenómeno de gran impacto ecológico, que promueve profundos cambios tanto en los paisajes como en la estructura de las comunidades. La eliminación de la cobertura vegetal y la erosión del suelo por efecto

de la lluvia y el viento, la muerte simultánea de un gran número de individuos adultos, la liberación de los recursos luz y espacio y el aumento del reclutamiento de algunas especies (Bond & van Wilgen 1996) son algunos de sus efectos más importantes. Actualmente, y en relación con el cambio climático global, se ha puesto la atención sobre la incorporación de dióxido de carbono a la atmósfera provocada por los incendios de grandes extensiones (IPCC 2000)

Actualmente, en diferentes regiones del mundo se registran altos porcentajes de incendios de origen antrópico, lo cual pone en evidencia la importancia de la presión humana en la frecuencia del disturbio (Le Houérou 1981; Bruno & Martín 1982; Moreira et al. 2001; Leone et al. 2002; Kitzberger 2003; PNMF 1999-2005). En España, por ejemplo, sólo 10% de los incendios son causados por rayos (Piñol 1998), y en nuestro país, los incendios de origen natural sólo representan un 3% del total (PNMF 1999-2005). Sin embargo, aunque la presión antrópica es cada vez mayor y se registran año a año cada vez más focos, no todos los años ocurren grandes incendios y las áreas afectadas varían considerablemente de un año a otro (Piñol 1998; de Torres Curth et al. 2006). En España, Piñol et al. (1998) reportan en 20 años sólo un verano con incendios de gran magnitud. En el sudoeste de los Estados Unidos se registraron 14 grandes eventos de fuego entre 1914 y 1987, mientras que en el noroeste de la Patagonia,

entre 1938 y 1996 sólo se han registrado nueve temporadas con grandes incendios (Kitzberger et al. 2001). Estos años con grandes incendios reflejarán más la influencia de las condiciones meteorológicas sobre el fuego que el impacto local del hombre sobre la ignición (Kitzberger et al. 2002). La presión antrópica, junto con ciertas condiciones meteorológicas, aumenta la probabilidad de grandes incendios.

Los incendios están fuertemente relacionados tanto con las condiciones meteorológicas como con el clima. Las primeras se refieren a las variaciones en las condiciones atmosféricas de corto plazo, mientras los procesos que influyen en la atmósfera sobre períodos más largos determinan el clima de una región (Flannigan & Wotton 2001). Esta distinción permite también diferenciar dos grupos de trabajos que relacionan el clima y el tiempo con la ocurrencia y extensión de los incendios, y que se distinguen por la escala temporal de análisis.

#### *Los incendios y el clima*

La relación entre el clima y los incendios, en el marco del cambio climático global, ha sido analizada en un gran número de estudios en diferentes regiones del mundo [e.g., Knapp 1995 y Westerling et al. 2001 (Estados Unidos), Flannigan et al. 2005 (Canadá), Kitzberger et al. 1997 y Kitzberger et al. 2001 (Patagonia)]. En el caso de la Patagonia noroccidental, las variaciones estacionales y anuales en la precipitación están fuertemente influenciadas por el fenómeno ENSO (Villalba & Veblen 1998). Durante los eventos El Niño, la cantidad de precipitación puede ser hasta cuatro veces mayor al promedio, y la fase conocida como La Niña, produce el patrón climático opuesto (Holmgren et al. 2001). En 1998 y principios de 1999 en la Patagonia, se registró una sequía severa debida a un episodio La Niña, con precipitaciones 60% menores a la media histórica (Suárez et al. 2004). Esta sequía fue precedida por un episodio El Niño muy lluvioso que permitió la acumulación de abundante biomasa. Como consecuencia, en el verano de 1999 se produjeron grandes incendios, uno de los cuales afectó más de 13 mil hectáreas de pastizales y matorrales (Estancia San Ramón, 30 km al este de Bariloche), y otro de casi 4000 ha de matorrales

mixtos y bosques de *Nothofagus pumilio*, *Nothofagus dombeyi* y *Austrocedrus chilensis* en el Parque Nacional Nahuel Huapi (Ghermandi y de Torres Curth 2005). Los grandes incendios del 1996 del Cerro Catedral y del Chall Huaco también estuvieron relacionados a un episodio La Niña, aunque de menor amplitud (National Centers for Environmental Prediction 2007). Kitzberger et al. (1997) estudiaron las relaciones entre el clima y el régimen de incendios en cuatro parques patagónicos y en dos períodos: 1820-1974 y 1940-1988. A esa escala temporal y espacial encontraron que en los bosques húmedos de *Nothofagus* el fuego depende del déficit de precipitación ocurrido durante la primavera y verano del mismo año, y en menor medida de la baja precipitación de la primavera anterior, mientras que en bosques xéricos de *Austrocedrus* la ocurrencia y propagación del fuego son favorecidas por el déficit de precipitación del mismo verano y por la humedad superior a la media de las estaciones de crecimiento de uno o dos años antes. Mermoz et al. (2005) examinaron en los Parques Nacionales Nahuel Huapi y Lanín la relación entre el tipo de vegetación y factores abióticos en 21 incendios. Encontraron un pico de ocurrencia de incendios a valores intermedios (1500-1800 mm) de precipitación media anual dentro del gradiente estudiado (800 a más de 2400 mm).

#### *Los incendios y las condiciones meteorológicas*

La relación entre las condiciones meteorológicas y los incendios también ha sido estudiada con diferentes objetivos y niveles de complejidad [e.g., Hubbard 1980 (oeste de los Estados Unidos); Flannigan & Harrington 1988 (Canadá); Viegas & Viegas 1994 (Portugal); de Torres Curth 2000 (Patagonia); Dimitrakopoulos 2002 (Grecia)], y ha sido un tópico de análisis para el desarrollo, calibración y evaluación de distintos sistemas de pronóstico de fuego (e.g., Deeming 1995; Van Wagner 1987; Cheney et al. 1998). La precipitación y la temperatura son las variables que más influyen en los incendios, a través de su relación con la disponibilidad e inflamabilidad de los combustibles, que a su vez varían según el ecosistema y el tipo de régimen de fuego (Westerling et al. 2003). La disponibilidad de

combustible es más importante en ecosistemas áridos con vegetación escasa, mientras que en ecosistemas húmedos tiene mayor influencia la inflamabilidad. Los modelos predictivos de cambio climático muestran un aumento en las temperaturas y, por ende, la ocurrencia de sequías más intensas que podrían incrementar la frecuencia de grandes incendios (Westerling 2007).

En los estudios referidos a las relaciones entre condiciones meteorológicas e incendios, el dominio espacial varía desde cientos de kilómetros cuadrados hasta escalas continentales. El principal limitante en estos últimos estudios es la disponibilidad de datos confiables de variables meteorológicas y de la medida de las áreas quemadas (Flannigan & Wotton 2001). Viegas & Viegas (1994) en Portugal concluyeron que los mayores valores de áreas quemadas tienen lugar a valores intermedios de precipitación, y que existe una relación inversa entre la precipitación de verano y el área total quemada. Flannigan & Wotton (2001) encontraron que los predictores más importantes fueron largas secuencias de días con precipitación menor a 1.5 mm y largas secuencias de días con humedad relativa menor de 60%.

En la región norpatagónica son escasos los estudios de las relaciones entre variables meteorológicas y ocurrencia de incendios. Las instituciones responsables de la prevención y lucha contra incendios han realizado estadísticas locales (Capone y De Lasa 1994; SPLIF, datos no publicados), y han elaborado un índice empírico de riesgo (Moretti 1984) que se aplica en la actualidad, junto con una adaptación del Sistema Canadiense FWI (Canadian Fire Weather Index, Van Wagner 1987). Además, a partir de datos de incendios y meteorológicos para el período 1992-1995, de Torres Curth (2000) propuso un modelo estadístico para medir el peligro de incendio para la región. La relación entre las condiciones meteorológicas y la ocurrencia y extensión de los incendios necesita ajustes relativos a la región de estudio, para alimentar los modelos de pronóstico. En nuestra región, estos análisis son importantes debido a la existencia de urbanizaciones (e.g., Bariloche) muy expuestas a incendios de interfase, y a la cercanía de dos

de los Parques Nacionales más grandes y antiguos del país (Nahuel Huapi y Lanín).

El objetivo del presente trabajo fue analizar las relaciones entre el número de incendios y el área afectada con la precipitación y la temperatura en 20 temporadas de incendios (1984-2004) en el noroeste de la Patagonia. Además, pusimos en contexto la estadística local con las correspondientes a escala provincial, regional y nacional, y la relacionamos con los cambios en las políticas de manejo y supresión del fuego ocurridos a lo largo del tiempo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Los incendios en el contexto nacional y regional*

Para comparar el número de incendios y áreas afectadas anualmente consideramos los datos para toda la Argentina, la Patagonia, la provincia de Río Negro y el departamento de Bariloche, a partir de informes del PNMF período 1999-2005. A fines comparativos también se consideraron los recursos económicos disponibles para el combate contra incendios en el área de estudio, desde la temporada 84/85 hasta la temporada 03/04. Para ello se tuvieron en cuenta los siguientes indicadores: número de combatientes contratados por temporada, cantidad disponible de vehículos y disponibilidad de recursos aéreos (SPLIF, datos no publicados).

### *Los incendios y su relación con variables meteorológicas*

**Área de estudio.** Para el análisis de la relación entre incendios y variables meteorológicas, el área de estudio abarcó el Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH) y la jurisdicción del Servicio de Prevención y Lucha contra Incendios Forestales (SPLIF) (Figura 1). El PNNH tiene una extensión de 758000 ha y está situado en el noroeste de la Patagonia. La jurisdicción del SPLIF, con un área aproximada de 120000 ha, se extiende desde los límites de PNNH y la frontera con Chile al oeste, hasta la isohieta de 500 mm de precipitación media anual hacia el este; y desde el paralelo 42° al sur hasta el

límite con la provincia de Neuquén al norte. Dentro de la región, se encuentra la ciudad de San Carlos de Bariloche, de aproximadamente 120000 habitantes, situada al sudeste del Lago Nahuel Huapi, con un ejido que ocupa 22000 ha.

En la región de estudio existe un fuerte gradiente oeste-este de precipitación, variando desde 4000 mm al oeste (41°01' S, 79°49' O; 745 m.s.n.m.) a 250 mm al este (41°10' S, 70° 41' O; 929 m.s.n.m.) en 120 km (Soriano 1983). Para el análisis de los datos, dividimos la región de estudio en dos zonas, por la isohieta de 1200 mm de precipitación media anual (Barros et al. 1983) (Figura 1). Al oeste de esta línea predominan los bosques y matorrales templados de *Nothofagus* spp. y *Austrocedrus chilensis*, mientras que al este, la estepa arbustiva-graminosa, dominada por la gramínea perenne *Stipa speciosa* y los arbustos *Fabiana imbricata* y *Mulinum spinosum*.

Por simplicidad, en adelante llamaremos a estas dos zonas Bosque y Estepa, respectivamente. El clima es de tipo mediterráneo con precipitaciones concentradas en otoño e invierno, observándose en el sector más árido un moderado estrés hídrico durante los meses de verano (Paruelo et al. 1998). La existencia de este patrón permite definir una estación lluviosa (mayo a agosto) donde se registra alrededor del 70% de la precipitación anual, y una estación seca (octubre a marzo). Abril y septiembre son meses de transición entre la temporada seca y la de lluvias.

**Base de datos.** Utilizamos todos los registros de intervenciones de los organismos responsables de la lucha contra incendios en situaciones de fuego (focos e incendios) en el área de estudio, desde octubre de 1984 a marzo de 2004, considerando los períodos de 6 meses que, en esta región, constituyen las “temporadas de incendios” (octubre a marzo) (SPLIF, datos no publicados; Administración de Parques Nacionales, datos no publicados). Estos períodos fueron denominados temporadas 84/85, 85/86, 86/87, 87/88, 88/89, 89/90, 90/91, 91/92, 92/93, 93/94, 94/95, 95/96, 96/97, 97/98, 98/99, 99/00, 00/01, 01/02, 02/03 y 03/04, respectivamente. Empleamos los registros mensuales de precipitación y de temperatura máxima promedio (1984-2004) de estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA 1984-2004) (41°8' S, 71°16' W; 777 m.s.n.m.) y de la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC, datos no publicados), Pampa Linda (41°15' S, 71°49' W; 800 m.s.n.m.) (Figura 1).

**Análisis de datos.** Los registros de intervenciones fueron separados en dos grupos de acuerdo con la división de la isohieta de 1200 mm de precipitación media anual. Los datos de fuegos registrados hacia el oeste de la isohieta fueron relacionados con los datos de precipitación y temperatura de la estación meteorológica Pampa Linda, y los registrados hacia el este, con los datos meteorológicos de la estación INTA. Para el análisis de la relación entre variables de fuego y variables meteorológicas se descartaron aquellos registros de intervenciones situados en zonas urbanizadas y las quemadas no autorizadas de residuos vegetales (3510 de la totalidad de

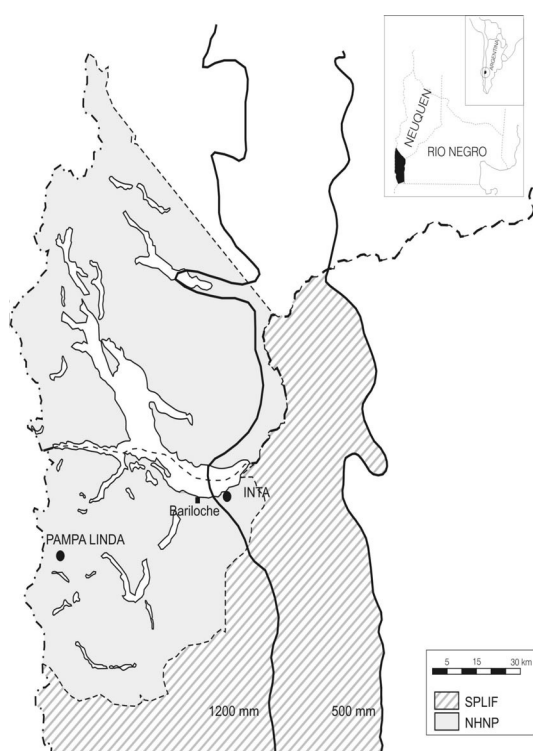


Figura 1. Área de estudio.

Figure 1. Study area. The 1200 mm isohiet of mean annual precipitation divides the area dominated by temperate forest (Forest) to the west and shrub-grass steppe (Steppe) to the east.

6527 intervenciones), que representan 0.1% de la superficie total afectada en las temporadas consideradas. Se consideraron entonces, un total de 3017 intervenciones. En adelante nos referiremos al "número de intervenciones" para indicar la cantidad de veces que los combatientes acudieron a un sitio donde se produjo un fuego, independientemente del tamaño del mismo. Para cada temporada de incendios consideramos dos variables relacionadas con el fuego: el número total de intervenciones  $N$  registrados en la Estepa y en el Bosque, y el área total quemada en las dos zonas definidas,  $Q$ . Definimos también dos variables de precipitación:  $P_1$  la precipitación acumulada durante el período mayo-agosto (meses lluviosos), y  $P_2$  la acumulada durante los meses secos (octubre-marzo), coincidente con la temporada de incendios. También consideramos la temperatura máxima promedio ( $T$ ) para los meses secos. Suponemos que  $P_1$ ,  $P_2$ , y  $T$  influyen en la disponibilidad y contenido de humedad del combustible y, por lo tanto, en la dimensión de los incendios. En regiones con veranos secos, las lluvias fuertes en primavera temprana retardan el inicio de la época de incendios. En nuestra región, septiembre es un mes de transición entre meses lluviosos y secos. En los años en que la precipitación de septiembre superó los 200 mm en el Bosque y los 100 mm en la Estepa [precipitación media mensual más un desvío estándar (DS), para septiembre en cada zona] consideramos una corrección para la variable  $P_2$  que incorpora la precipitación del mes de septiembre (Viegas & Viegas 1994). Esta corrección está basada en el supuesto de que los meses de septiembre lluviosos mantienen el combustible húmedo en ambos ecosistemas, lo cual disminuye el riesgo de incendios. Para las variables de precipitación se calcularon la media y el desvío estándar, y para las variables de fuego la mediana y el pseudosigma (el rango intercuartiles dividido por 1.349) como medidas central y de dispersión, respectivamente (Hoaglin et al. 1983). Para cada conjunto de datos (Bosque y Estepa) se realizó un análisis de componentes principales (ACP) normado (Lebart et al. 1995). Los datos corresponden a las 20 temporadas de incendios en el Bosque y en la Estepa separadamente. Las variables activas incluidas en el análisis fueron:  $T$  (temperatura máxima media para los meses secos),  $P_1$  (precipitación acumulada en los meses lluviosos), y  $P_2$  (precipitación acumulada en los meses se-

cos), número de intervenciones ( $N$ ) y área total quemada ( $Q$ ). El paquete estadístico utilizado para los análisis fue el SPAD 3.5.

## RESULTADOS

### *Los incendios en el contexto nacional y regional*

La proporción del número de incendios y área quemada para la Patagonia, la provincia de Río Negro y el departamento de Bariloche (PNMF 1999-2005) varía según la escala considerada (Tabla 1). Una alta proporción de los incendios de la provincia de Río Negro tiene lugar en el departamento de Bariloche (81%). Sin embargo sólo 2.5% del área quemada de la provincia corresponde a dicho departamento. Entre 1999 y 2005, el área quemada en Bariloche fue siempre inferior al 0.3% de Río Negro, a excepción de dos años 1999 (78%) y 2003 (2.5%)

El número de intervenciones no mostró mayores variaciones entre 1984 y 1996. A partir de entonces, el número total de intervenciones mostró una tendencia creciente, especialmente en el periurbano y la estepa, mientras que los recursos para el combate no variaron sustancialmente. En el periurbano el aumento fue significativo, alcanzando cifras hasta tres veces las consideradas en este estudio (Figura 2a).

**Tabla 1.** Proporción de incendios (%) y área quemada en Patagonia, provincias de Río Negro y Departamento de Bariloche, según datos del PNMF entre 1999 y 2005. Para Patagonia: proporción de incendios respecto al total en el país; para Río Negro y Bariloche, porcentaje referido a la columna anterior.

**Table 1.** Proportion of fires (%) and burned area in Patagonia, Rio Negro Province and the Department of Bariloche (PNMF data, 1999-2005). For Patagonia: proportion of fires in relation to the whole country; for Río Negro and Bariloche, referred to the previous column.

	Patagonia	Río Negro	Bariloche
Proporción de incendios	18	55	81
Proporción de área quemada	37	85	2.5

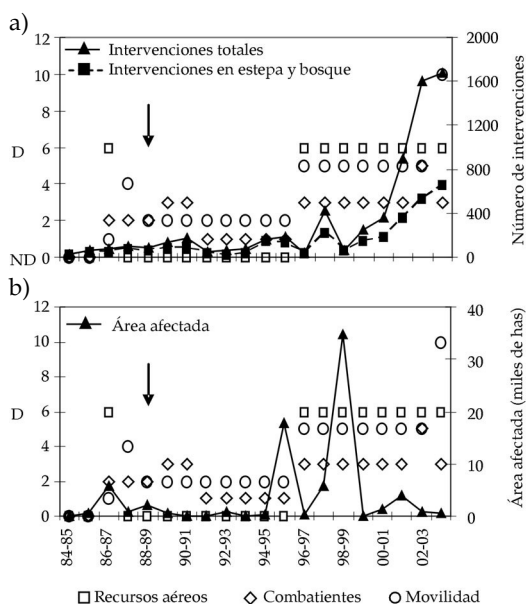
Sólo cuatro de las 20 temporadas totalizan una superficie quemada superior a 4000 ha: 86/87, 95/96, 97/98 y 01/02, independientemente de la disponibilidad de recursos (Figura 2b).

*Los incendios y su relación con variables meteorológicas*

En el Bosque se registraron 2375 intervenciones, y en la Estepa 642. En la Estepa, el número de intervenciones varía entre 3 y 66, y en el Bosque entre 3 y 594 (Figura 3), aumentando en forma más pronunciada en los últimos años. En la búsqueda de los datos de incen-

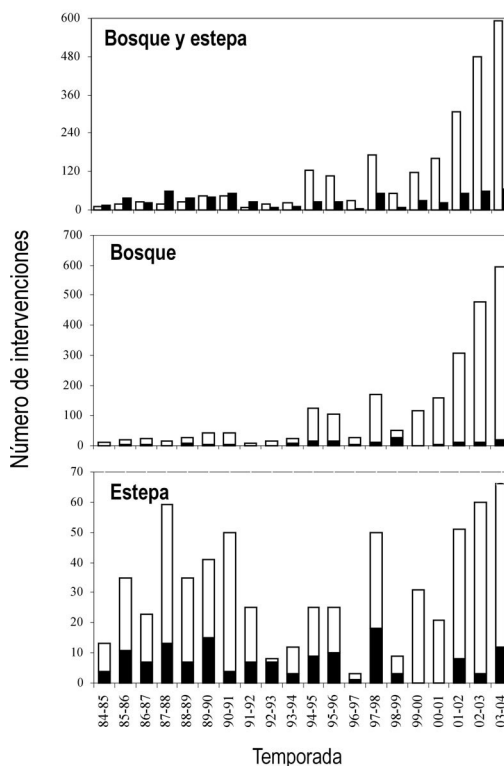
dios encontramos algunas dificultades en la disponibilidad de información, por lo que el número de intervenciones y el área afectada en las temporadas 98/99 y 99/00 podrían estar subvalorados. Para las 20 temporadas, en el Bosque, sólo 153 incendios alcanzaron una superficie >1 ha, y sólo 18 fueron >100 ha. En la Estepa, 142 tuvieron una superficie >1 ha, y sólo 21 fueron >100 ha. La variación interanual de las variables de precipitación y área afectada en las 20 temporadas en la Estepa y en el Bosque se muestran en la Figura 4.

En el Bosque, el ACP mostró que el primer plano factorial explica 64.6% de la variabili-



**Figura 2.** Número total de intervenciones (Urbanos + Bosque + Estepa) y Bosque + Estepa (a), área afectada (b), e indicadores de recursos económicos disponibles para la lucha contra incendios (Fuente: PNNH y SPLIF) para las temporadas 84/85 a 03/04. Recursos disponibles para el combate según la siguiente escala: Combatientes, 1 unidad=30 personas; Movilidad, 1 unidad=1 vehículo; Medios aéreos, D=disponibles, ND=no disponibles. Flecha=año de creación del SPLIF.

**Figure 2.** Total number of fires (Urban + Forest + Steppe) and Forest + Steppe fires (a), burned area (b), and indicators of economical resources for fire combat, for each fire season between 84/85 and 03/04. Resources for fire combat equivalent to: 1 unit=30 fire fighters; Mobility, 1 unit=1 vehicle; aerial resources: D=available, ND=non available. Arrow indicates the year of the SPLIF was created.



**Figura 3.** Número total de intervenciones por temporada en ambientes de Bosque y Estepa. En el panel superior: barras blancas=Bosque y barras negras=Estepa. En las dos últimas figuras, la fracción negra de la barra representa el número de intervenciones en las que la superficie afectada superó 1 ha.

**Figure 3.** Total number of fires by season for Steppe and Forest. In the upper figure: white bars=Forest and black bars=Steppe. In the two bottom figures, the black portion of the bar indicates number of fires with a burned area greater than 1 ha.

dad total de la información. Los autovalores fueron 2.12 y 1.01 para el primer y segundo eje, respectivamente. Todas las variables consideradas, se encuentran bien representadas en el primer plano factorial. Las variables que más contribuyen al primer factor fueron el área afectada  $Q$ , la precipitación en los meses secos  $P_2$ , la precipitación en los meses lluviosos  $P_1$  y la temperatura máxima media  $T$  (Figura 5a). La de mayor contribución al segundo factor fue el número de intervenciones  $N$ . El área afectada  $Q$  presenta una asociación alta y negativa con las variables de precipitación  $P_1$  y  $P_2$ , y no presenta relación con el número de intervenciones  $N$ . El número de intervenciones por su parte presenta escasa asociación con las variables de precipitación  $P_1$  y  $P_2$ , y la temperatura  $T$  presenta escasa asociación con el área afectada y el número de intervenciones. Las correlaciones entre las variables y los dos primeros ejes factoriales se muestran en la Tabla 3.

Sólo en dos temporadas el área total afectada fue alta: 95/96 (4361 ha) y 98/99 (12119.6 ha) (Figura 4a). En temporada 95/96 se registraron tres incendios de gran magnitud: dos en enero (2575 ha) y uno en febrero (1660 ha), totalizando 97% de la superficie afectada. La precipitación de los meses secos 95/96 (384.6 mm) fue un poco inferior a la media (417.9 mm) pero la precipitación en diciembre fue muy baja (0.2 mm; precipitación promedio para diciembre 69 mm). La temperatura máxima promedio de diciembre fue de 23.6 °C (media=17.8 °C; DS=2.8). En la temporada 98/99, la precipitación de los meses secos fue 138.7 mm ( $\bar{P}_2=417.9$  mm,  $\sigma=152.6$ ). En general, en el Bosque cuando la precipitación en los meses secos  $P_2$  fue superior a la media, la superficie total afectada  $Q$  nunca superó las 450 ha, y cuando  $P_2$  superó la media más un desvío estándar, la superficie total afectada fue inferior a 20 ha.

En la Estepa, el ACP mostró que los dos primeros ejes factoriales explican 64.31% de la variabilidad total. Los autovalores fueron 1.90 y 1.31 para el primer y segundo eje, respectivamente. Todas las variables, excepto el número de intervenciones  $N$ , se encuentran bien representadas en el primer plano factorial. Las variables que más contribuyen al

primer factor fueron: el área afectada  $Q$ , la precipitación en los meses secos  $P_2$  y la temperatura máxima promedio  $T$  (Figura 5b). La más contributiva al segundo factor fue la precipitación en los meses lluviosos  $P_1$ . El tercer factor del ACP está determinado por el número de intervenciones  $N$ . En el primer plano factorial se observa que la variable  $Q$  presenta una asociación alta y negativa con la variable  $P_2$ , y una asociación de moderada a baja con la temperatura. El número de intervenciones muestra escasa asociación tanto con el área afectada como con las variables de precipitación y temperatura. Las correlaciones entre las variables y los tres primeros ejes factoriales se muestran en la Tabla 3. Cuando  $P_2$  fue superior a la media, la superficie total afectada nunca superó las 750 ha (Figura 4b). Sólo en dos temporadas la precipitación acumulada en la estación seca fue inferior a  $\bar{P}_2-\sigma=95/96$ , con  $P_2=99.5$  mm (13305.8 ha quemadas) y 98/99 con  $P_2=42.5$  mm (22615.4 ha quemadas).

En la Estepa, al igual que en el Bosque, en las temporadas 95/96 y 98/99 se registraron grandes incendios (13312.8 y 22615.5 ha quemadas, respectivamente) (Figura 4b). En la temporada 95/96 se registraron tres incendios de gran magnitud: uno en enero (8000 ha) y dos en febrero (3000 y 1200 ha), totalizando 91% de la superficie afectada. La precipitación de los meses secos 95/96 (101.5 mm) fue del orden de la media menos un desvío estándar (Tabla 2). La temperatura máxima promedio de diciembre fue de 22.8 °C (media=18.27 °C; DS=1.8). En la temporada 98/99 se registraron tres incendios de gran magnitud (22615 ha), dos en enero (17495 ha y 3629 ha), y uno en febrero (1500 ha), que representan 99.9% de la superficie quemada en toda la temporada. La precipitación de los meses secos (42.5 mm) fue menor que la media menos un desvío estándar, particularmente baja en diciembre. También en diciembre y enero se registraron temperaturas máximas superiores a los valores medios.

## DISCUSIÓN

El número de intervenciones reportado por el PNMF muestra mayor concentración en el departamento de Bariloche que en la Patagonia y



**Tabla 2.** Medidas centrales y de dispersión, y valores extremos de las variables meteorológicas y de fuego, para el Bosque y la Estepa. Para precipitación se calculó la media y el desvío estándar; para fuego, la mediana y el pseudosigma (el rango intercuartiles dividido por 1.349, Hoaglin et al. 1983). *N*: número de intervenciones; *Q*: área total quemada, *P*<sub>1</sub>: precipitación acumulada en los meses lluviosos; *P*<sub>2</sub>: precipitación acumulada en los meses secos.

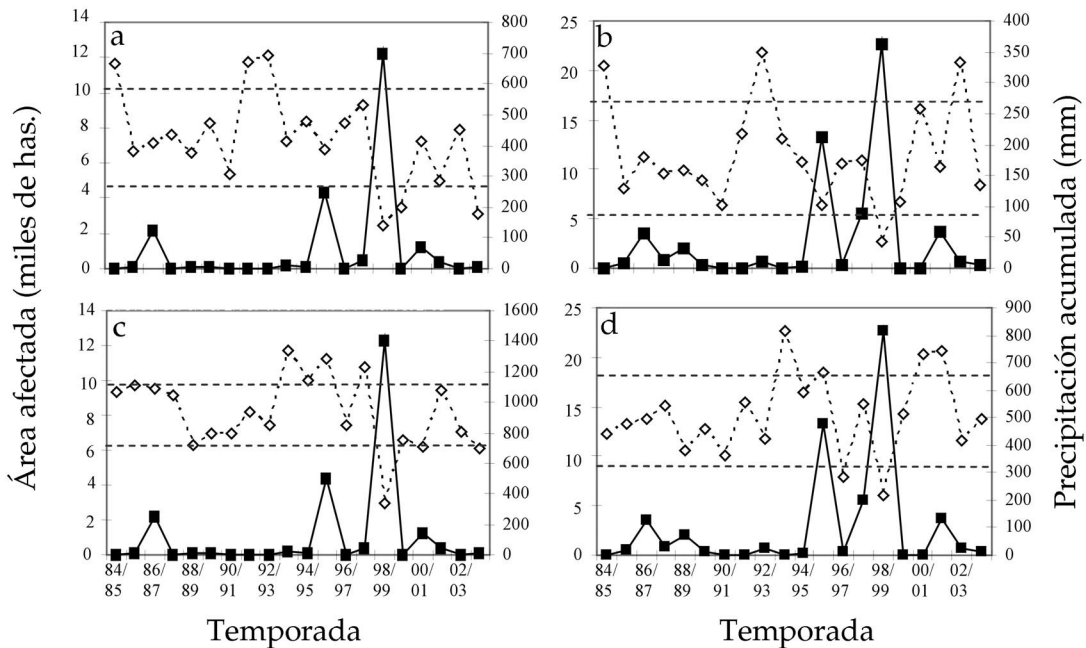
**Table 2.** Central and dispersion data, and extreme values of meteorological and fire variables, for Forest and Steppe. For precipitation, average and standard deviation were calculated; for fire the median and pseudo sigma (interquartile range divided by 1.349, Hoaglin et al. 1983). *N*: number of fires; *Q*: total burned area; *P*<sub>1</sub>: cumulative precipitation during the rainy season (May-August); *P*<sub>2</sub>: cumulative precipitation during the dry season (October-March).

Variable	Media	Desvío Estándar	Mínimo	Temporada	Máximo	Temporada
<b>Estepa</b>						
<i>P</i> <sub>1</sub> (mm)	508.1	149.6	219.8	98/99	815.9	93/94
<i>P</i> <sub>2</sub> (mm)	181.1	81.5	42.5	98/99	349.3	92/93
	Mediana	Pseudo-σ	Mínimo	Temporada	Máximo	Temporada
<i>Q</i> (ha)	401.8	2062.2	0.1	00/01	22615.4	98/99
<i>N</i>	28	24.46	3	96/97	66	03/04
<b>Bosque</b>						
	Media	Desvío Estándar	Mínimo	Temporada	Máximo	Temporada
<i>P</i> <sub>1</sub> (mm)	931.1	244.3	341.9	98/99	1334.2	93/94
<i>P</i> <sub>2</sub> (mm)	417.9	152.6	137.8	98/99	692.6	92/93
	Mediana	Pseudo-σ	Mínimo	Temporada	Máximo	Temporada
<i>Q</i> (ha)	79.4	267.6	0.3	84/85	12259.6	98/99
<i>N</i>	43	90.44	9	91/92	594	03/04

**Tabla 3.** Correlaciones entre las variables activas en el ACP y los primeros dos y tres ejes factoriales para Bosque y Estepa, respectivamente. *N*: número de intervenciones; *Q*: área total quemada; *P*<sub>1</sub>: precipitación acumulada en los meses lluviosos; *P*<sub>2</sub>: precipitación acumulada en los meses secos; *T*: temperatura máxima media de los meses secos. En negrita: correlaciones significativas.

**Table 3.** Correlation between active variables from the PCA and the two and three first factorial axis for Forest and Steppe, respectively. *N*: number of fires; *Q*: total burned area; *P*<sub>1</sub>: cumulative precipitation during the rainy season (May-August); *P*<sub>2</sub>: cumulative precipitation during the dry season (October-March); *T*: mean maximum temperature for the dry months (October- March). Significant correlations, in bold.

Variable	Bosque		Estepa		
	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2	Factor 3
<i>N</i>	0.16	<b>0.9</b>	-0.25	-0.15	<b>0.93</b>
<i>Q</i>	<b>0.63</b>	-0.47	<b>0.82</b>	0.32	-0.03
<i>P</i> <sub>1</sub>	<b>-0.8</b>	-0.12	-0.07	<b>-0.93</b>	-0.05
<i>P</i> <sub>2</sub>	<b>0.71</b>	0.13	<b>-0.82</b>	-0.04	-0.44
<i>T</i>	<b>-0.74</b>	0.2	<b>0.71</b>	-0.57	-0.16



**Figura 4.** Área total afectada por incendios (línea llena) y precipitación acumulada en los meses secos  $P_2$  (línea punteada) por temporada, en (a) Bosque y (b) Estepa. Área total afectada por incendios (línea llena) y precipitación acumulada en los meses lluviosos  $P_1$  (línea punteada) por temporada, en (c) Bosque y (d) Estepa. Líneas horizontales indican la media  $\pm$  un desvío estándar para los valores de precipitación.

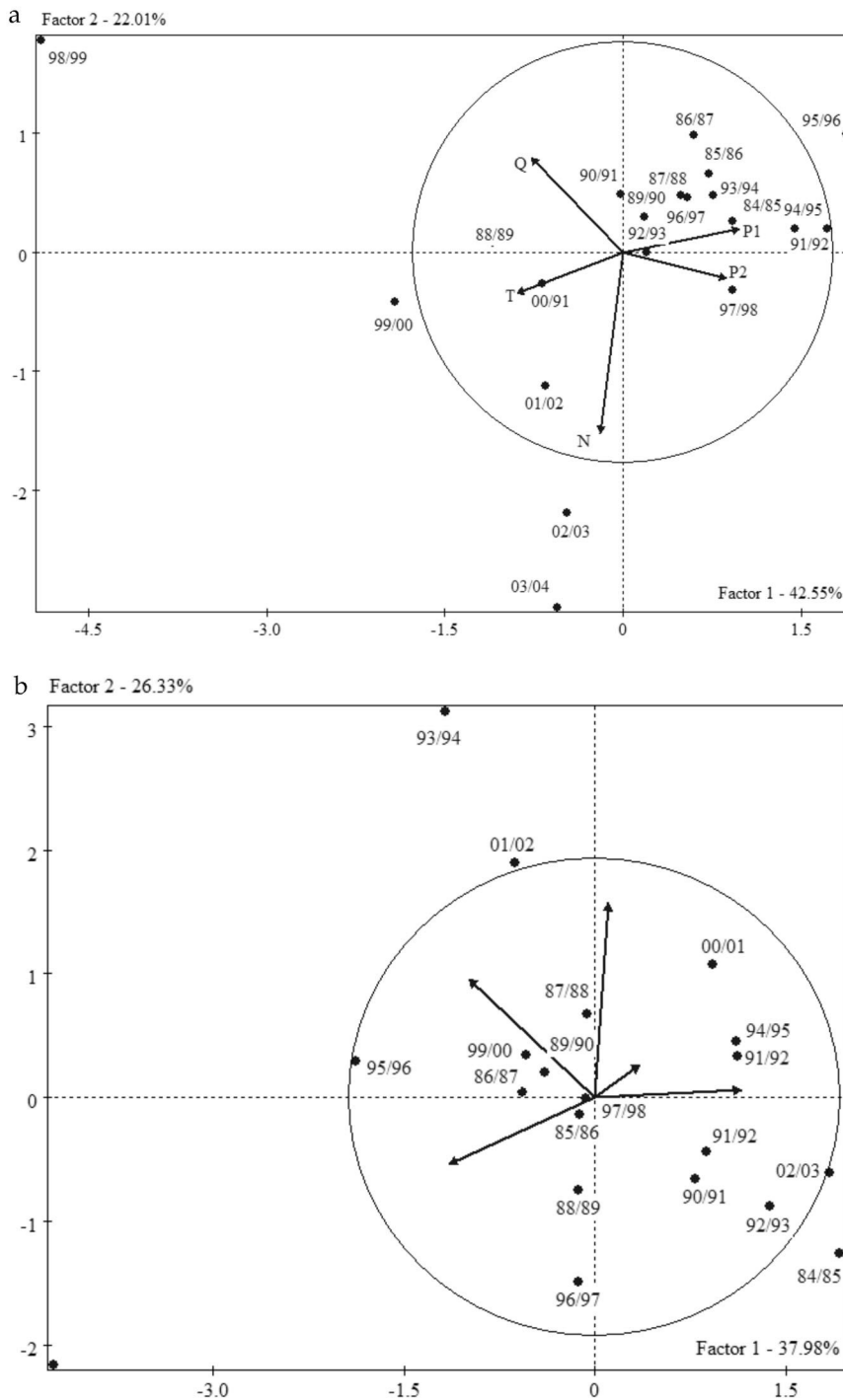
**Figure 4.** Total burned area (solid line) and cumulative precipitation during the dry season (October-March)  $P_2$  (dashed line) per season, in (a) Forest and (b) Steppe. Total burned area (solid line) and cumulative precipitation during the rainy season (May-August)  $P_1$  (dashed line) in (c) Forest and (d) Steppe. Horizontal lines show the mean  $\pm$  one standard deviation for precipitation data.

la provincia de Río Negro. Sin embargo, si consideramos el área afectada por los incendios, al departamento de Bariloche corresponde 2.5% del total de la provincia y alrededor de 2% del total de la Patagonia. Esto sugiere que el número de incendios podría estar vinculado con variables de origen antrópico más que ambientales.

La temperatura y la precipitación condicionan la duración de la época del año en la cual ocurren los incendios, la aparición de tormentas de rayos y la disponibilidad de combustible. En el noroeste de la Patagonia, los incendios iniciados por rayos están relacionados con veranos especialmente cálidos (Kitzberger 2003) aunque un 97% de los incendios en Patagonia son de origen antrópico (PNMF 1999-2005). En los últimos años, el número de intervenciones mostró una tendencia a incrementarse en la zona de Bosque, mientras que en la Estepa la variación ha sido menor en un orden de magnitud. Aún cuando los registros

en zonas urbanizadas fueron descartados del análisis, la distribución de las intervenciones en regiones próximas a zonas pobladas no es homogénea, sino que se concentra al sudoeste de la ciudad. En esta zona, la población se ha incrementado notablemente en los últimos años, no sólo respecto del área urbanizada sino también en densidad. Allí se ubican los sectores de mayor marginalidad socioeconómica (Abalerón & Del Popolo 1994). Esta característica podría estar relacionada con el incremento de focos en la zona de Bosque, aunque corroborar esta hipótesis, requeriría de un estudio interdisciplinario que incluya aspectos socioeconómicos.

Los recursos asignados al SPLIF (creado en 1989) variaron desde unas pocas decenas de combatientes y un par de vehículos, hasta 60 combatientes, 11 vehículos y recursos aéreos en la temporada 03/04. En el verano del 1996 se creó el PNMF, con posterioridad a los grandes incendios que ocurrieron en la zona y a la



**Figura 5.** Distribución en el primer plano factorial de las temporadas de incendios (puntos) y vectores de las variables activas consideradas (flechas), (A) Bosque y (B) Estepa. Las variables activas en el análisis son *T*: temperatura máxima media de los meses secos, *N*: número de intervenciones, *Q*: área total quemada, *P<sub>1</sub>*: precipitación acumulada en los meses lluviosos y *P<sub>2</sub>*: precipitación acumulada en los meses secos.

**Figure 5.** Distribution projected on the first factorial plane of the PCA analysis for fire seasons (dots) and vectors of the active variables studied (arrows), (A) Forest and (B) Steppe. Active variables considered are *T*: mean maximum temperature of dry months (October-March), *N*: number of fires, *Q*: total burned area, *P<sub>1</sub>*: cumulative precipitation during the rainy season (May-August) and *P<sub>2</sub>*: cumulative precipitation during the dry season (October-March).

reacción pública polémica, fomentada a nivel nacional por los medios de difusión masiva. Sin embargo, la mayor asignación de recursos no provocó la disminución del número de focos, aunque sí lo hizo el área afectada por el fuego. Esto podría significar que con mayores recursos, cuando las condiciones meteorológicas son normales, la lucha contra el fuego es efectiva, mientras que en veranos particularmente secos la veloz propagación del fuego, haría la lucha menos eficiente y menos dependiente de los recursos disponibles. De hecho, todos los años incendios devastadores azotan diversas regiones del mundo desarrollado, como California o Europa mediterránea, donde los recursos económicos no escasean (International Charter 2007).

La variación de la frecuencia y tamaño de los incendios puede ser puesta en contexto en el marco del cambio climático global. En diferentes regiones del mundo [e.g., Goldberg et al. 1987 (Perú); Lima & Jaksic 1998 (Chile)] se ha demostrado que existe una relación entre la ocurrencia de los fenómenos ENSO y cambios relevantes en la precipitación y temperatura, lo cual se refleja en variaciones en la producción de biomasa (Jaksic 2001; Gian-Reto et al. 2002). En la Patagonia noroccidental, los años El Niño suelen ser lluviosos, mientras que los años La Niña son secos, aunque el patrón estacional es bastante más complejo (Veblen & Kitzberger 2002). A una escala temporal amplia, podemos decir que la ocurrencia de incendios en esta región está determinada por patrones climáticos asociados con el ENSO. Grandes incendios ocurren generalmente después de primaveras secas, e incendios de menor magnitud siguen a primaveras más lluviosas (Veblen et al. 1999; Kitzberger 2003). En el período 1984-2004 se registraron cuatro episodios La Niña (El Niño Oceanic Index ONI  $< -0.5$  °C, National Centers for Environmental Prediction 2007). Nuestros resultados muestran que en dos temporadas (95/96 y 98/99), coincidentes con dos episodios La Niña, se registraron las mayores áreas quemadas en la región (Ghermandi et al. 2004; Ghermandi & de Torres Curth 2005).

Tanto la temperatura como la precipitación determinan la producción y las condiciones de humedad de la biomasa, que establecen las características de los escenarios en los que

los incendios pueden ocurrir. El combustible fino reacciona más rápido a la presencia o ausencia de lluvias, saturándose o secándose. Por lo tanto períodos cortos sin lluvias y altas temperaturas son suficientes para preparar el combustible para ser quemado. El combustible intermedio y grueso, en cambio, necesita más tiempo para modificar su contenido de humedad (ICONA 1990). Nuestros resultados muestran que en la Estepa, donde predomina el combustible fino, el área afectada en los años de grandes incendios es hasta tres veces mayor que en el Bosque, donde predomina el combustible medio a grueso.

En el Bosque, los resultados del ACP muestran una importante asociación inversa entre el área quemada y la precipitación tanto en los meses secos como en los meses lluviosos. Observamos cuatro temporadas con área total quemada mayor que 1000 ha. En concordancia con estos resultados, en 98/99 (12220 ha) se registró una precipitación acumulada en los meses lluviosos inferior a la media menos un desvío estándar, y la precipitación de los meses secos fue también inferior a la media menos un desvío estándar. La temperatura máxima promedio para esta temporada también excedió el valor de la media más un desvío estándar. Como resultado, efectivamente, el área afectada fue once veces mayor que el promedio. En 00/01 (1208 ha), a pesar que la precipitación de los meses secos fue cercana a la media, la de los meses lluviosos fue del orden de la media menos un desvío. Los otros dos casos son excepciones respecto de lo que prevé el análisis. En 86/87 (2145 ha) y 95/96 (4361 ha), la precipitación de invierno fue superior a la media y la de los meses secos estuvo cerca al valor medio, por lo que habría cabido esperar pocas hectáreas quemadas. Sin embargo, analizando la precipitación mes a mes, encontramos que los primeros meses del verano fueron particularmente secos. Esto sugiere que dos a tres meses con bajas precipitaciones fueron suficientes para secar el combustible. Flannigan & Harrington (1988) encontraron resultados similares y postularon que el mejor predictor de la variancia del área quemada es la cantidad de días consecutivos sin lluvias.

En la Estepa, donde predomina el combustible fino, el ACP muestra que la influencia de la precipitación acumulada en los meses secos sobre el área quemada es preponderante, y se observa una asociación moderada del área quemada con la temperatura. En esta zona observamos seis temporadas con áreas afectadas superiores a 1000 ha, de las cuales dos concuerdan con lo que prevé el análisis (95/96 con 13305 ha y 98/99 con 22615 ha). Las restantes (86/87, 3581 ha; 88/89, 2056 ha; 97/98, 5518 ha y 01/02, 3660 ha) tienen una precipitación en los meses secos cercana a la media. Sin embargo, en 86/87 no llovió en diciembre, y en enero la precipitación fue de sólo 4 mm. En 88/89 en enero no llovió; en 97/98 sólo llovieron 7 mm, y en 01/02, 2 mm. Si la precipitación de los meses secos es inferior o similar a la media, y el mes de enero es muy seco, suceden grandes incendios.

En términos generales, en la Estepa observamos mayores valores de áreas quemadas que en el Bosque. Esto se debe a que las especies dominantes de la Estepa acumulan gran cantidad de material de rápido secado, y de alta combustibilidad, con suficiente continuidad espacial que permite una mayor propagación del fuego. De hecho en los eventos extremos del 95/96 y 98/99, el área quemada en la Estepa fue entre dos y tres veces mayor que en el Bosque.

Viegas & Viegas (1994) encontraron que los mayores valores de áreas quemadas en Portugal ocurren a valores intermedios de precipitación. Estos autores explican este resultado por la baja disponibilidad de combustible en años muy secos y alto contenido de humedad del mismo en años muy húmedos. Respecto de la variabilidad interanual de la precipitación, nuestro estudio muestra que los mayores valores de áreas quemadas se produjeron en los años de mayor déficit de precipitación en los meses secos. Esta diferencia con los resultados de Viegas & Viegas (1994) podría deberse a las diferencias en las características de la vegetación tanto como al uso del suelo. Posiblemente en regiones más pobladas se observe una menor acumulación de biomasa por el aumento de la fragmentación del paisaje. Nuestra área de estudio es menos fragmentada ya que

incluye extensas áreas boscosas protegidas y pastizales destinados a la cría de ganado.

Nuestros resultados no apoyan la hipótesis de Mermoz et al. (2005), que explican con la baja producción de combustible la menor cantidad de incendios en la franja de precipitación entre 800 mm y 1500 mm (matorral de *Nothofagus antarctica*). Nuestros resultados muestran que los incendios más extensos ocurren en la zona de Estepa con precipitación inferior a los 800 mm y con una producción de combustible menor aún. Además, estos autores relacionan la ocurrencia de grandes incendios (entre 2 y 3381 ha) con las isohietas de precipitación media anual calculadas sobre la serie de años 1972-1981 (Barros 1983). En los últimos 20 años aumentó la frecuencia de los eventos ENSO, que predice un aumento en la variabilidad interanual de la precipitación (Jaksic 2001; National Centers for Environmental Prediction 2007). Esto repercute en la ocurrencia y extensión de los incendios.

Nuestro estudio muestra que la extensión de los incendios en la región está fuertemente ligada al déficit de precipitación, de hecho, los años de grandes incendios, se asocian con la ocurrencia de eventos La Niña. El notable aumento del número de focos en los últimos años aumenta el riesgo de grandes incendios en veranos secos que se pronostican más frecuentes. Esto cobra particular importancia en relación al peligro de incendios de interfase que es muy alto en el ejido de San Carlos de Bariloche (Ghermandi y de Torres Curth 2005). A esto se suman los cambios en el uso del suelo y el avance de las urbanizaciones. Todo esto señala la necesidad de extender el estudio a la influencia de otras variables de índole social y económica, que pueden influir sobre la ocurrencia de los incendios.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ing. A. Asensio del AIC, a los guardaparques S. Rusak, R. Vélez y D. Crosta de la CLIF, a los Sres. R. Molina y M. Lynch del SPLIF. Este trabajo ha recibido financiamiento de la Universidad Nacional del Comahue y del CONICET.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABALERÓN, AC & F DEL POPOLO. 1994. *Dinámica demográfica y pobreza en San Carlos de Bariloche, Argentina*. Informe Técnico del Programa Calidad de Vida. Fundación Bariloche.
- BARROS, VR; VQ CORDÓN; CL MOYANO; RJ MÉNDEZ; JC FORQUERA & O PIZZIO. 1983. *Cartas de precipitación de la zona oeste de las provincias de Río Negro y Neuquén*. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Comahue.
- BOND, WJ & BW VAN WILGEN. 1996. *Fire and plants*. Chapman & Hall, London.
- BRUNO, J & G MARTÍN. 1982. *Los incendios forestales en los Parques Nacionales*. Informe Administración de Parques Nacionales. Buenos Aires.
- CAPONE, M & L DE LASA. 1994. *Información y mapa de riesgo de incendios forestales en el ejido municipal de San Carlos de Bariloche y Sud Oeste del Departamento de Pilcaniyeu 1984-1994*. Reporte Técnico. Servicio de Prevención y Lucha contra Incendios Forestales. Dirección General de Bosques y Fauna. Ministerio de Economía. Provincia de Río Negro. Argentina.
- CHENEY, NP; JS GOULD & WR CATCHPOLE. 1998. Prediction of fire spread in grasslands. *International Journal of Wildland Fire*, 8:1-13.
- DE TORRES CURTH, MI. 2000. Determinación de un índice meteorológico de riesgo de incendios forestales para el noroeste de la Patagonia. *Medio Ambiente*, 13:35-49.
- DE TORRES CURTH, MI; L GHERMANDI; MG PFISTER; MC BISCAYART & SL GONZÁLEZ. 2006. El fuego y las condiciones meteorológicas en el noroeste de la Patagonia. Libro de *Actas de la 2ª Reunión Patagónica y 3ª Nacional sobre Ecología y Manejo del Fuego*. Esquel, Chubut. Pp. 205-210.
- DEEMING, JE. 1995. *Development of a Fire Danger Rating System for Esat Kalimantan Indonesia*. Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit. Eschborn, Germany. Technical Report INT-39.
- DIMITRAKOPOULOS, AP. 2002. Distribution of forest fires and area burned according to meteorological and topographic factors in Greece. *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Viegas (Ed.) Millpress, Rotterdam.
- EUROPEAN COMMISSION. 2005. *Forest fires in Europe 2004*. Official Publication of the European Commission S.P.I.05.147 European Communities.
- FLANNIGAN, MD & BM WOTTON. 2001. Climate, weather, and area burned. En: Johnson, EA & K Miyanishi (Eds). *Forest Fires: Behavior & Ecological Effects*. Academic Press. Pp. 335-357.
- FLANNIGAN, MD & JB HARRINGTON. 1988. A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada (1953-80). *Journal of Applied Meteorology* 27:441-452.
- FLANNIGAN, MD; KA LOGAN; BD AMIRO; WR SKINNER & BJ STOKS. 2005. Future area burned in Canada. *Climatic change* 72:1-16.
- GHERMANDI, L & MI DE TORRES CURTH. 2005. Los incendios en la Patagonia. *Documento Final del I Workshop de Integración Regional*. Bariloche, Argentina. 114 pp.
- GHERMANDI, L; N GUTHMANN & D BRAN. 2004. Early post-fire succession in northwestern Patagonia grasslands. *Journal of Vegetation Science* 15:67-76.
- GIAN-RETO, W; E POST; P CONVEY; A MENZEL; C PARMESAN; TJC BEEBEE; JM FROMENTIN; O HOEGH-GULDBERG & F BAIRLEIN. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416:389-395.
- GOLDBERG, RA; G TISNADO & RA SCOFIELD. 1987. Characteristics of extreme rainfall events in northwestern Perú during 1982-1983 El Niño period. *Journal of Geophysical Research*. 92:14225-14241.
- HOAGLIN, DC; F MOSTELLER & JW TUKEY. 1983. *Understanding robust and exploratory data analysis*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- HOLMGREN, M & M SCHEFFER. 2001. El Niño as a window of opportunity for the restoration of degraded arid ecosystems. *Ecosystems* 4:151-159.
- HUBBARD, KG. 1980. Relating fire occurrence to weather conditions on the Great Basin Rangelands. *Journal of Range Management* 33(5):360-362.
- ICONA. 1990. *Técnicas para la defensa contra incendios forestales*. Monografía N° 24. Ministerio de Agricultura. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- INTA. 1984-2004. Registros Meteorológicos de la Estación Agrometeorológica Bariloche. Reporte técnico. INTA, Argentina.
- INTERNATIONAL CHARTER. 2007. *Space and Major Disasters*. En: www.disasterscharter.org.
- IPCC. 2000. *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge. 599 pp.
- JAKSIC, FM. 2001. Ecological effects of El Niño in terrestrial ecosystems of western South América. *Ecography* 24:241-250.
- KITZBERGER, T. 1996. Incendios en Bariloche. Momento de decisión. *Exactamente* 3(5). www.fcen.uba.ar/publicac/revexact/exacta5/debate.htm.
- KITZBERGER, T. 2002. ENSO as a forewarning tool of regional fire occurrence in northern Patagonia, Argentina. *International Journal of Wildland Fire* 11:33-39.
- KITZBERGER, T. 2003. Regímenes de fuego en el gradiente Bosque-Estepa del noroeste de Patagonia: Variación espacial y tendencia

- temporal. En: Kunst, C; S Bravo & J Panigatti (Eds.). *Fuego en los ecosistemas argentinos*. Ediciones INTA. Santiago del Estero. Pp. 79-92.
- KITZBERGER, T; TT VEBLEN & R VILLALBA. 1997. Climatic influences on fire regimes along a rain forest-to-xeric woodland gradient in northern Patagonia, Argentina. *Journal of Biogeography* **24**:35-47.
- KITZBERGER, T; TW SWETNAM & TT VEBLEN. 2001. Inter-hemispheric synchrony of forest fires and the El Niño-Southern Oscillation. *Global Ecology and Biogeography* **10**(3):315-326.
- KNAPP, PA. 1995. Intermountain west lightning-caused fires: climatic predictors of area burned. *Journal of Range Management* **48**:85-91.
- LE HOUÉROU, HN. 1981. Impact of man and his animals on Mediterranean vegetation. En: di Castri, F; DW Goodall & RL Specht (Eds). *Mediterranean-Type Shrublands*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- LEBART, I; A MORINEAU & M PYRON. 1995. *Statistique Exploratoire Multidimensionnelle*. Dunod. Paris.
- LEONE, V; R LOVREGGIO & J MARTÍNEZ FERNÁNDEZ. 2002. Forest fires and anthropic influences: a study case (Gargano National Park, Italy). En: Viegas, X (Ed.). *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*.
- LIMA, M & FM JAKSIC. 1998. Delayed density-dependent and rainfall effects of an irruptive rodent in semiarid Chile. *Acta Theriologica* **43**:225-236.
- MERMOZ, M; T KITZBERGER & TT VEBLEN. 2005. Landscape influences on occurrence and spread of wildfires in patagonian forests and shrublands. *Ecology* **86**(10):2705-2715.
- MOREIRA, F; FC REGO & PG FERREIRA. 2001. Temporal (1958-1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence. *Landscape Ecology* **16**:557-567.
- MORETTI, A. 1984. *Índice Meteorológico de riesgo para incendios forestales*. Reporte técnico. Servicio de Prevención y Lucha contra Incendios Forestales. Dirección General de Bosques y Fauna. Ministerio de Economía. Provincia de Río Negro. Argentina.
- NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL PREDICTION. 2007. En: [www.cpc.noaa.gov/index.php](http://www.cpc.noaa.gov/index.php).
- NATIONAL INTERAGENCY FIRE CENTER. 2006. *Wildland Fire Statistics 2006*. En: [www.nifc.gov/fire\\_info/fire\\_summaries/summary\\_2006.htm](http://www.nifc.gov/fire_info/fire_summaries/summary_2006.htm).
- PARUELO, JM; A BELTRÁN; E JOBBÁGY; OE SALA & RA GOLLUSCIO. 1998. The climate of Patagonia: general patterns and control on biotic processes. *Ecología Austral* **8**:85-101.
- PIÑOL, J; J TERRADAS & F LLORET. 1998. Climate warming, wildfire hazard and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climate Change* **38**:345-357.
- PNNM. 1999-2005. *Estadística de incendios forestales*. En: [www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=303](http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=303).
- SORIANO, A. 1983. Deserts and semi-deserts of Patagonia. En: Goodall, DW (Ed.). *Ecosystems of the world*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- SPLIF. *Registros de Incendios Forestales del Servicio de Prevención y Lucha contra Incendios Forestales, Provincia de Río Negro, 1984 a 1998*. (Inédito).
- SUÁREZ, ML; L GHERMANDI & T KITZBERGER. 2004. Factor predisposing episodic drought-induced tree mortality in *Nothofagus*: site, climatic sensitivity and growth trends. *Journal of Ecology* **92**:954-966.
- VAN WAGNER, CE. 1987. *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Canadian Forestry Service. Forest Technical Report 35. Ottawa.
- VEBLEN, TT & T KITZBERGER. 2002. Inter-hemispheric comparison of fire history: The Colorado Front Range, U.S.A., and the Northern Patagonian Andes, Argentina. *Plant Ecology* **163**:187-207.
- VEBLEN, TT; T KITZBERGER; R VILLALBA & J DONNEGAN. 1999. Fire history in northern Patagonia: The roles of humans and climatic variation. *Ecological Monographs* **69**:47-67.
- VIEGAS, DX & MT VIEGAS. 1994. A relationship between rainfall and burned area for Portugal. *International Journal of Wildland Fire* **4**:11-16.
- VILLALBA, R & TT VEBLEN. 1998. Influences of large-scale climatic variability on episodic tree mortality in northwestern Patagonia. *Ecology* **79**:2624-2640.
- WESTERLING, AL. 2007. Los incendios en el oeste de los EEUU y el cambio climático. En: *Prevención de los Desastres Ambientales: Una reflexión crítica*. Capítulo 2. Ruiz de Elvira (Ed.). En prensa.
- WESTERLING, AL; DR CAYAN; A GERSHUNOV; MD DETTINGER & T BROWN. 2001. Statistical forecast of the 2001 western wild fire season using principal component regression. *Experimental Long-lead Forecast Bulletin* **10**:71-75.
- WESTERLING, AL; T BROWN; A GERSHUNOV; DR CAYAN & MD DETTINGER. 2003. Climate and wildfire in the western United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* **84**(5):595-604.

