



MATERIAL DE REFERENCIA
CURSO C - 212
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO
DEL FUEGO

NIVEL BÁSICO

Gerencia de Protección Contra Incendios Forestales
Departamento de Desarrollo e Investigación
Sección de Capacitación
Agosto 2014



Documento de trabajo N° 578

Material de Referencia

Curso C-212

Análisis del comportamiento del fuego. Nivel Básico

Autor

Jordi Brull Badia,
Profesional Gerencia de Protección y Control de Incendios Forestales
jordi.brull@conaf.cl

Colaboradores

Fernando Maldonado Pereira, Jefe Departamento de Desarrollo e Investigación
Luis Valenzuela Palma, Jefe Sección de Capacitación
Juan Atienza, GPCIF, Región de Valparaíso
Leonel Zamorano, GPCIF, Región de Valparaíso
Eric Dreckmann Bonilla, GPCIF – Región Metropolitana
Claudio González, GPCIF - Región de O'Higgins
Manuel Vergara Espinoza, GPCIF - Región de O'Higgins
Manuel Cárcamo , GPCIF - Región del Bío-Bío

Gerencia de Protección Contra los Incendios Forestales
Corporación Nacional Forestal

2014

Está autorizada la reproducción parcial de este documento para fines de capacitación sin ningún tipo de permiso especial, pero bajo la condición de que se indique la fuente y que la capacitación no sea una actividad comercial.

No está autorizado el empleo de los contenidos de esta publicación para su venta o para otros usos comerciales.

CONAF agradecerá
Que se le remita un ejemplar de cualquier texto
cuyo origen sea la presente publicación.

Documento de trabajo N° 578

**MATERIAL DE REFERENCIA
CURSO C-212
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO.
NIVEL BÁSICO**

Índice

1	CARACTERÍSTICAS DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN CHILE	4
1.1	Régimen de incendios en Chile	4
1.1.1	Daño	5
1.1.2	Ocurrencia	7
1.2	Causalidad	8
1.3	Incendios de magnitud	9
1.4	Evolución de los incendios	12
1.4.1	Incendios durante todo el año	12
1.4.2	Simultaneidad de incendios de magnitud	12
1.4.3	Mayor disponibilidad de los combustibles	13
1.4.4	Interfaz urbano-forestal	14
1.5	Necesidades del sistema de extinción	16
2	COMPORTAMIENTO DEL INCENDIO FORESTAL	17
2.1	Factores dominantes en la propagación de los incendios	17
2.1.1	Incendios topográficos	17
2.1.2	Incendios de viento	20
2.1.3	Incendios de combustible (Convección)	22
3	EL SISTEMA DE PREDICCIÓN DE CAMPBELL	26
3.1	Introducción	26
3.2	Fuerzas locales del incendio	26
3.2.1	Viento	27
3.2.2	Pendiente	28
3.2.3	Temperatura del combustible	30
3.3	Lógica de campo	32
3.4	Puntos de inflexión: Puntos críticos y Oportunidades	38
3.5	Carreras potenciales	40
3.6	Ventana de actuación	45
3.7	Lenguaje de comunicación	46
4	GLOSARIO	47
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1 CARACTERÍSTICAS DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN CHILE

1.1 Régimen de incendios en Chile

Los incendios forestales en Chile siguen una distribución anual irregular al igual que la gran mayoría de países, con máximos en las temporadas en la que las condiciones meteorológicas han sido favorables a la propagación de los incendios.

A nivel de país la distribución de los incendios forestales difiere entre regiones, contabilizándose incendios entre las regiones de Coquimbo y Magallanes.

El período estudiado es de 50 años y abarca las temporadas 1963-1964 hasta la 2012-2013, siendo la superficie total afectada de 2.286.241 ha y el número total de incendios de 208.253 eventos. El promedio anual para este periodo es de 45.725 ha/año y 4.165 incendios/año, siendo la superficie promedio por incendio de 11,0 ha.

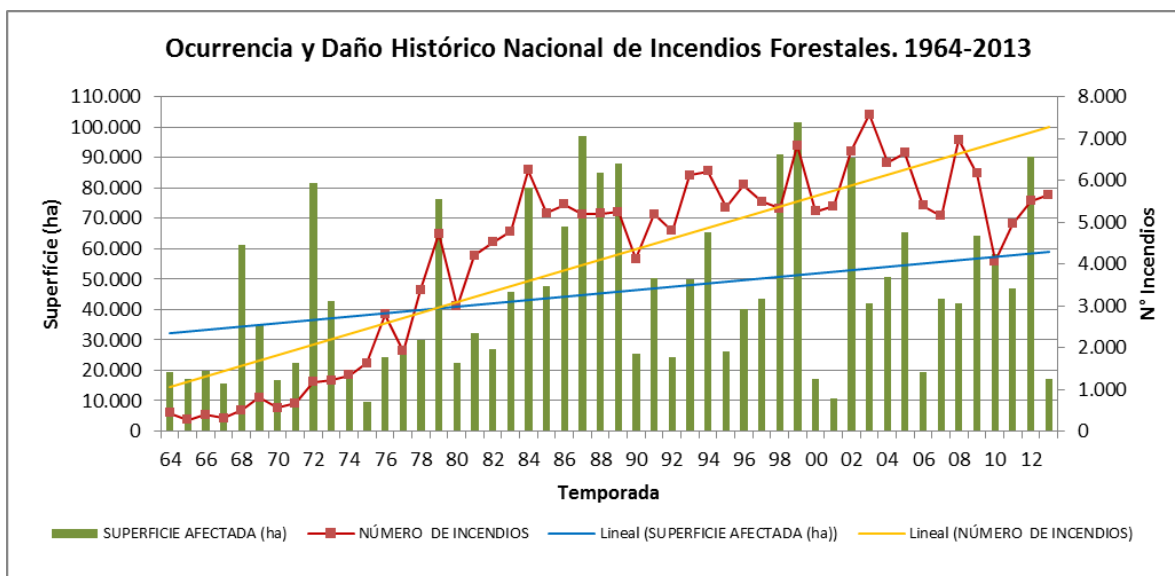


Figura 1. Ocurrencia y daño histórico de incendios forestales. 1964-2013. Fuente: CONAF.

Como se observa en la figura 1, la tendencia lineal tanto para el número de incendios como al daño es claramente ascendente, aunque para la superficie afectada es en menor incremento que al número de incendios.

En referencia a los datos históricos se considera que a partir de la década del 80 están completos, dado que en esos años se extendió el programa de protección contra los incendios forestales a todo el país. De esta forma, si estudiamos el promedio de los últimos 29 años, comprendido entre las temporadas 1985 y 2013, se obtiene que la superficie total afectada anual alcanza a 1.560.959 ha y el número total de incendios a 163.444. La tendencia en estos últimos 29 años difiere principalmente en cuanto a superficie afectada que tiende a disminuir mientras que hay una pequeña tendencia en el aumento del número de incendios.

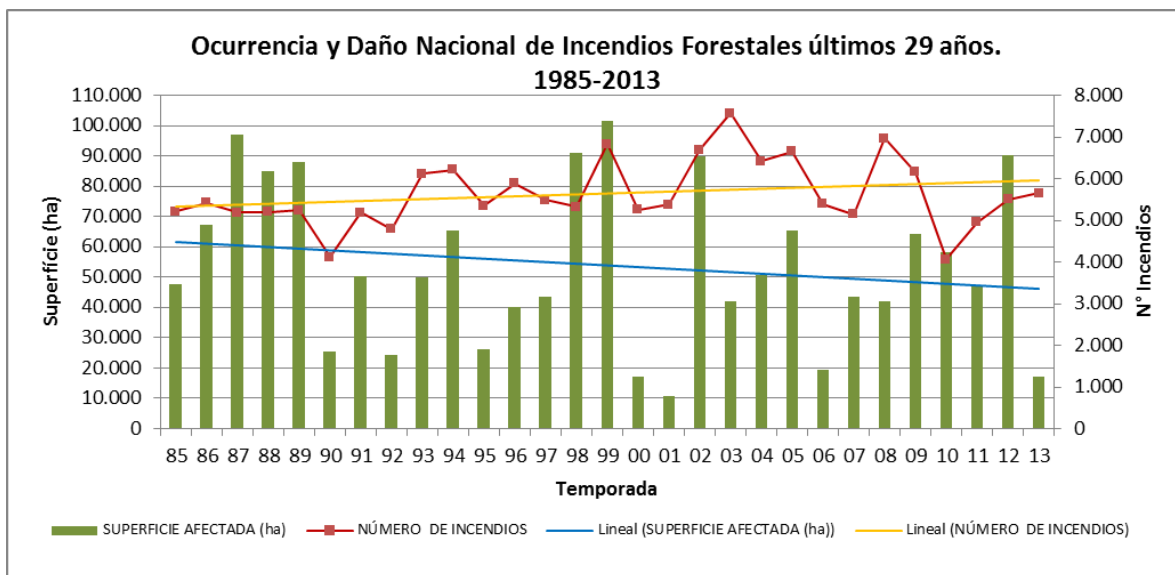


Figura 2. Ocurrencia y daño histórico de incendios forestales. 1985-2013. Fuente: CONAF.

1.1.1 Daño

El daño total producido en este período, 1985-2013, es de 1.560.959 ha, siendo el promedio anual 53.826 ha. En la tabla 1 se detallan las temporadas con una superficie afectada superior a las 80.000 ha/temporada. Destaca la temporada 1998-1999 y la 1986-1987, con un daño de 101.691 ha y 97.055 ha respectivamente. Por el contrario la temporada con menor afectación ha sido la 2000-2001 con 10.921 ha. La superficie promedio

Tabla. 1. Temporadas con mayor daño histórico (sup. \geq 80.000 ha). Fuente: CONAF.

Temporada	Número de incendios	Superficie afectada (ha)	Superficie promedio (ha/inc.)
1986 - 1987	5.195	97.055	18,7
1987 - 1988	5.202	84.900	16,3
1988 - 1989	5.241	88.062	16,8
1997 - 1998	5.332	90.888	17,0
1998 - 1999	6.831	101.691	14,9
2001 - 2002	6.701	90.069	13,4
2011 - 2012	5.509	90.279	16,4

Debido a que el daño causado por los incendios forestales está estrechamente relacionado con el incremento de la disponibilidad de la vegetación a arder (o combustible) y de las condiciones meteorológicas en las que se desarrolla el incendio, no es coincidencia que esas temporadas se hayan caracterizado por haber tenido condiciones meteorológicas muy favorables a los incendios forestales.

En la figura 3 se muestra la anomalía de temperatura del aire a 850 hPa, que correspondería a la temperatura a una altitud de 1.500 m, del día 1 de enero de los años 1987 y 1999, respecto a la media del periodo 1981-2010. Este reanálisis, que ofrece NOAA/ESRL (National Oceanic and Atmospheric Administration/Earth System Research Laboratory del Gobierno de Estados Unidos), permite ver que efectivamente para esos días había un incremento de temperatura respecto a la media del periodo.

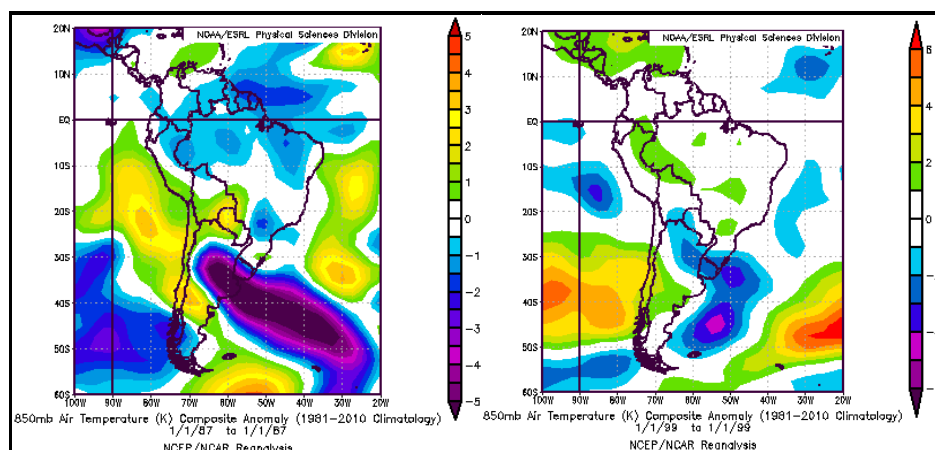


Figura 3. Ejemplo de anomalía de temperaturas para el día 1 de enero de las temporadas 1987 y 1999. Fuente: <http://www.esrl.noaa.gov>

El daño producido por los incendios forestales en el periodo 1985-2013 (ver tabla 2), se produce principalmente en vegetación forestal con un 90,1%, siendo el resto en otras superficies (9,9%). El daño forestal se divide en dos tipos, por una parte la vegetación natural con un 70,1% y por otra las plantaciones (20,2%). Dentro de la vegetación natural el porcentaje de daño es muy parecido siendo por orden de afectación el matorral (25,9%), pastizal (23%) y el arbolado (21%). En el caso de las plantaciones, el pino insignie es el de mayor afectación con casi un 15% seguido de las plantaciones de eucalipto (5%), y en último lugar con un 0,2% plantaciones de otras especies.

Tabla. 2. Daño nacional. Periodo 1985 – 2013. Fuente: CONAF.

Descripción		Superficie (ha)	%
PLANTACION	Pino Insigne (Total)	232.812,72	14,9%
	Eucalipto sp.	78.591,95	5,0%
	Otras sp.	3.182,40	0,2%
	TOTAL	314.587,07	20,1%
VEGETACION NATURAL	Arbolado	327.747,96	21,0%
	Matorral	404.744,59	25,9%
	Pastizal	359.748,23	23,0%
	TOTAL	1.092.240,78	70,0%
TOTAL FORESTAL		1.406.827,85	90,1%
TOTAL OTRAS SUPERFICIES *		154.131,13	9,9%
TOTAL SUPERFICIE AFECTADA		1.560.958,98	100,0%

* Otras Superficies, incluye terrenos agrícolas y desechos cosecha forestal.

La distribución mensual del daño (1985-2013) se concentra en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, con un 92,4% del total nacional (ver figura 4), siendo enero y febrero los peores meses con casi un 33% del daño respectivamente.

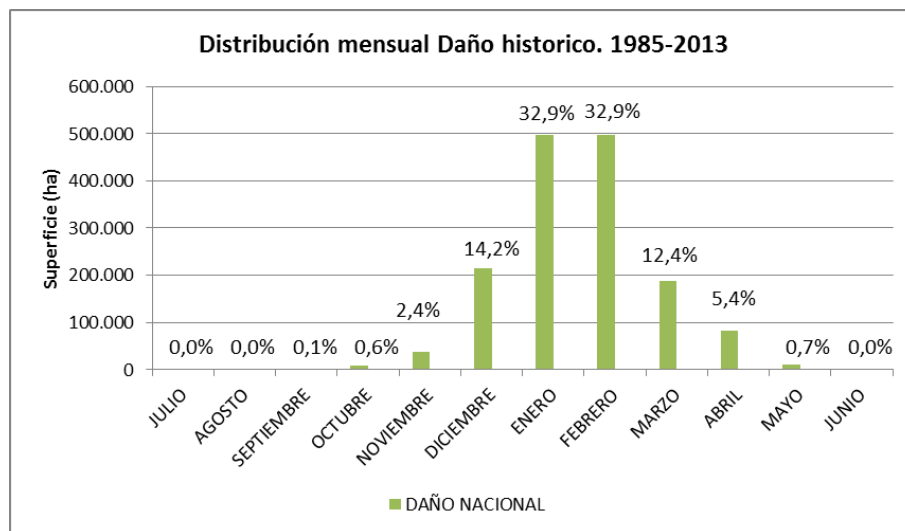


Figura 4. Distribución mensual daño histórico 1985-2013. Fuente: CONAF.

1.1.2 Ocurrencia

El número total de incendios desde el año 1985 hasta el 2013 asciende a 163.444, siendo el promedio anual de 5.636 incendios. En la tabla 3 se muestran las temporadas con un número de incendios superior a 6.000 siniestros. El mínimo de este periodo se produjo en la temporada 2009 - 2010 con 4.069 incendios y el máximo con 7.572 incendios en la temporada 2002-2003.

Tabla. 3. Temporadas con mayor número de incendios (n° inc. ≥ 6.000). Periodo 1985-2013. Fuente: CONAF.

TEMPORADA	NÚMERO DE INCENDIOS	SUPERFICIE AFECTADA (ha)	SUPERFICIE PROMEDIO (ha/inc.)
1992 - 1993	6.118	49.981	8,2
1993 - 1994	6.214	65.606	10,6
1998 - 1999	6.831	101.691	14,9
2001 - 2002	6.701	90.069	13,4
2002 - 2003	7.572	41.988	5,5
2003 - 2004	6.430	50.687	7,9
2004 - 2005	6.653	65.300	9,8
2007 - 2008	6.975	42.037	6,0
2008 - 2009	6.157	64.223	10,4

La temporada oficial de incendios empieza el 1 de julio y termina el 30 de junio. En la distribución histórica mensual, los meses de diciembre, enero, febrero y marzo representan casi el 85%.

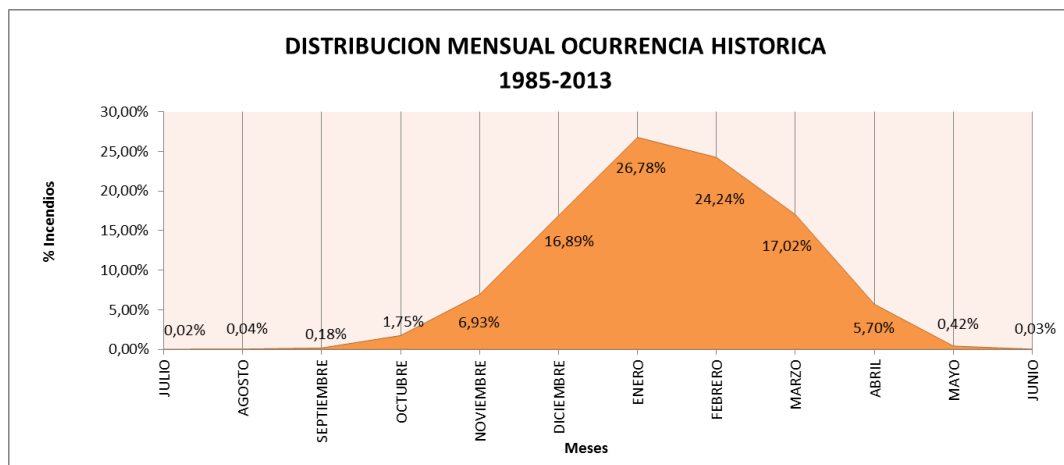


Figura 5. Distribución mensual ocurrencia histórica 1985-2013. Fuente: CONAF.

1.2 Causalidad

Los incendios en Chile se caracterizan por ser en su gran mayoría por origen antrópico. Existen dos periodos de estudio debido al cambio en la agrupación de las causas, en éstos dos periodos de estudio (ver figura 5 y 6), se observa que entre 1985 y 2002 la causa antrópica representa el 87%, el resto se divide en causas desconocidas (11,3%) y otras causas (1,7%, que incluirían los rayos con 0,07%), mientras que entre 2003-2013, la causa antrópica se mantiene en 85,2%, las desconocidas ascienden al 14,54% y los incendios naturales representan un 0,26%.

Referente al daño se observa un daño debido al origen antrópico del 75,7% en el periodo 1985-2002, aumentando al 83,9% entre 2003-2013. Para estos mismos periodos el daño por causas desconocidas es parejo siendo de 16,7% (1985-2002) y 15,98% (2003-2013). En último caso las otras causas del periodo 1985-2002 representan un 7,6% (de éste un 2% son por incendios naturales), y entre 2003-2013 el daño por incendios naturales descendió al 0,2%.

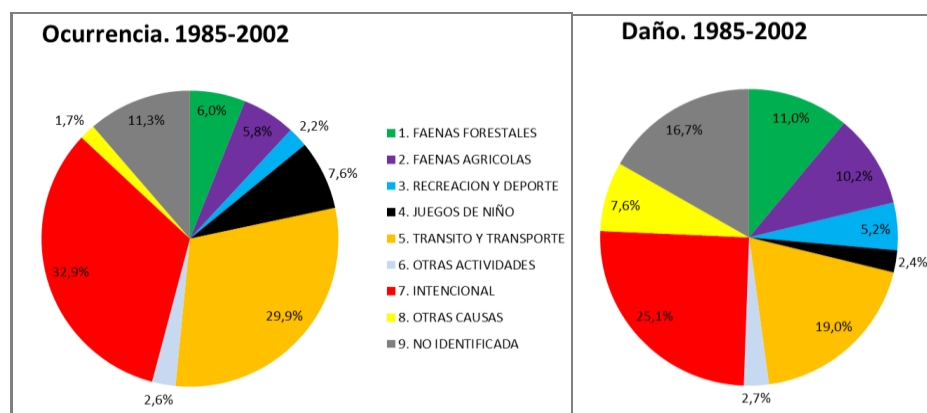


Figura 6. Ocurrencia y Daño por causas de incendios forestales. Periodo 1985-2002. Fuente: CONAF.

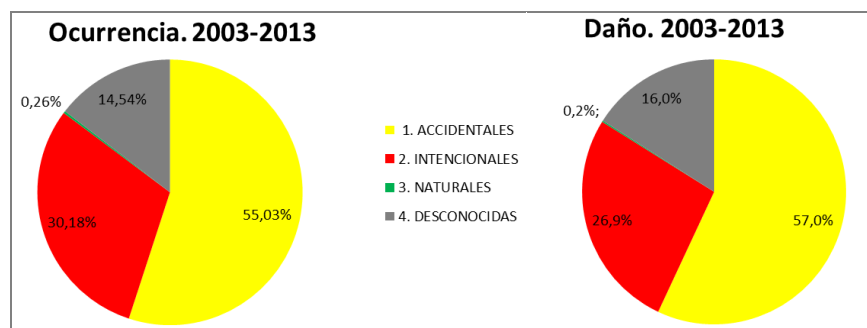


Figura 7. Ocurrancia y Daño por causas de incendios forestales. Periodo 2003 – 2013. Fuente: CONAF.

1.3 Incendios de magnitud

El incendio de magnitud se entiende como el incendio con una superficie mayor o igual a 200 ha. En su defecto los incendios inferiores a 200 ha se les denomina normales o incendios menores. Según los datos históricos (1985-2013) el 0,77% de los incendios de magnitud representan el 67,08% del daño total registrado.

La temporada con mayor número de incendios de magnitud fue la 1986-1987 con un total de 97 eventos y la temporada 1998-1999 fue la de mayor afectación con 82.942 ha. El promedio anual por incendios de magnitud es de 36.108 ha y 43 siniestros, de aquí se obtiene que el incendio de magnitud promedio quema alrededor de 832 ha.

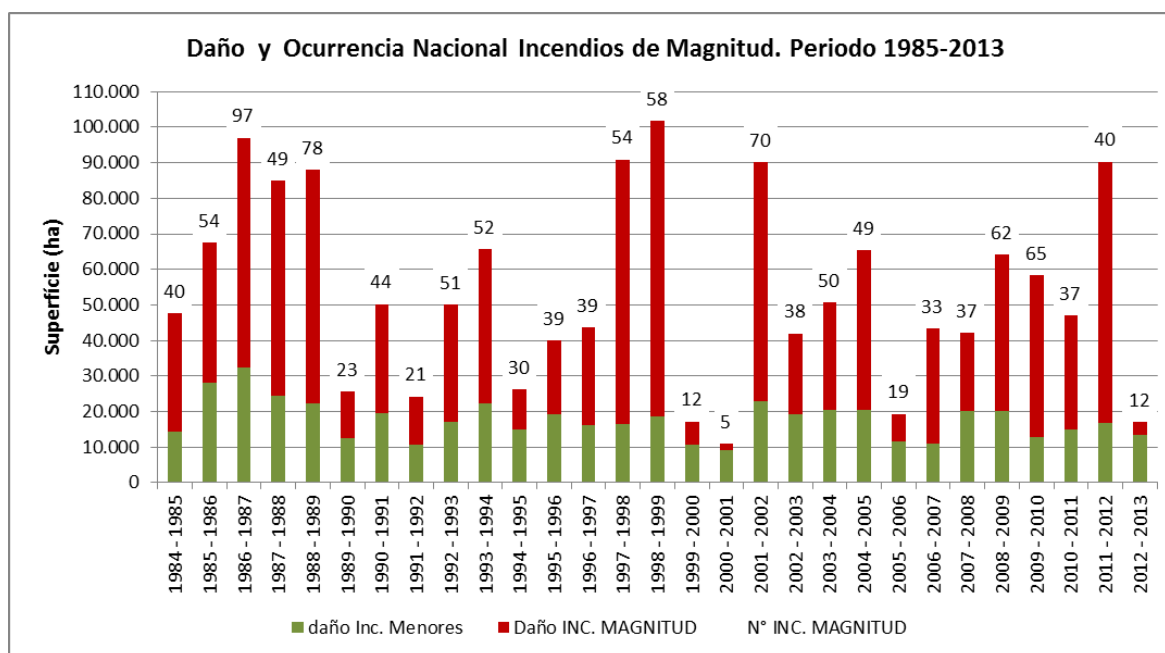


Figura 8. Distribución anual del daño y la ocurrencia de incendios de magnitud. Periodo 1985-2013. Fuente: CONAF.

Los incendios de magnitud tienen el mayor impacto en nuestros ecosistemas pero no tienen una clara distribución ya que existen muchos factores que pueden influir en esta, episodios sinópticos y condiciones meteorológicas extremas, continuidad de la vegetación (vertical y horizontal), sequia acumulada, simultaneidad de incendios (menores y de magnitud), disponibilidad de recursos, etc.

Aun así las estadísticas muestran una tendencia en la disminución del número de incendios de magnitud y una estabilización de la superficie afectada, esto indica que la tendencia es tener menor ocurrencia pero mayor daño por cada incendio.

Por otro lado, si hablamos de los incendios menores de 200ha se observa que desde 1985 el daño anual debido a éstos tiende a disminuir, mientras que su número aumenta (ver figura 9). Es decir, cada vez somos más eficientes en la extinción de estos, se apagan más incendios considerados menores. Efectivamente cada vez somos mejores apagando incendios, de hecho el 90% de los incendios se extinguen con una superficie menor o igual a 5ha, pero cuando las condiciones no lo permiten el incendio puede convertirse en un incendio de magnitud.

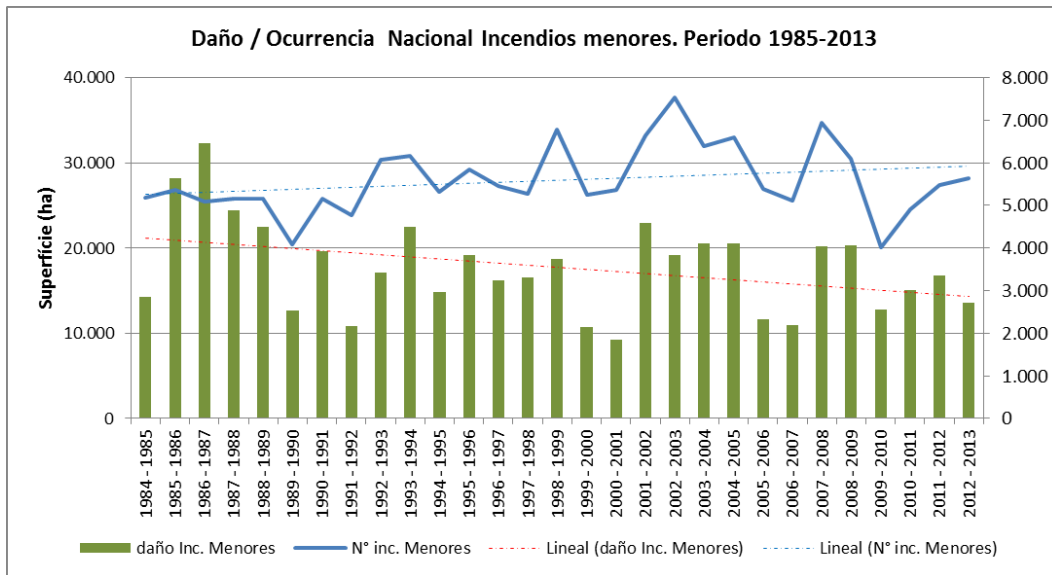


Figura 9. Distribución anual del daño y la ocurrencia de incendios de menores. Periodo 1985-2013. Fuente: CONAF.

Los peores incendios registrados son el incendio de La Rufina (VI Región) con 25.389 ha, iniciado el 2 de enero de 1999 y el incendio de Pichiqueime (VIII Región) de 24.895 ha con inicio el 30 de diciembre de 2011. Aunque el más conocido a nivel mundial fue el de Río Olguín, dentro del P.N. Torres del Paine el 27 de diciembre de 2011 con 17.606 ha. En la siguiente figura se muestra la anomalía de temperatura y humedad relativa del aire que se dieron en el inicio del incendio de Pichiqueime.

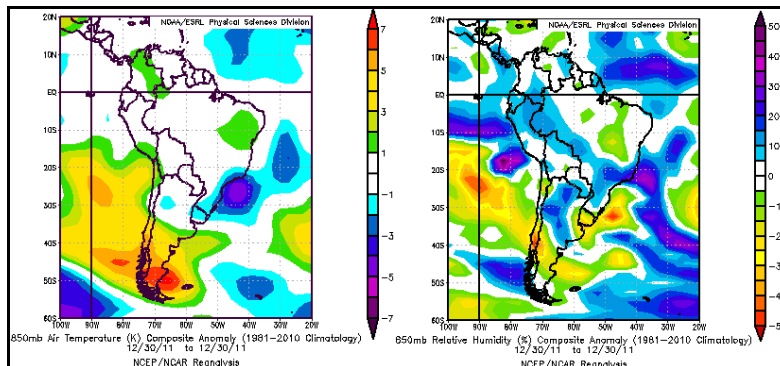


Figura 10. Anomalías de Temperatura y de humedad relativa del aire a 850hPa, durante el inicio del incendio de Pichiqueime de 2011. (Fuente: <http://www.esrl.noaa.gov>)

Los incendios de magnitud se concentran entre los meses de diciembre y marzo, durante estos meses se producen el 90,5% de estos con una afectación del 92,7% del total. En los extremos de las campañas, tenemos que al inicio de esta (noviembre) se producen el 2,1% de estos incendios que afectan el 1,3% de la superficie total. En el otro extremo se sitúa el mes de abril con un 5% de eventos de magnitud representando una superficie del 5,7% (ver figura 10). Esta diferencia entre los meses de inicio y fin de campaña de incendios se debe a que en el mes de abril, la vegetación (o combustibles) están más predispuestos a arder que en noviembre.

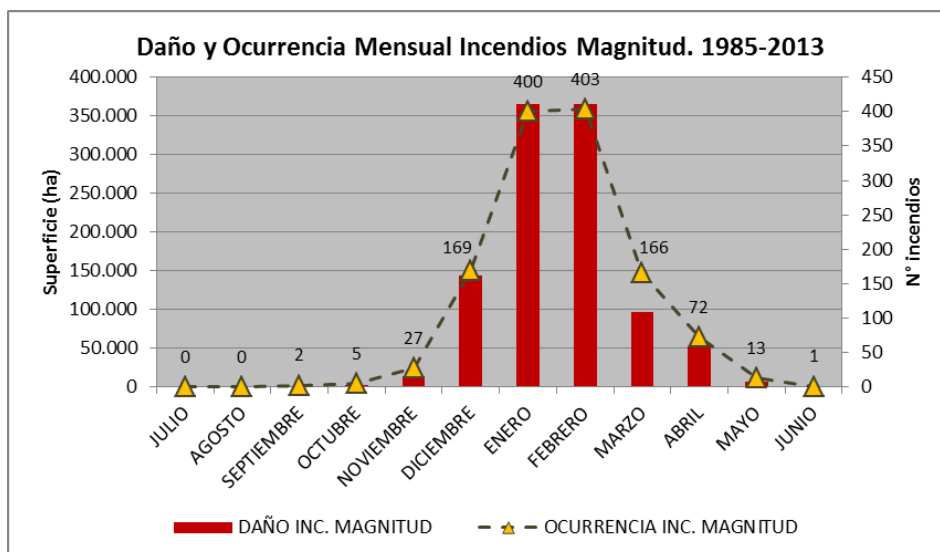


Figura 11. Distribución mensual del daño y la ocurrencia de incendios de magnitud. Periodo 1985-2013. Fuente: CONAF.

El daño de los incendios de magnitud sobre la vegetación tiene una distribución parecida a la observada en el daño nacional. El daño sobre la vegetación forestal es del 92,5% (incendios de magnitud) frente al 90,1% del daño nacional. Dentro de la vegetación natural destaca la afectación por incendios de magnitud en el arbolado (36,4%) y matorral (35,1%), frente al daño nacional (21% y 25,9% respectivamente), es decir, los incendios de magnitud afectan mayormente el arbolado y matorral. Esta mayor afectación se debe a que los incendios de magnitud se caracterizan por tener comportamiento extremo, que se traduce en incendios de alta intensidad y fuego activo de copas, sostenidos por la vegetación que arde.

Tabla. 4. Daño por incendios de magnitud. Periodo 1985 – 2013. Fuente: CONAF.

Descripción		Superficie (ha)	%
Plantación	Pino Insigne (Total)	174.568,25	16,7%
	Eucalipto sp.	48.985,07	4,7%
	Otras sp.	1.684,86	0,2%
	Total	225.238,18	21,5%
Vegetación natural	Arbolado	270.449,10	36,4%
	Matorral	261.080,91	35,1%
	Pastizal	211.598,16	28,5%
	Total	743.128,17	71,0%
Total forestal		968.366,35	92,5%
Total otras superficies *		78.752,11	7,5%
Total superficie afectada		1.047.118,46	100,0%

* Otras Superficies, incluye terrenos agrícolas y desechos cosecha forestal.

1.4 Evolución de los incendios

Se observan varias tendencias que influyen claramente en la evolución de los incendios.

1.4.1 Incendios durante todo el año

Se avanza y se alarga periodo de incendios, es decir, los incendios empiezan a producirse en mayor número durante los meses extremos de la temporada, por tanto el problema de los incendios ya no se da exclusivamente en primavera o en verano sino que se manifiestan durante todo el año.

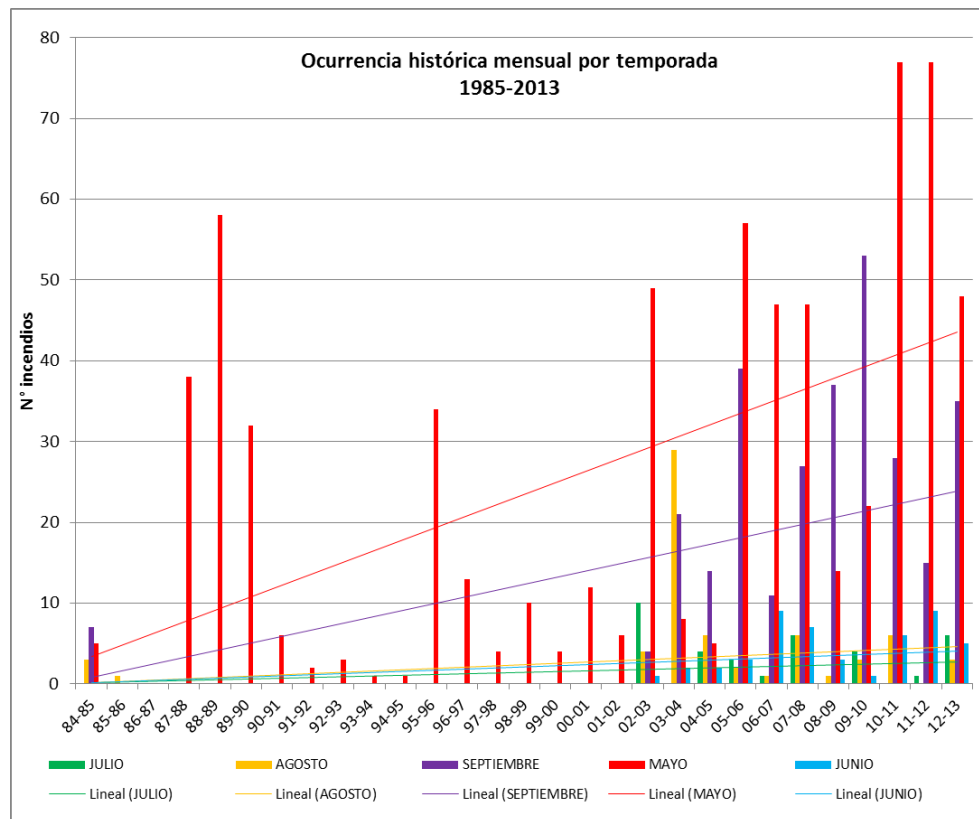


Figura 12. Ocurrencia histórica mensual de incendios por temporada. 1985-2013. Fuente: CONAF.

En la figura anterior se muestra el número de incendios producidos en los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre durante el periodo 1985- 2013. Se observa que la ocurrencia en estos meses aumenta y la tendencia es ascendente. Vemos que los incendios ya sucedían, en mayor o menor número, en mayo a finales del siglo XX pero no en los otros meses considerados “fuera de temporada”, es a partir de principios del siglo XXI que ya no sólo suceden incendios en mayo (aumentando en número) sino que “aparecen” incendios en los meses de junio, julio, agosto y en mayor frecuencia septiembre.

1.4.2 Simultaneidad de incendios de magnitud

La simultaneidad de incendios de magnitud hace que los medios de extinción queden desbordados debido a la falta de recursos para combatir en varios incendios de este tipo. Si a esto le añadimos el hecho que estos incendios son de interfaz, aún se constata más la falta de recursos y el colapso del sistema de extinción.

1.4.3 Mayor disponibilidad de los combustibles

En el futuro habrá una mayor disponibilidad de combustibles debido al aumento de temperaturas y disminución de precipitaciones a causa de los efectos de cambio climático. Esta mayor disponibilidad producirá incendios de peor comportamiento (aumento de intensidad, velocidad de propagación, longitud de llama, generación de pavesas) mucho más difíciles de controlar por parte de los servicios de extinción.

Los estudios del cambio climático analizan varios escenarios según el nivel de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y su proyección en el futuro según la tendencia actual. Estos escenarios pueden ser moderados (escenario B2) o severos (escenario A2) y analizan diversas variables, como la temperatura y la precipitación, según estos escenarios. Según los informes del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) del año 2007, la situación más probable según el nivel de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de la última década es la del escenario severo (A2).

A continuación se detallan las tendencias en cuanto a temperatura y precipitación esperadas a finales de siglo, según el estudio *Variaciones climáticas en Chile para el siglo XXI*, de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y el Depto. De Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Diciembre 2006.

1.4.3.1 Temperatura

Para finales de siglo XXI se espera un incremento de la temperatura en superficie en todas las regiones siendo mayores para el escenario severo. El cambio de temperatura media del escenario severo respecto al clima actual sobre Chile continental varía entre 2° y 4°C, siendo más acentuado hacia las regiones andinas y disminuyendo de norte a sur. Sólo en la Región Austral bajo el escenario B2 hay sectores pequeños con calentamiento menor a 1°C. Estacionalmente el calentamiento es mayor en verano excediendo los 5°C en algunos sectores altos de la Cordillera de los Andes particularmente en verano.

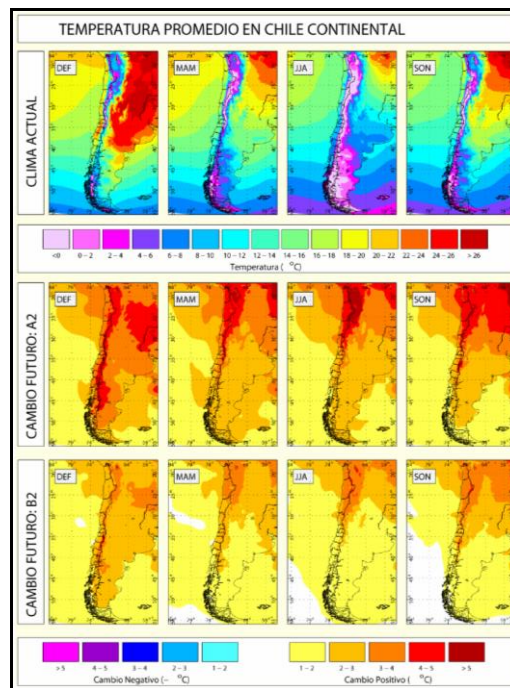


Figura 13. Temperatura media diaria en el clima actual (fila superior) y diferencias futuro-presente (paneles inferiores) para cada estación del año.

1.4.3.2 Precipitación

En términos generales las cumbres andinas marcan un contraste entre ambas laderas con un aumento en la ladera oriental (Argentina) y una disminución en la ladera occidental (Chile continental y el Pacífico adyacente), particularmente en latitudes medias y en las estaciones de verano y otoño. Este contraste se manifiesta más acentuado en el escenario A2 durante el verano, en que la precipitación sobre ciertos sectores de Chile centro-sur se reducen a la mitad e incluso un cuarto del valor actual, al mismo tiempo que la precipitación futura se duplica (respecto a la actual) inmediatamente al este de la cordillera de los Andes.

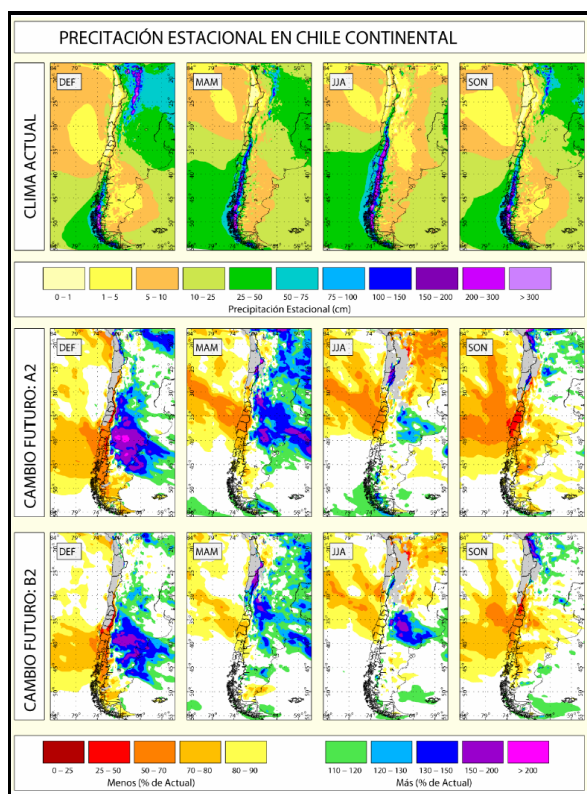


Figura 14. Precipitación estacional en el clima actual (fila superior) y diferencias futuro-presente (paneles inferiores) para cada estación del año.

Otros estudios confirman esta tendencia y reflejan que en la región central de Chile (des de Atacama a Bío Bío) se espera un aumento del déficit de agua y estrés térmico estival que afectará a las plantaciones forestales y en consecuencia también a la vegetación de estas regiones (fuente: *Análisis de la Vulnerabilidad del Sector Silvoagropecuario, Recursos Hídricos y Edáficos de Chile frente a Escenarios de Cambio Climático*. Centro de Agricultura y Medio Ambiente (AGRIMED), Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Diciembre 2008).

1.4.4 Interfaz urbano-forestal

El aumento de las áreas de interfaz urbano-forestal es evidente y cada vez más se observa este fenómeno en las zonas con mayor población, sobretodo en la región central. En el informe técnico del Catastro del Bosque Nativo para las regiones V, VI y Metropolitana, elaborado por CIREN y CONAF en diciembre de 2013, se pueden apreciar los cambios sufridos en los últimos años, siendo estos muy parecidos entre las regiones de estudio. El informe demuestra que hay un aumento de la las áreas urbanas e industriales y también en bosques, a su vez disminuyen los terrenos agrícolas y las praderas y matorrales (ver figura 14).

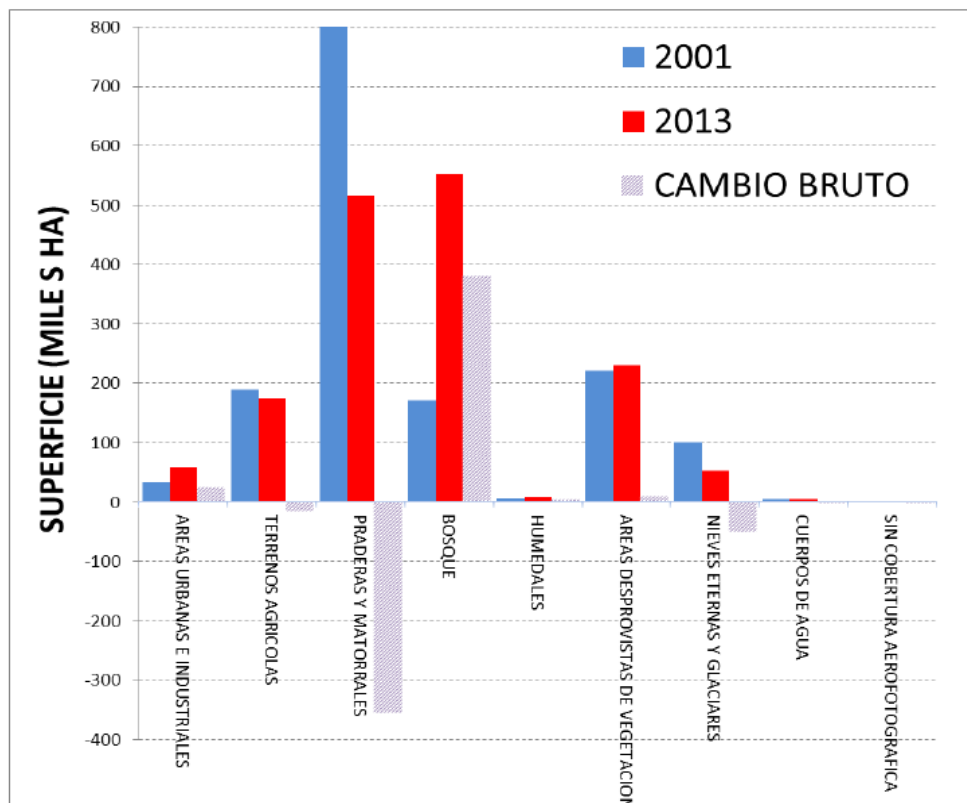


Figura 15. Superficie de uso de la tierra actual, 2013, e identificada en el monitoreo anterior 2001. Cambio bruto en la superficie, Región de Valparaíso.

Los incendios forestales que hasta hace poco solo implicaban bosques pasan a afectar con mayor frecuencia a áreas urbano-forestales, haciendo que la gran mayoría de los medios de extinción se concentren en proteger las personas y sus bienes, en lugar de concentrarse en extinguir el incendio que sigue quemando, provocando un cambio en la estrategia de extinción (Ver figura 15).

Este cambio de emergencia forestal a emergencia civil representa un reto, no sólo para los servicios de extinción sino también para otras instituciones que deberán adaptarse y prepararse para hacer frente a la emergencia (mejor planificación, coordinación, etc).

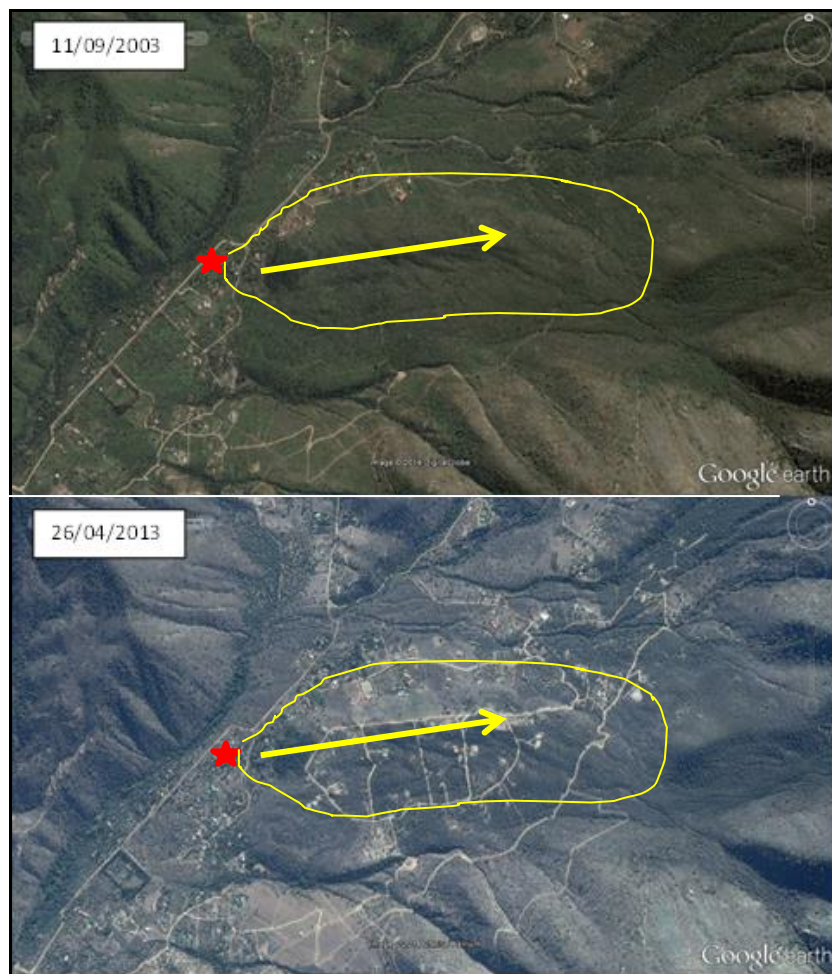


Figura 16. Ante un mismo incendio la estrategia de extinción ha cambiado con los años debido a la presencia de zonas de interfaz urbano-rural (fuente: GoogleEarth)

1.5 Necesidades del sistema de extinción

El incendio forestal es un fenómeno complejo en el que influyen múltiples factores. El sistema de extinción requiere de un análisis que puede resultar muy complicado si se tienen en cuenta todas las variables que intervienen, por otra parte requiere de una rápida respuesta y muchas veces bajo presión que dificulta la toma de decisiones en la extinción (estrategia y tácticas). A esto hay que sumarle que además hay que asegurar en todo momento la seguridad del combatiente, por lo que la necesidad de un sistema de predicción que ayude en la toma de decisiones es evidente.

Por otra parte, la gestión de la emergencia por incendio forestal es fundamental para toda organización, y requiere de un modelo que permita el manejo efectivo y eficiente del incidente al que se enfrenta. Con éste propósito, CONAF está implementando el Sistema de Comando de Incidentes (SCI), promovido internacionalmente por las Naciones Unidas.

Para dar respuesta a ésta necesidad, se ha optado por el análisis del comportamiento del fuego a nivel centralizado utilizando software especializado y a nivel de terreno se utilizará en Sistema de Análisis Campbell, con lo que se pretende fortalecer la evaluación de la situación, en el marco del SCI.

2 COMPORTAMIENTO DEL INCENDIO FORESTAL

2.1 Factores dominantes en la propagación de los incendios

Existen tres factores de propagación, la topografía, el viento y el combustible. Estos tres factores pueden presentarse en el incendio de forma simultánea pero habrá uno que tendrá una mayor influencia en la propagación del incendio por lo que se denominará el factor dominante en la propagación del incendio o motor del incendio.

Área potencial

El área potencial se entiende como la máxima superficie que podría tener el incendio en las condiciones determinadas por el factor dominante en la propagación.

2.1.1 Incendios topográficos

En los incendios topográficos el factor dominante en la propagación o Motor del Incendio es la topografía.

La dirección de propagación de estos incendios está marcada por la pendiente principalmente, y habrá que tener en cuenta los vientos locales que se generan junto con la dinámica diurna/nocturna y sobretodo la exposición o insolación que determinará el calentamiento del combustible.

Área potencial

En incendios topográficos el área potencial está influenciada por la configuración topográfica (laderas, quebradas, collados y valles), los vientos locales (dirección y dinámica) y la exposición de las laderas (disponibilidad del combustible). En la siguiente figura se muestra un ejemplo del área potencial de un incendio topográfico. Si el incendio está ubicado en la quebrada 1 propagará por toda esa quebrada. Si el incendio está localizado más antes del nudo de quebrada el área potencial del incendio comprenderá las quebradas 1 y 2. Los nudos de quebrada son puntos de ramificación del incendio.

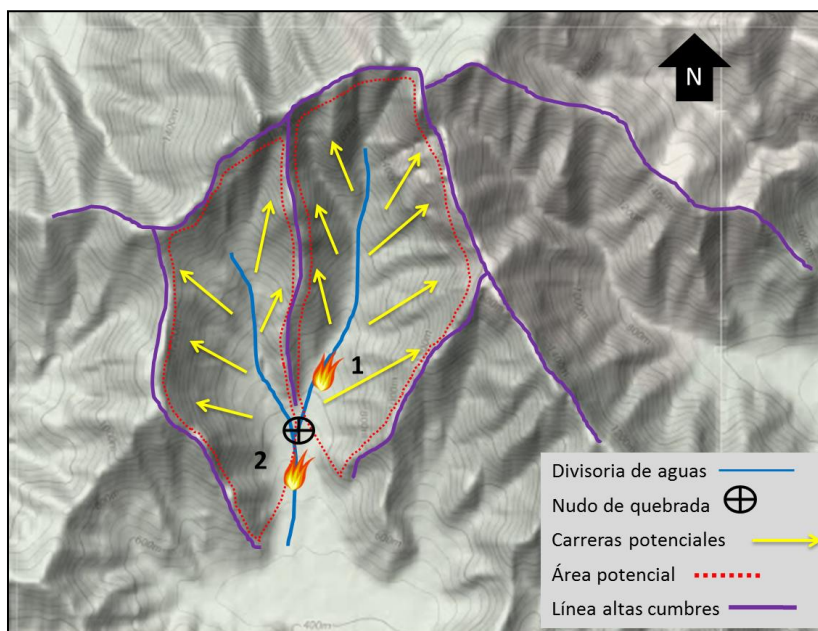


Figura 17. Configuración del área potencial de un incendio topográfico. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Los incendios topográficos pueden desarrollarse en diferentes situaciones:

a) En laderas

Los incendios en laderas pueden producirse en la base o a media ladera, en todo caso el incendio ascenderá siguiendo la ladera de máxima pendiente, acompañado por los vientos convectivos que genera el propio incendio. Las mayores intensidades se darán en la cabeza del incendio como se puede observar en las siguientes figuras.



Figura 18. Incendios en ladera dónde se observa la mayor intensidad del frente en la parte alta. Las imágenes corresponden a incendios de la VIII región (izquierda) y de la VI región (derecha). Fuente: CONAF.



Figura 19. Incendio de Curillín en la VII región (04/03/2013) dónde destacan las longitudes de llama. Fotos: Fernando Fiedler.

b) Quebradas, cañones

Hay que poner especial atención en estas situaciones debido al comportamiento extremo que puede llegar a darse y habrá que extremar las medidas de seguridad en el combate. Estas quebradas pueden quemar enteras de forma simultánea y gran virulencia, cómo una gran olla, aunque también puede darse que sólo afecte a alguna de las laderas, siendo generalmente las expuestas al sol las preferentes debido a la disponibilidad del combustible. Se tendrá también en cuenta también la generación de vientos, y en caso de los incendios que descienden por la quebrada, las posibles carreras que puedan generarse al llegar este al fondo de la quebrada.

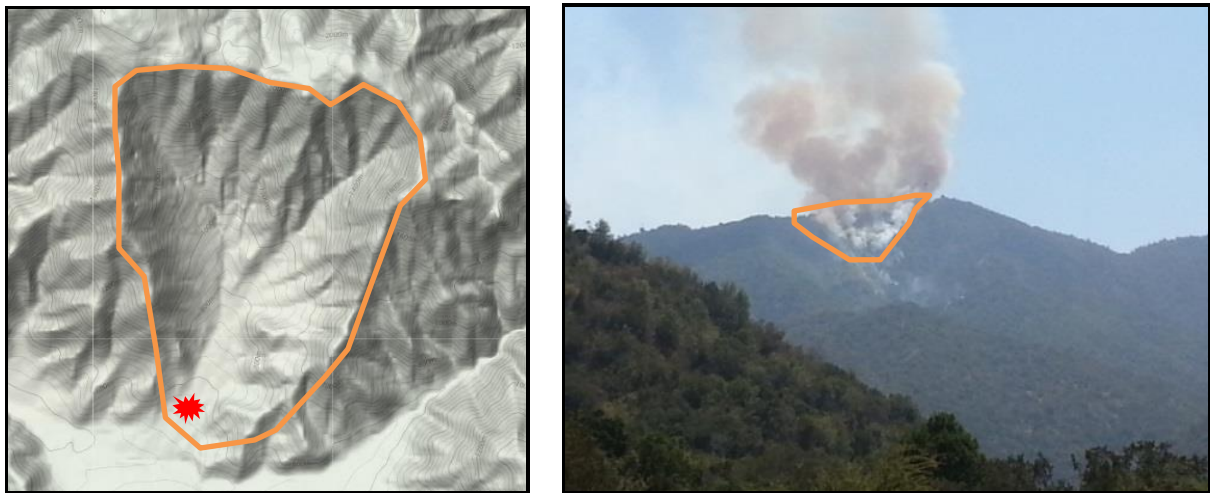


Figura 20. Ejemplo de una quebrada y el área potencial que puede llegar a arder si el incendio se inicia en su base. A la derecha, imagen de un incendio en la VI región quemando en esta situación (10/01/2014). Fuente: CONAF.

c) Collado

Un collado es el punto más bajo de una línea de cumbres comprendido entre dos elevaciones. Los collados se caracterizan por ser suaves depresiones entre cerros y muchas veces sirven como pasos de un lado a otro de una sierra. Esta configuración hace que estas zonas sean más ventosas y en sus proximidades se produce tanto aceleración de los vientos como efectos de succión hacia el collado, por tanto habrá que tener en cuenta estos efectos en los incendios próximos a los collados.



Figura 21. Vista de un collado y dirección que tomará el viento. Fuente: CONAF.



Figura 22. Columna de un incendio debido al efecto de succión por la proximidad a un collado. Fuente: CONAF.

d) Succión valles principales

Este efecto se produce cuando tenemos grandes valles y quebradas que canalizan el viento hacia ellos produciendo el efecto de succión. A mayor velocidad del viento la succión producida por el valle se incrementa.



Figura 23. Efecto del efecto de succión por valle principal y perímetro final del incendio, Porvenir del año 2008 (VIII región). Fuente: CONAF.

2.1.2 Incendios de viento

En los incendios de viento el factor dominante en la propagación o Motor del Incendio es el viento.

La dirección de propagación corresponde a la dirección del viento dominante, esta no es constante sino que fluctúa en varios grados, adaptándose en menor o mayor medida a la topografía del terreno. Además según la intensidad del viento y lo abrupto de la topografía del terreno se pueden generar contravientos.

Área potencial

El área potencial del incendio está estrechamente relacionada con la dirección del viento y su interacción con la topografía. De forma general las líneas de cumbres (línea imaginaria que une las cumbres de los cerros en una cadena montañosa) que estén alineadas en la dirección del viento son las más potenciales.

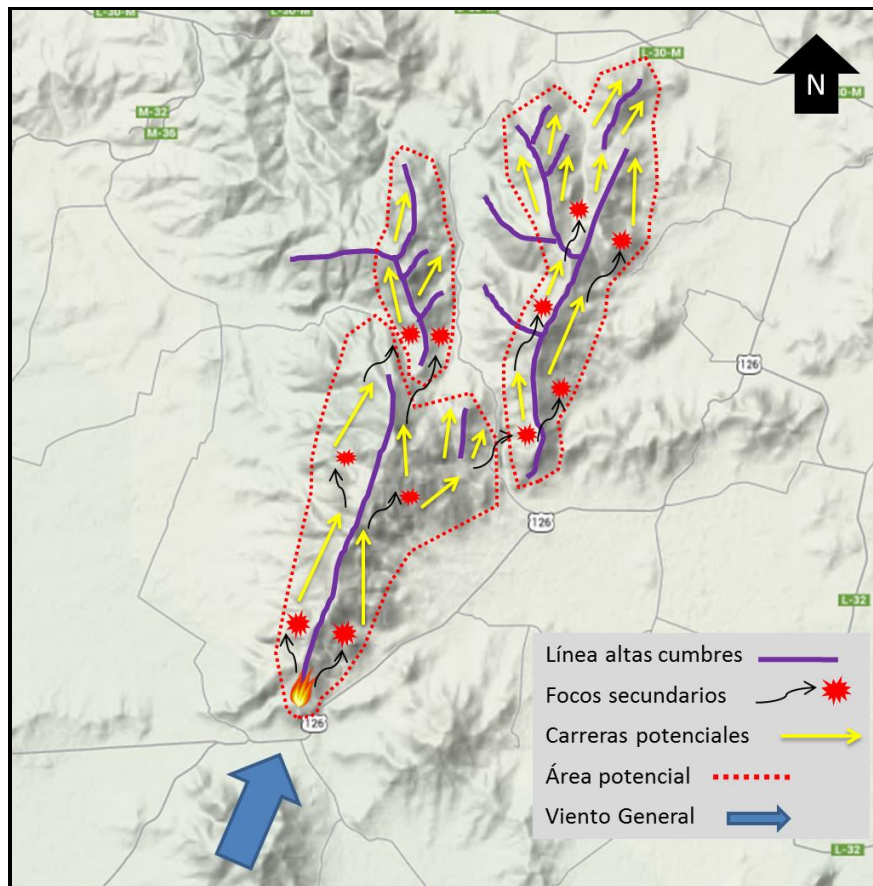


Figura 24. Configuración del área potencial de un incendio de viento. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

En los incendios de viento la dirección de propagación del fuego coincide con la dirección del viento y se incrementa a mayor intensidad del viento. La emisión de focos secundarios es muy frecuente y estos siempre caerán en la dirección del viento. Si las pavesas caen sobre combustible disponible la velocidad de propagación del incendio se incrementará considerablemente.

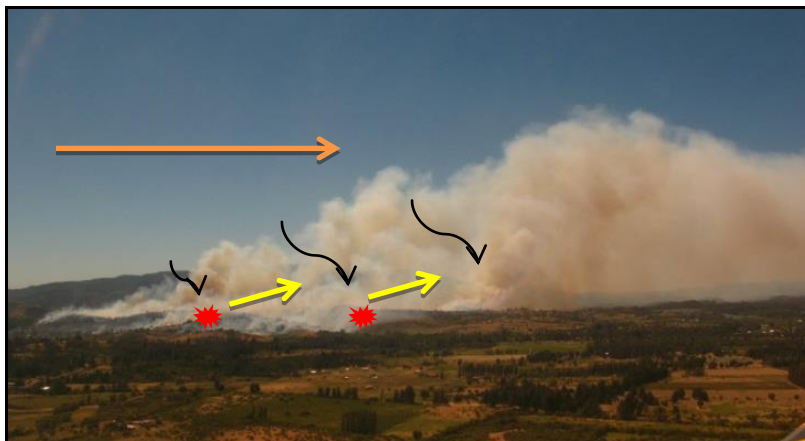


Figura 25. Imagen del incendio de Quillón el día 26 de enero de 2010. Típico incendio conducido por viento. La propagación del incendio es acelerada por la propagación de focos secundarios o pavesas. Fuente: CONAF.



Figura 26. El incendio del Parque Nacional de Torres del Paine del año 2011 (izquierda) y el incendio de Puerto Varas del 18/12/2013 (derecha, autor: Fernando Fiedler), son un claro ejemplo de incendio conducido por viento. Fuente: CONAF.

La caída de pavesas o focos secundarios puede darse en laderas a barlovento y a sotavento. En el primer caso al estar la ladera expuesta al viento la dirección de propagación coincide con la del viento y se producirán carreras ascendentes con elevada velocidad de propagación. En las laderas a sotavento pueden darse dos situaciones según si la intensidad del viento es capaz o no de generar contravientos debido al relieve. Con el contraviento las laderas a sotavento presentaran comportamientos similares a las de barlovento (elevada velocidad), mientras que en las laderas a sotavento sin contraviento el incendio presentará menores velocidades de propagación al no tener el viento a favor.

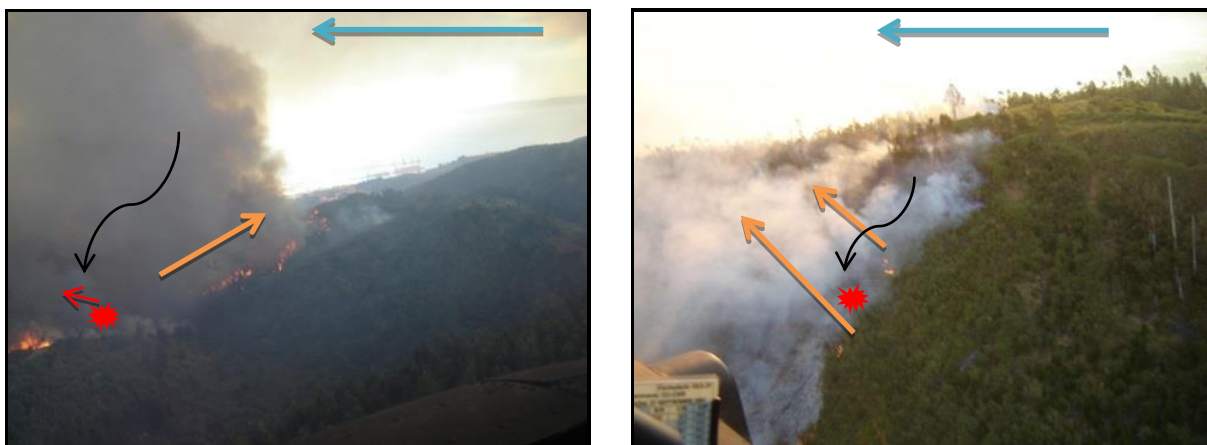


Figura 27. Focos secundarios en laderas a barlovento y a sotavento. Incendio de Chiguayante 19/01/2009. Fuente: CONAF.

2.1.3 Incendios de combustible (Convección)

En los incendios de combustible, caracterizados por su elevada intensidad, el factor dominante en la propagación o Motor del Incendio es el propio combustible o vegetación, ya sea por su cantidad, distribución y/o disponibilidad.

La dirección de propagación no corresponde exclusivamente a topografía y viento, sino por el mismo incendio que es capaz de alterar las condiciones generales en condiciones más extremas en su entorno (temperatura, humedad, viento, disponibilidad combustible,...) y con una elevada capacidad de generar gran cantidad de focos secundarios o pavesas. Esto conlleva una mayor

dificultad en la predicción de la dirección de propagación que esta influencia por la distribución de los combustibles y el movimiento de la masa de aire caliente en altura.

Área potencial

El área potencial del incendio comprende grandes cuencas hidrográficas (Porción de un territorio con cumbres y quebradas donde las aguas fluyen naturalmente hacia un mismo estero, río, lago o mar). La dirección del viento marca la caída de focos secundarios y por tanto la dirección de avance del incendio. De forma general las cuencas hidrográficas alineadas en la dirección del viento son las más potenciales.

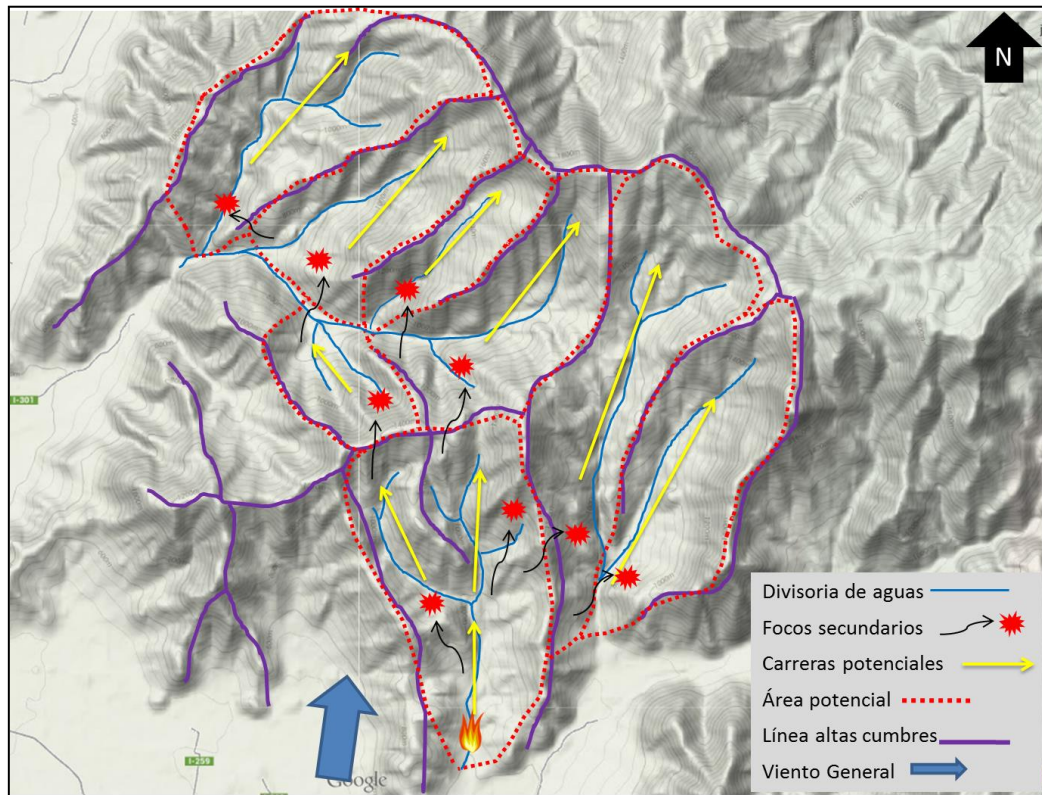


Figura 28. Configuración del área potencial de un incendio de combustible. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

La elevada intensidad calorífica desprendida debido a la alta cantidad de combustible disponible facilita la formación de columnas convectivas que crecen en altitud. La magnitud y la altitud de estas nubes se verá favorecida por las condiciones de inestabilidad atmosférica (a mayor inestabilidad).



Figura 29. Formación de columnas convectivas. Fuente: CONAF.

En estas situaciones el incendio es capaz de generar su propio ambiente de fuego, dónde las condiciones meteorológicas se vuelven críticas (baja humedad, elevada temperatura y vientos moderados) produciendo un aumento de la disponibilidad del combustible del entorno inmediato por dónde irá avanzando el incendio.



Figura 30. En estas imágenes se observa la alta intensidad del frente de llamas así como el color oscuro del humo del incendio característico de la alta disponibilidad del combustible. Fuente: CONAF.

La propagación por focos secundarios o pavesas es característica de estos incendios. Estas pavesas son succionadas por el frente del incendio aumentando su intensidad y avance a través del relieve.



Figura 31. Succión focos secundarios por el frente principal. Fuente: CONAF

3 EL SISTEMA DE PREDICCIÓN DE CAMPBELL

3.1 Introducción

El sistema de predicción de Campbell (CPS) es una forma práctica de utilizar las observaciones del comportamiento del fuego en terreno para determinar las estrategias y tácticas a ejecutar. El comportamiento del fuego observado se convierte en herramienta básica para elaborar las predicciones del comportamiento del fuego. La lógica de este sistema sustituye a la intuición permitiendo explicar el cómo y porqué del comportamiento.

El sistema de predicción Campbell es un método que permite predecir el comportamiento futuro del fuego de una forma simple y sencilla, en base al comportamiento observado. Éste puede ser utilizado en terreno sin necesidad de otras herramientas y fue desarrollado en los años 90 por el jefe y analista de incendios Doug Campbell del Servicio Forestal de Estados Unidos.

El sistema de predicción Campbell permite:

- Identificar y utilizar la información correcta para hacer predicciones del comportamiento del fuego cualquiera que sea el tamaño del incendio.
- Explicar cómo se llegó a la predicción de cambio del comportamiento del fuego.
- Elegir estrategias y tácticas a utilizar y explicar el porqué de su elección.
- Visualizar y comunicar la predicción del comportamiento del fuego en un mapa.
- La lógica permite explicar lo que el fuego le está diciendo, y las tácticas razonadas permiten mantener la eficacia y la seguridad en el combate.

El sistema de predicción Campbell consiste en aislar un frente o un sector del incendio y mediante el análisis de las tres fuerzas propuestas junto con el comportamiento observado en ese frente o sector, se elaboran predicciones del comportamiento futuro del fuego.

En resumen, la predicción del comportamiento fuego nos permitirá saber dónde y cuándo se producirán estos cambios en el territorio, mejorando la seguridad en la extinción del incendio y mejorando la elección de estrategias y tácticas que harán que seamos más efectivos y eficientes en la extinción del incendio.

3.2 Fuerzas locales del incendio

Cuando se habla de comportamiento del fuego se hace referencia a la Gran Triada del Comportamiento, formada por los combustibles, el tiempo atmosférico y la topografía. A su vez, cada uno de factores tiene diversas características, que hacen aún más compleja la predicción del comportamiento del fuego.

Del conjunto de características de los tres factores del comportamiento, 13 en total, el sistema de predicción Campbell identifica a tres de esas características como las principales en el comportamiento del fuego. Estas características, **a llamarse de aquí en adelante “FUERZAS LOCALES DEL INCENDIO”**, son el viento, la pendiente y la temperatura del combustible, cada una manifestándose con una intensidad propia, por ejemplo una fuerte velocidad del viento y en la misma dirección del incendio, combustible caliente o frío, ladera de más o menos inclinación.

Su alineación o desalineación, o sea si están ayudando o no a la propagación de fuego, permite predecir cambios en el comportamiento del fuego. Fuego subiendo por una ladera con fuerte pendiente, con viento de ladera ascendente y combustible caliente, significa que las tres fuerzas

están alineadas. Si en el mismo caso, el fuego va bajando la ladera, sólo habría una de tres fuerzas alineada: la temperatura del combustible.

Mientras más alineadas estén las tres fuerzas, mayor será la severidad del comportamiento en ese incendio en particular. Cuando las fuerzas se alinean menos, la severidad del comportamiento del fuego disminuirá.

Las predicciones del cambio del comportamiento del fuego se hacen mediante la observación de la alineación y la intensidad de cada una de las fuerzas.

El viento y la pendiente actuarían sobre un incendio cambiando el ángulo y la dirección de la llama con respecto al combustible, mientras la exposición determinará el precalentamiento del combustible y en consecuencia alterará la intensidad del fuego.

3.2.1 Viento

El viento es una fuerza de aceleración de la propagación del fuego debido a que su efecto contribuye a una mayor radiación y convección del fuego, que favorece el precalentamiento, además produce una mayor oxigenación que favorece el proceso de combustión y también acelera el proceso de desecación del combustible o vegetación.

Por otra parte al inclinar la llama habrá mayor cantidad de combustible quemando acelerando también la combustión de la vegetación más cercana.

En el análisis Campbell se valorará si el viento es una fuerza que está “ayudando” al incendio, o por el contrario está dificultando su propagación. Por tanto si el viento va a favor del fuego significa que este irá a peor, y si es en contra irá a mejor (para nosotros).

- Viento a favor del fuego = a peor
- Viento en contra del fuego = a mejor

En el incendio de Puren en la VI región (ver figura 28) se observaron estas dos situaciones comentadas y puede observarse la diferencia en el comportamiento del fuego que hay entre un flanco y otro. Por una parte el flanco izquierdo del incendio (izquierda de la imagen) tiene el viento en contra dificultando el avance del fuego mientras que el flanco derecho tiene el viento a favor favoreciendo su avance, situación por tanto a peor.



Figura 32. Situación del incendio de Puren a las 17h del día 15-01-2014 (VI Región). Fuente: CONAF.

3.2.2 Pendiente

La pendiente favorece el ascenso a velocidad mayor del frente del incendio y pone los materiales combustibles más cerca de la radiación necesaria para comenzar a arder.

Al igual que con el viento, con el sistema Campbell se valorará si la pendiente ayuda o favorece la propagación del incendio. En caso de que el fuego esté subiendo o ascendiendo por la pendiente, esta va a favor del incendio que irá a peor. Por el contrario si el fuego desciende por la ladera se considera en contra, es decir, no ayuda a su propagación y por tanto será una situación a mejor para nosotros.

- Pendiente ascendente → A favor del fuego = a peor
- Pendiente descendente → En contra del fuego = a mejor

En la siguiente figura se observa el frente del incendio Cerro Ballenato que avanza ascendiendo por la pendiente, según Campbell al estar a favor del fuego el comportamiento será a peor.



Figura 33. Situación del incendio Cerro Ballenato a las 15h30 del día 07/03/2014 (VI región). Fuente: CONAF.

En el siguiente caso, observamos un fuego de pastizales avanzando en una zona llana o planicie y por tanto la pendiente no influye siendo las longitudes de llama son menores, en cambio a la derecha de la imagen, cuando el fuego asciende por una pequeña pendiente, se aprecia como el comportamiento del fuego va a peor (mayor longitud de llama y columna color oscuro) debido a la influencia de esta.



Figura 34. Incendio de pastizales en la VIII Region dónde se aprecia la influencia de la pendiente. Fuente: CONAF.

3.2.3 Temperatura del combustible

La temperatura del combustible o vegetación está determinada según la exposición a la radiación solar. Es decir, a mayor insolación habrá una mayor temperatura del combustible que provocará una reducción del tiempo en el proceso de precalentamiento, aumentando la intensidad y la velocidad del proceso de combustión.

Esta radiación solar variará a lo largo del día según la exposición de la pendiente en la que se encuentra el combustible. Basándose en esto Campbell elaboró un gráfico de curvas horarias para las cuatro exposiciones principales asociando el efecto que tiene la radiación solar sobre la temperatura del combustible o vegetación.

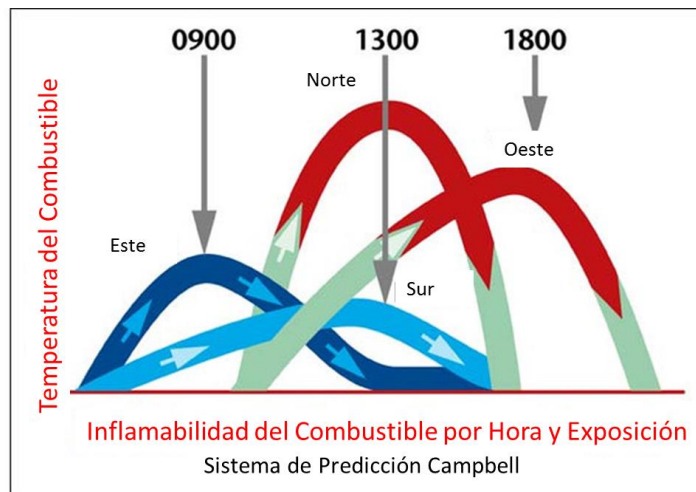


Figura 35. Curva de precalentamiento del combustible según la hora y la exposición. Fuente: <http://www.dougsfire.com/>

El gráfico se interpretaría de la siguiente manera, según sale el sol, la exposición Este es la primera que empieza a calentarse por la radiación solar (subiendo la curva), produciéndose el máximo calentamiento hacia las 9h solares, posteriormente a este máximo la temperatura irá disminuyendo (bajando la curva) hasta que el sol deje de incidir.

Las exposiciones Norte y Sur son las siguientes en recibir la radiación solar que calentará el combustible dándose el máximo a las 13h solares y decreciendo progresivamente. La diferencia en la temperatura del combustible entre las exposiciones Norte y Sur, se debe al ángulo en que incide la radiación solar. En el hemisferio Sur, los rayos solares que inciden en la exposición Sur están más inclinados y tienen menos poder para calentar el combustible, en cambio en la Norte la radiación solar incide perpendicularmente en las horas centrales del día por lo que la temperatura que alcanza el combustible en esta exposición es la más alta de las cuatro indicadas.

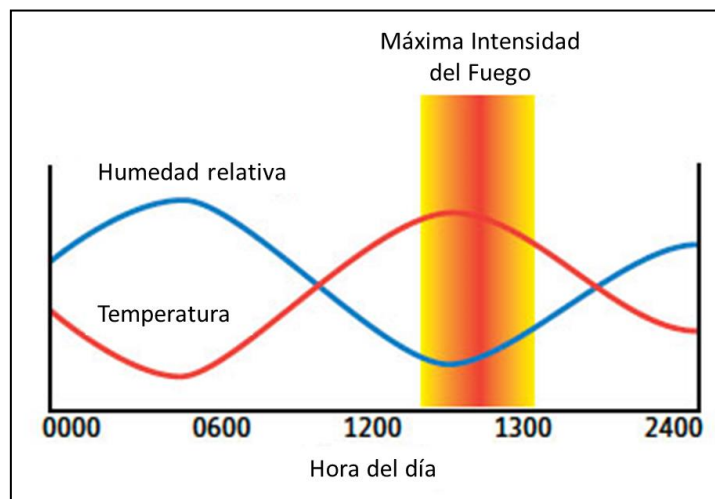


Figura 36. Evolución diaria de la temperatura y humedad. Fuente: <http://www.scotland.gov.uk/>

La exposición Oeste recibe por la tarde la radiación solar directa, siendo el máximo a las 18h solares para disminuir hasta la puesta del sol.

Hay que tener en cuenta que la hora solar no se corresponde con la hora oficial, y se deberá sumar a esta 1 o 2 horas según el horario en que estemos, siendo para el de verano +2 y en invierno +1.

Al realizar el análisis Campbell se considerará:

- Combustible Caliente → A favor del fuego = a peor
- Combustible frío → En contra del fuego = a mejor

En la siguiente imagen tomada a las 19h26 durante el incendio Quebrada Escobar del año 2014, se observa como el combustible de la exposición Oeste está disponible según la curva de precalentamiento del combustible de Campbell, considerándolo caliente (mayor longitud de llama). En cambio en las laderas Este el combustible se considera frío por lo que la longitud de llama que se aprecia es menor.



Figura 37. Situación del Incendio Quebrada Escobar a las 19h26 del día 01/01/2014 (V región). Fuente: CONAF.

Otro ejemplo de la influencia de la exposición en el comportamiento del fuego, se puede observar en la imagen post fuego del incendio Cuesta Álamo 3, en la VI región, dónde el combustible de las exposiciones Sur y Sureste estaba frío durante el avance del incendio y de ahí las manchas vegetación no quemada.



Figura 38. Incendio Cuesta el Álamo 3 del año 2014 (VI región). Autor: Jordi Brull.

3.3 Lógica de campo

Una vez explicadas las fuerzas que se utilizaran, el siguiente paso es saber cuál es la alineación de estas fuerzas en la zona o sector de análisis.

Para ello se utilizará la *alineación de fuerzas*, definido como la mayor o menor coincidencia entre sí, en una parte o sector del terreno, de las fuerzas del incendio favoreciendo la propagación del incendio. Puede ir de nula, una, dos o las tres fuerzas alineadas. En el cálculo de la alineación sólo se tendrán en cuenta las fuerzas que favorezcan la propagación del fuego, y las fuerzas desalineadas o en contra no se incluirán en el cálculo de la alineación. Es decir, el valor de alineación se obtiene de la suma de la cantidad de fuerzas favorables y en ningún caso los desfavorables se restan del valor de alineación.

Observemos el frente o cabeza del siguiente ejemplo y analicemos como las fuerzas están alineadas o no con el avance del incendio:

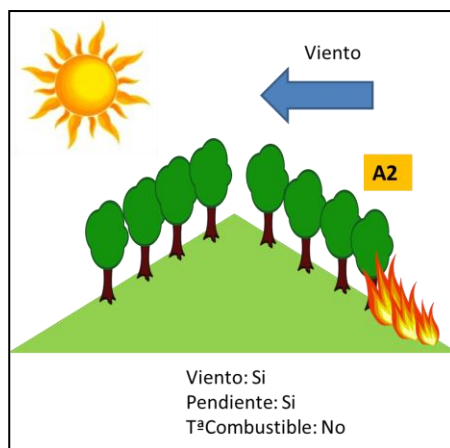


Figura 39. Ejemplo del sistema de alineación de fuerzas. Fuente: elaboración propia.

El frente del incendio tiene la pendiente y el viento a favor, es decir están ayudando a que el incendio se propague por lo tanto estas 2 fuerzas están alineadas. Por otra parte el combustible por el que avanza el incendio no está expuesto al sol y se considera frío, por tanto no favorece el avance. Aplicando la alineación de fuerzas se obtiene que se tienen 2 fuerzas a favor de los 3 posibles. Este valor 2/3 se expresa como media alineación y se ha codificado como A2, al cual se añadirán las fuerzas alineadas con el incendio que son viento y pendiente.

2/3	=	A2	+ Viento +Pendiente
------------	---	-----------	------------------------

En la siguiente tabla se detallan las diferentes alineaciones que se pueden dar junto con los códigos propuestos y fuerzas alineadas.

Tabla. 5. Alineaciones posibles según Campbell. Fuente: Elaboración propia.

Alineación	Fuerzas			Valor	Código	Fuerzas alineadas
	Viento	Pendiente	TªCombustible			
Plena alineación	SI	SI	SI	3/3	A3	Todos
Media alineación	SI	SI	NO	2/3	A2	+Viento +Pendiente
	SI	NO	SI	2/3	A2	+Viento +Exposición
	NO	SI	SI	2/3	A2	+Pendiente +Exposición
Baja alineación	SI	NO	NO	1/3	A1	+Viento
	NO	SI	NO	1/3	A1	+Pendiente
	NO	NO	SI	1/3	A1	+Exposición
Nula alineación	NO	NO	NO	0/3	A0	Ninguna

El proceso de análisis consiste en:

1. Aislar un frente o sector determinado
2. Analizar las fuerzas (A favor/ en contra) → Alineación (Suma fuerzas a favor)
3. Identificar parámetro que permita cuantificar el comportamiento y anotar valor observado:
 - Longitud llama
 - Velocidad propagación
 - Focos secundarios
 - Intensidad
4. Determinar la capacidad de control (Dentro/Fuera) según valor del parámetro de comportamiento.

Este análisis realizado en terreno permitirá al Jefe de Brigada plantear estrategias y tácticas, basadas en la predicción del comportamiento del fuego mediante la observación del comportamiento actual y determinar si se está dentro o fuera de la capacidad de control del sector analizado.

En las siguientes figuras se muestran diversas situaciones según la alineación de fuerzas.

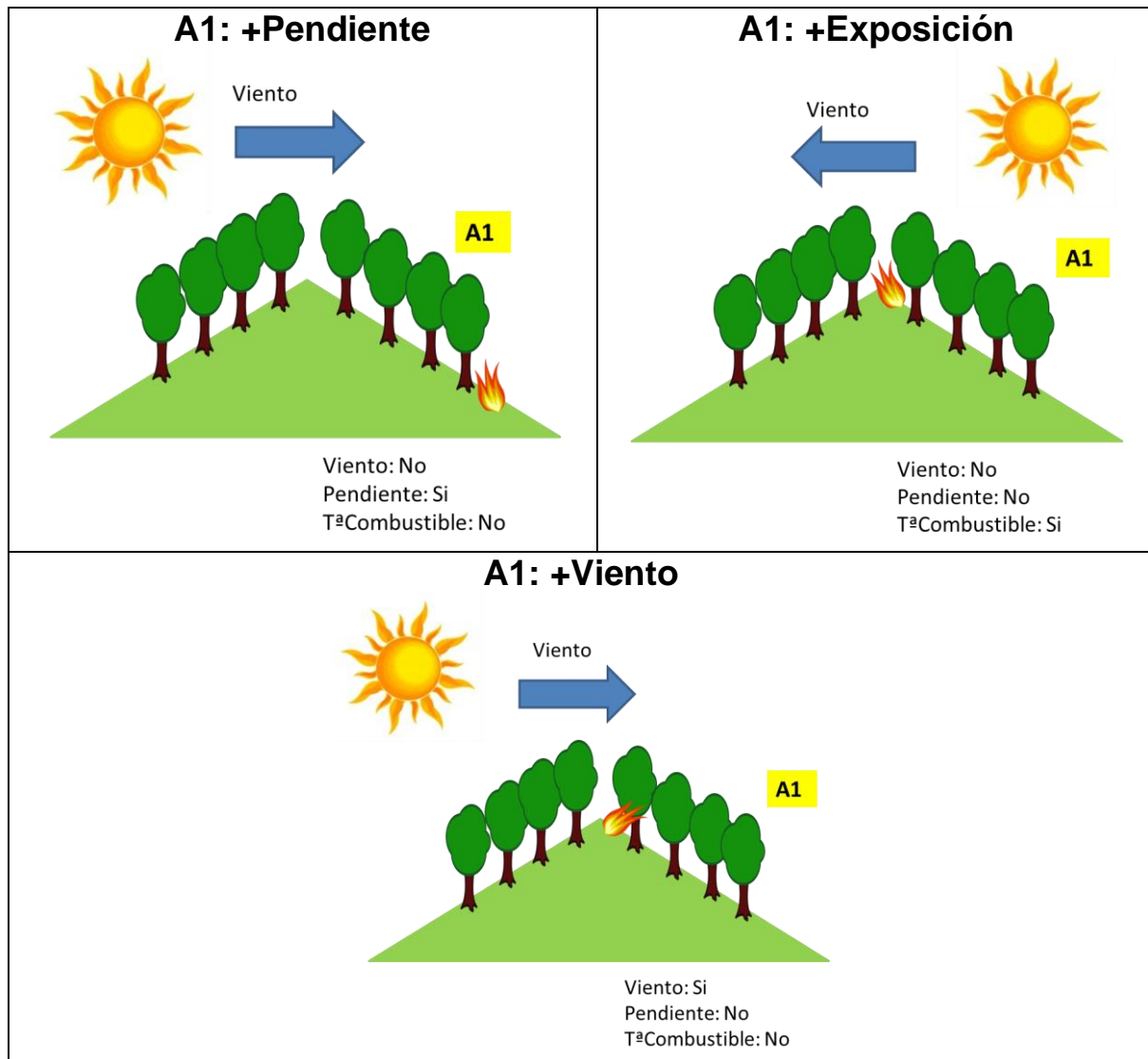


Figura 40. Ejemplos de situaciones con baja alineación. Fuente: Elaboración propia.

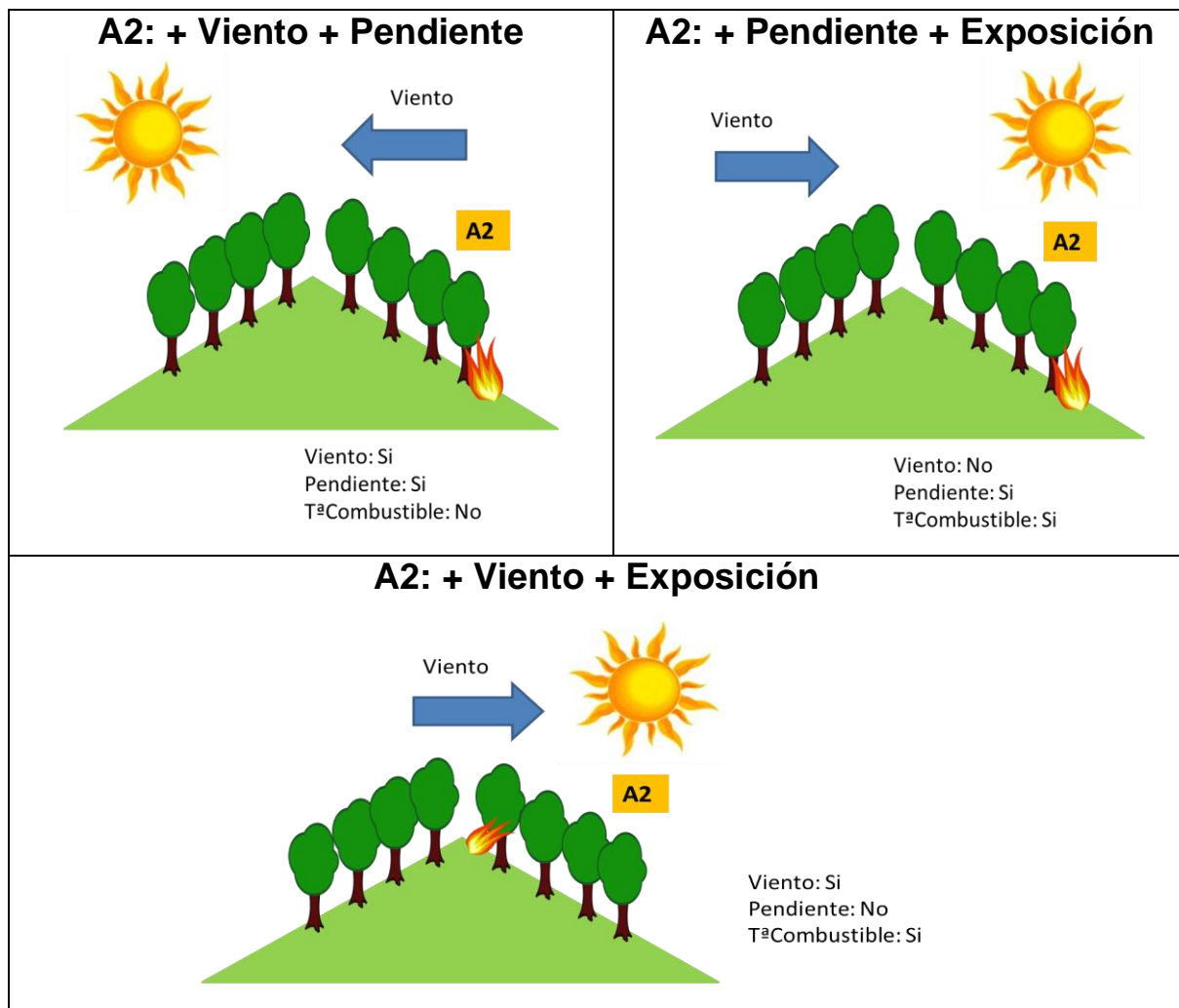


Figura 41. Ejemplos de situaciones con media alineación. Fuente: Elaboración propia.

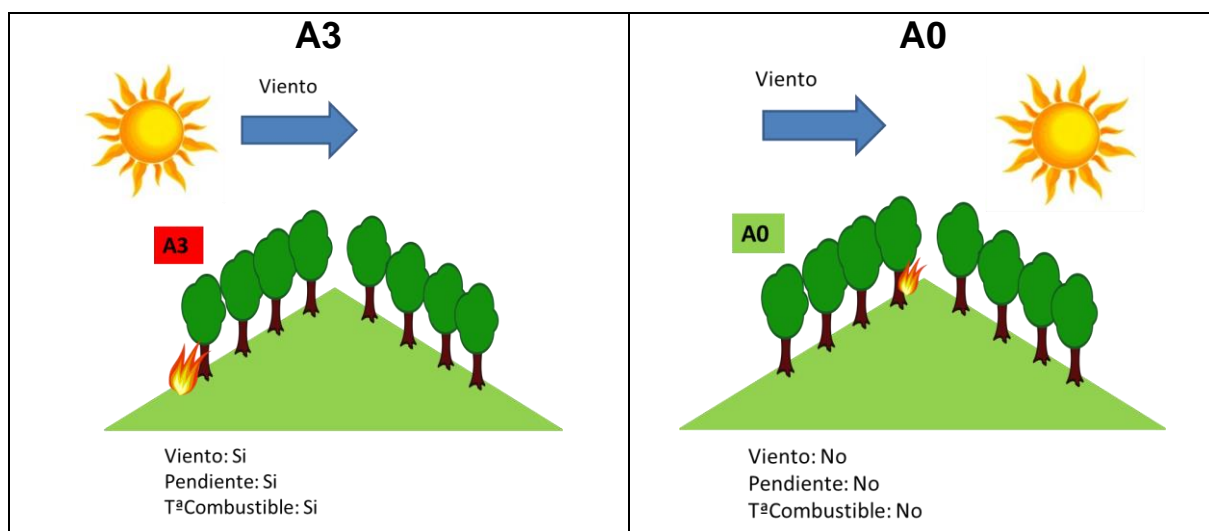


Figura 42. Ejemplos de situaciones con plena y nula alineación. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se observan dos incendios diferentes, en los dos casos los incendios tienen la misma alineación de fuerzas por lo que el comportamiento es muy similar. La plena alineación de las fuerzas se dará cuando el fuego se abra por el flanco izquierdo, tal y como se empieza a ver en el incendio de la izquierda.



Figura 43. Incendios próximos con compartamiento parecido debido a la misma alineación comportamiento. Fuente: CONAF.

Analicemos la situación del siguiente incendio mediante el proceso de análisis descrito anteriormente.

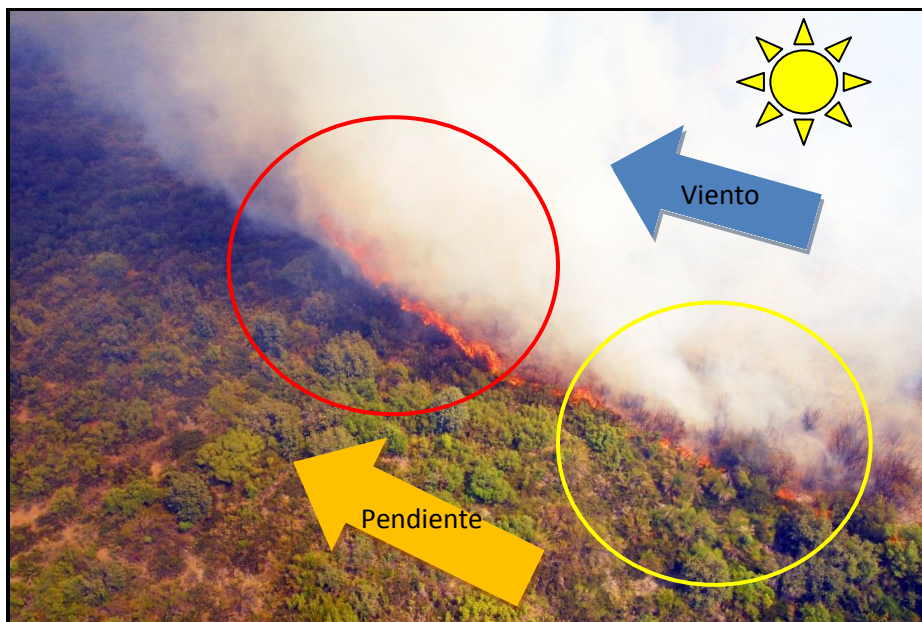


Figura 44. Progresión de un incendio dónde se muestran las fuerzas y sectores a analizar . Fuente: CONAF.

Tabla. 6. Proceso de análisis

Proceso de análisis		
Aislar sector	Cabeza – sector 6	Flanco izquierdo – sector 5
Analizar las fuerzas (A favor/ en contra) y calcular alineación (Suma fuerzas a favor)	La cabeza del incendio (sector 6) está avanzando por una ladera con viento a favor y combustible caliente. Las fuerzas a favor de la propagación del fuego son: viento, pendiente y temperatura del combustible, por tanto las tres fuerzas están sumando obteniendo un 3/3, es decir, plena alineación y código A3.	El flanco está descendiendo por la ladera sobre combustible caliente y el viento dificulta su avance. En este caso solo hay una fuerza alineada, la temperatura del combustible, por tanto estamos en 1/3 que equivale a baja alineación y código A1.
Identificar parámetro que permita cuantificar el comportamiento y anotar valor observado	Longitud de llama = 5 metros	Longitud de llama = 1 metro
Determinar la capacidad de control (Dentro/Fuera) según valor parámetro de comportamiento.	Con ataque directo FUERA de capacidad de control	Con ataque directo DENTRO de capacidad de control



Figura 45. Análisis del comportamiento del fuego según Campbell para los sectores 5 y 6. Fuente: CONAF.

3.4 Puntos de inflexión: Puntos críticos y Oportunidades

Punto de inflexión es el lugar en el terreno donde se produce un cambio en la alineación de las fuerzas, a mejor (oportunidades) o a peor (punto crítico), según el sistema de predicción de Campbell. En estos puntos pueden darse dos situaciones:

Punto crítico: Lugar donde se suman o alinean más fuerzas a la o las actuales. En este punto el incendio irá a peor, el comportamiento será más severo y, por lo general, fuera de la capacidad de control.

Oportunidad: Lugar donde la o las fuerzas alineadas perderán alineación, brindando así una posible ocasión de controlar al incendio.

En el siguiente ejemplo el incendio asciende por la ladera con viento a favor y combustible caliente, por tanto plena alineación (A3). Al coronar la pendiente el incendio empezará a descender sobre combustible frío y sólo la fuerza viento está favoreciendo la progresión, situación de baja alineación (A1 + viento). El punto de inflexión o de cambio está situado en la cima de la ladera donde el incendio pasa de plena alineación a baja alineación, pasando de un comportamiento más intenso a uno menos intenso. Por tanto el cambio donde el fuego pierde alineación se considerará como un punto A MEJOR pudiendo ser este una oportunidad para el control.

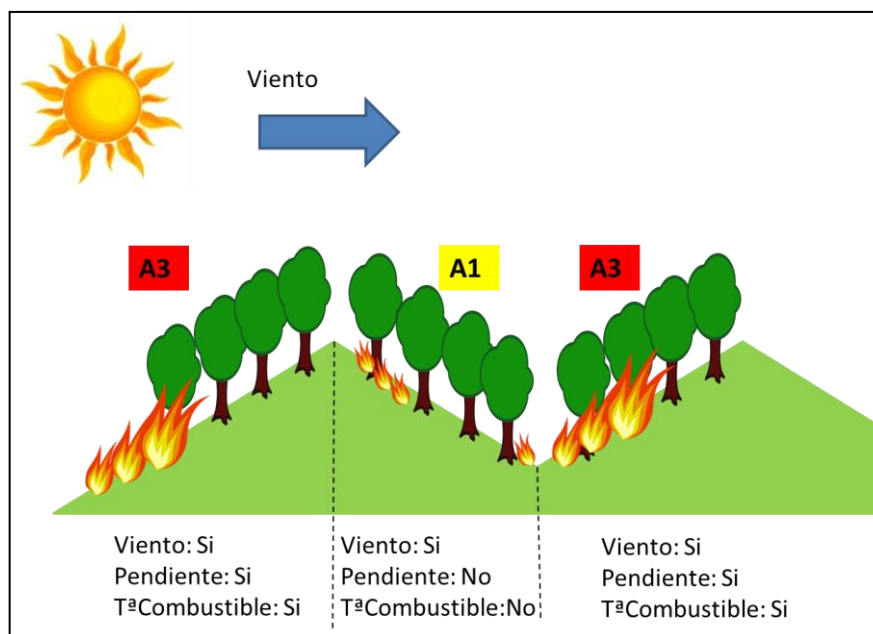


Figura 46. Ejemplo de cambio de alineación a mejor y cambio a peor. Elaboración propia.

Siguiendo con el ejemplo anterior, el incendio que ahora está descendiendo por la ladera con baja alineación (A1 + viento) cuando llegue al fondo de la quebrada va a sufrir un cambio del comportamiento debido a que la pendiente y la exposición se alinearán con el viento pasando a plena alineación (A3). En este caso el punto de cambio se considerará como punto crítico por ser un cambio A PEOR.

Analicemos otro caso, supongamos que tenemos un incendio situado a media ladera, mediante el análisis Campbell analizaremos las fuerzas e identificaremos los puntos dónde se van a producir cambios en la alineación de estas fuerzas. En este caso queremos saber qué condiciones se darán si el incendio supera los puntos 1 y 2 señalados en la figura siguiente.

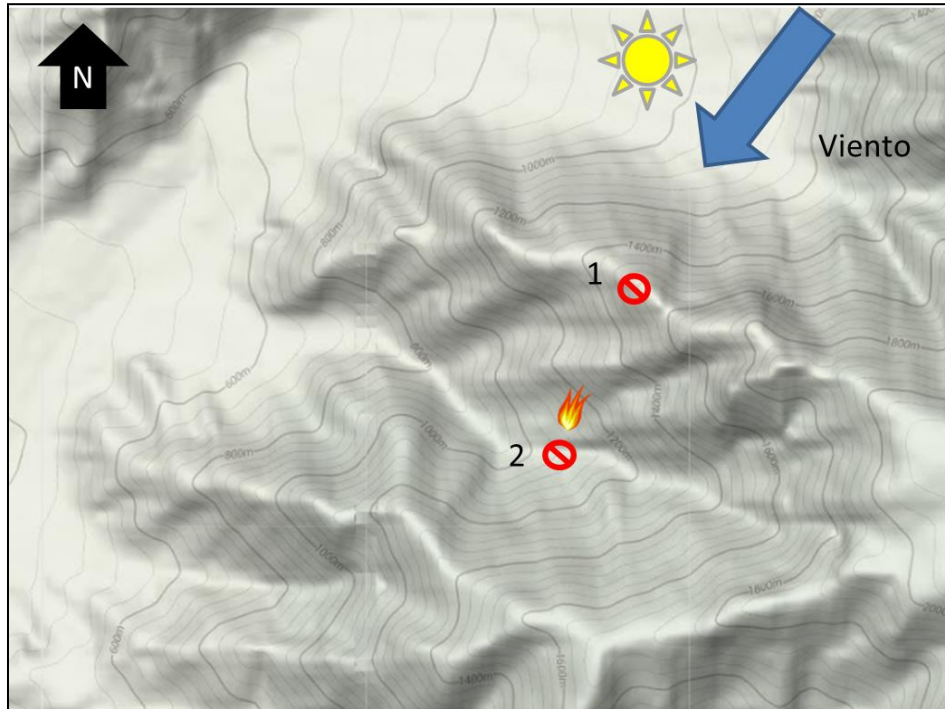


Figura 47.Cuál será la alineación de las fuerzas si el incendio sobrepasa los puntos señalados. Fuente: Elaboración propia.

El frente del incendio avanza en media alineación (A2) a favor de pendiente por combustible caliente y con viento en contra. La cola del incendio también está en media alineación A2 pero con pendiente en contra y viento y combustible a favor. Analicemos ahora cual será la evolución del incendio en los puntos indicados en la figura.

En el punto 1, el frente del incendio que está en media alineación (A2), una vez corone la ladera pasará a baja alineación (A1) y empezará a descender con pendiente y viento en contra y sólo tendrá la temperatura del combustible a favor. Al producirse un cambio en la alineación de las fuerzas tendremos un punto de inflexión que será a mejor debido a su desalineación. Este punto se establece como una oportunidad en la que se tendrá que valorar si es posible o no el control en este punto.

¿Qué pasará si la cola del incendio que va descendiendo por la ladera sobrepasa en el punto 2? En este caso el incendio que tiene media alineación (viento y temperatura del combustible) pasará a alinearse también con la pendiente, pasando de media a plena alineación, por lo que el punto de inflexión se identificará como punto crítico en dónde el comportamiento del incendio será a peor respecto al que presenta actualmente.

De este análisis podemos concluir:

- A partir del punto 1 el incendio tendrá baja alineación a lo largo de la ladera con un comportamiento atacable. Estamos dentro de capacidad de control, aprovechamos la OPORTUNIDAD que nos ofrece el incendio.
- A partir del punto 2 el incendio tendrá plena alineación. Si no se establece control antes del punto 2 el incendio crecerá fuera de nuestra capacidad de control, quemando toda la ladera Norte, teniendo que esperar a que se dé una nueva oportunidad para su control. En este caso priorizamos sobre el POTENCIAL del incendio.

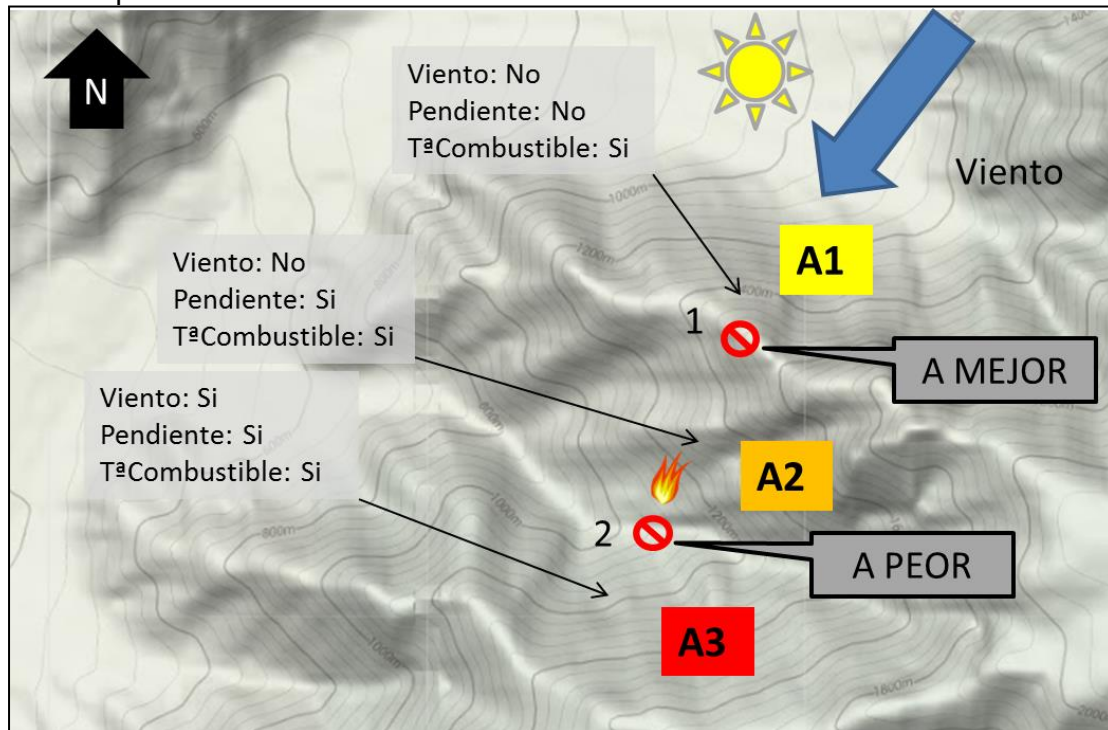


Figura 48. Identificación de puntos de inflexión a mejor y a peor. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Mediante la localización de estos puntos en el territorio se identificarán las zonas dónde se producirán cambios en el comportamiento del fuego, siendo una herramienta muy útil para valorar la capacidad de control y la selección de estrategias y tácticas ganadoras.

3.5 Carreras potenciales

Carrera potencial: superficie y distancia que se prevé recorra el fuego bajo una misma alineación de fuerzas según el análisis Campbell.

En el análisis del comportamiento el paso de una menor a una mayor alineación de las fuerzas se considera como carrera potencial. Esta mayor alineación puede producirse porque el incendio llega a un punto crítico ganando alineación, o bien porque estando el incendio posicionado en una misma zona o lugar este gana alineación. Esto puede darse debido a un cambio de viento, o por pasar de combustible frío a caliente, o porque un fuego superficial descendiendo pasa a un fuego de copas ascendente.

Las carreras potenciales con peor comportamiento serán las que se alineen en media y plena alineación.

En las siguientes figuras se observa como en las primeras horas de la mañana, el combustible arde con dificultad debido a la alta humedad y baja temperatura, de ahí las columnas blancas, el fuego primero tiene que eliminar el contenido de humedad de los combustibles. A medida que avanza la mañana el combustible va calentándose (subiendo la curva) y justo al mediodía se produce una carrera con plena alineación de las fuerzas: topografía y viento a favor (S-SW) y combustible caliente (exposición S-SE).

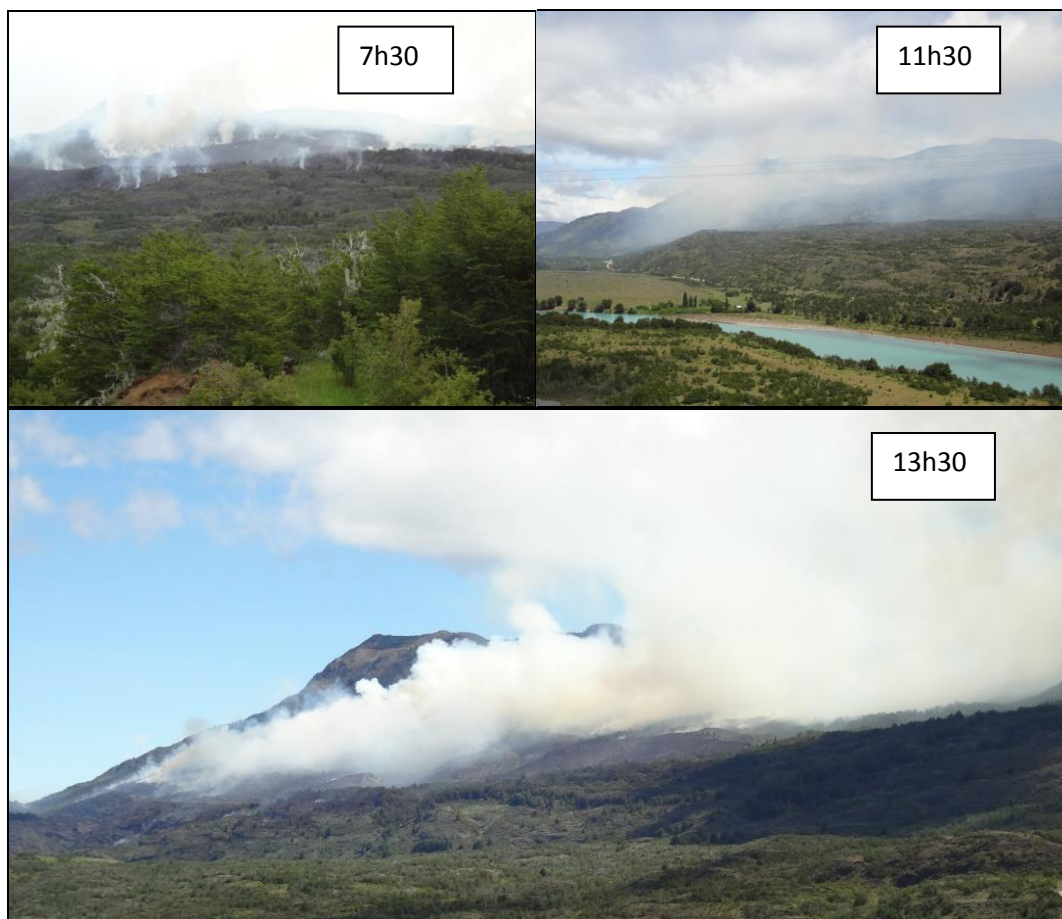


Figura 49. Secuencia de imágenes del incendio Aldo Luna durante el día 27/11/2012

Con el análisis Campbell se pueden identificar estas alineaciones, y tomando el ejemplo anterior podemos predecir que dónde haya plena alineación de las fuerzas, el comportamiento será similar y fuera de nuestra capacidad de control. Siguiendo con el análisis las zonas dónde se pierda alineación, el comportamiento esperado será menor pudiendo ser estas oportunidades para el control.

En esta otra sucesión de imágenes se observa como a partir de uno de los flancos que va descendiendo con baja alineación, A1: +Exposición, empieza por generarse una columna humeante que acaba desarrollando una carrera con plena alineación (A3), mostrando un comportamiento con alta intensidad y alta velocidad de propagación. Con estas observaciones en terreno podremos predecir comportamientos similares en zonas donde también exista plena alineación según Campbell y se pondrá especial atención en situaciones parecidas.



Figura 50. Incendio Quebrada Escobar del día 01/01/2014. Se observa el rápido desarrollo de un foco, tanto en velocidad como en intensidad, que generó una carrera en plena alineación. Fuente: CONAF.

Analicemos el siguiente escenario:

Son las 9h de la mañana. El incendio está situado en la base de la ladera norte con viento débil y componente NE. Se prevé un cambio de viento de débil a moderado y dirección SW a las 15h. Con esta información junto con el mapa del relieve, predecir el movimiento potencial del incendio y sus carreras para las próximas 8 horas teniendo en cuenta la alineación de fuerzas.

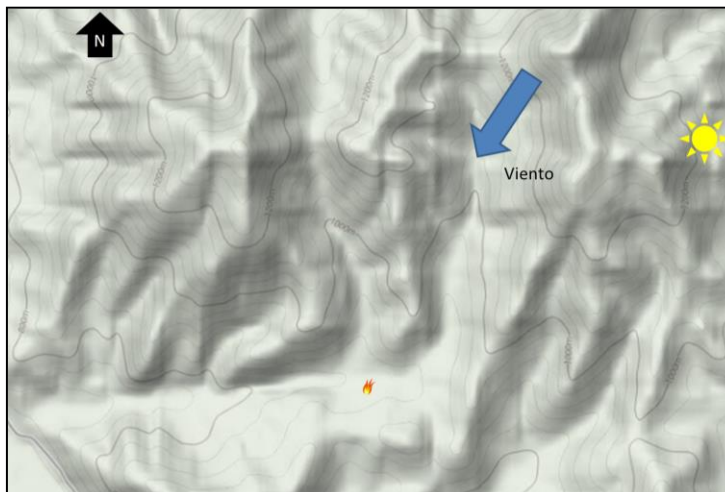


Figura 51. Situación inicial del incendio sobre mapa de relieve. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

En estas condiciones la cola del incendio tiene el viento y la pendiente en contra mientras la cabeza del incendio está alineada con el viento y la pendiente. En ambos casos el combustible se

considera frío por estar en ladera con exposición norte pero sabemos que a lo largo de la mañana se irá calentando (subiendo la curva).

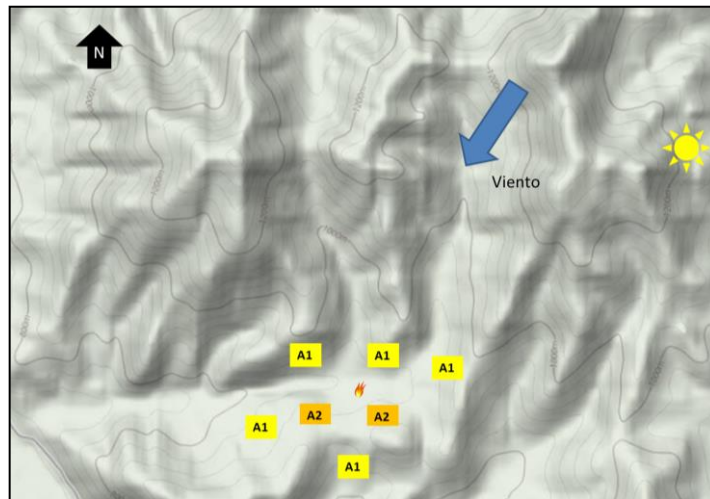


Figura 52. Alineación de fuerzas a las 9h. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

El perímetro en rojo de la siguiente figura representa la evolución prevista del incendio a las 14h (antes del cambio de viento). El incendio ha avanzado pasando de media alineación (A2) a plena alineación (A3) debido al calentamiento del combustible. Las laderas sur del mismo valle ganan alineación debido a la temperatura del combustible mientras las oeste están en baja o media alineación según el viento.

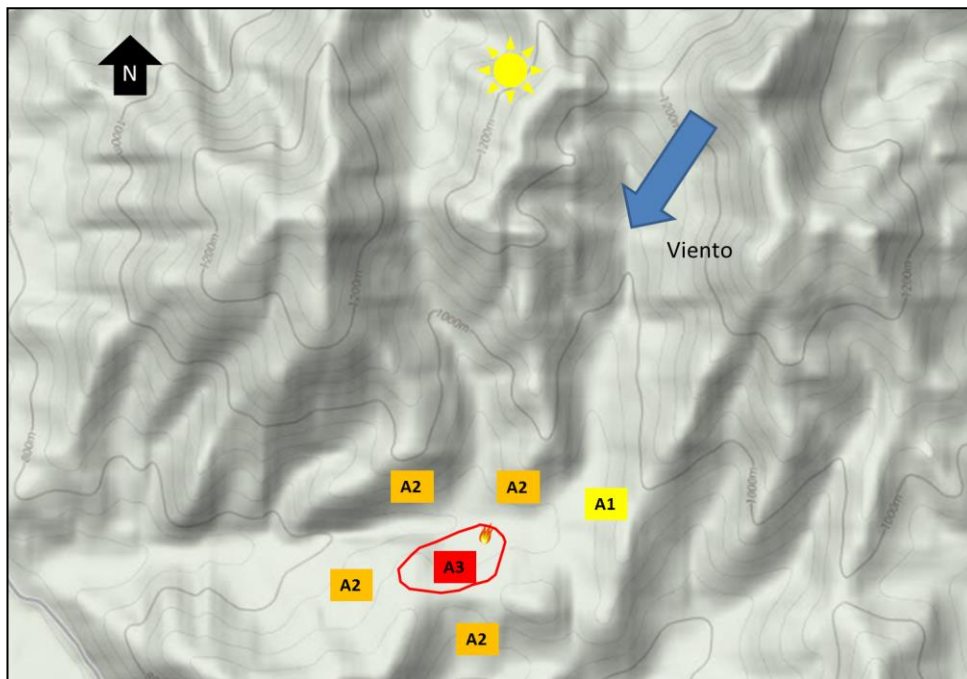


Figura 53. Evolución prevista del incendio a las 14h. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

A partir de las 15 horas se produciría el cambio de viento previsto, variando de dirección NE a SW y aumentando de intensidad. Con estas condiciones el avance del frente del incendio disminuye notablemente (baja alineación, viento y pendiente en contra) mientras que la cola y el flanco izquierdo impulsados por el viento se abrirían ganando alineación al superar los puntos críticos generando dos carreras potenciales a lo largo de las laderas sur y suroeste que estarán en plena alineación (A3) al tener a favor de la propagación el viento, la pendiente y temperatura del combustible (subiendo la curva, laderas SW-W).

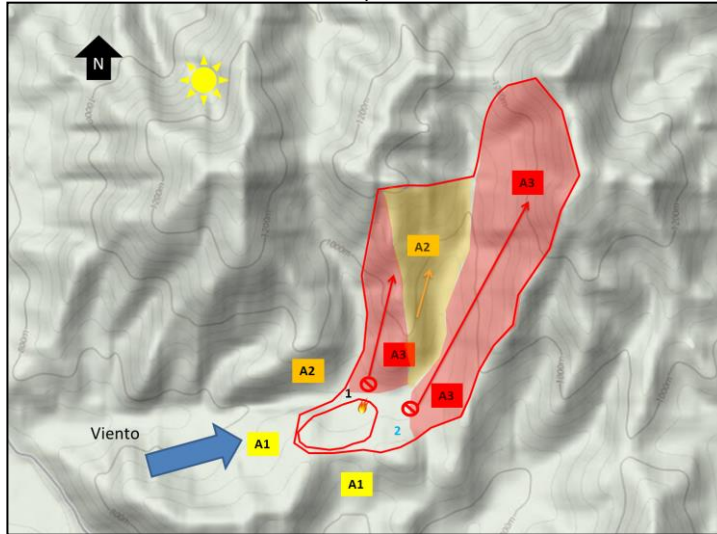


Figura 54. Carreras potenciales y evolución prevista del incendio a partir de las 15h. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Habiendo determinado las alineaciones y carreras potenciales se obtiene una aproximación del movimiento potencial del incendio para las próximas 8 horas. Se han identificado dos puntos críticos a partir de los cuáles el incendio tomará plena alineación debido al cambio de viento previsto para las 15 horas. La oportunidad pasa por establecer control sobre el punto 1 (cola) y 2 (flanco izquierdo) antes de que el viento cambie y el incendio desarrolle todo su potencial. Una vez establecido el control en los puntos 1 y 2, y habiendo cambiado el viento, se atacará la cabeza del incendio que pasa a ser cola (punto 3) aprovechando el cambio de alineación (de A3 a A1) para seguir confinando por los flancos hasta cerrar el incendio.

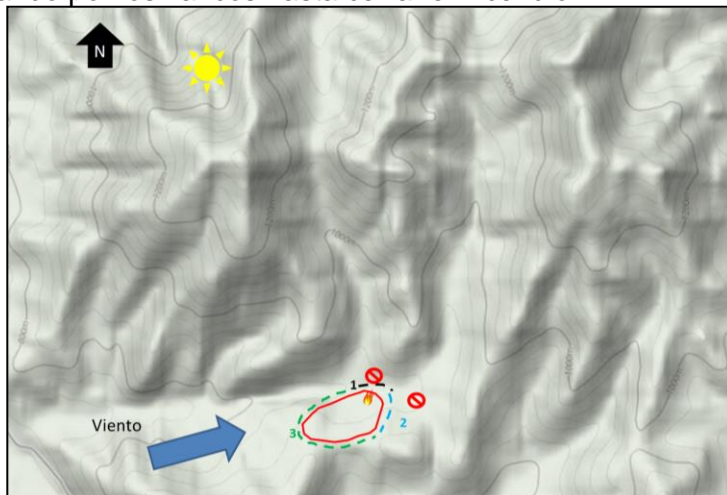


Figura 55. El control sobre la cola (1) y el flanco izquierdo (2) del incendio evita que el incendio sobrepase los puntos críticos, finalmente se cierra el incendio a partir del punto 3. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

3.6 Ventana de actuación

La ventana de actuación es la posibilidad de hacerlo y tiempo que se dispone para implementar una maniobra de control para evitar que el fuego llegue a un punto crítico o para aprovechar la oportunidad en un punto de inflexión a mejor.

En otras palabras, si mis unidades serán capaces de controlar el incendio antes de que este llegue a ese punto. En caso afirmativo estaré dentro de ventana de actuación y en caso contrario estaré fuera de ventana por lo que se deberá buscar otra ubicación con el fin de asegurar la integridad de mis unidades.

Tomando como ejemplo el explicado en el punto anterior (Carreras potenciales) diríamos que la ventana de actuación para controlar la cola y el flanco izquierdo del incendio se establece entre las 9h y las 15h, ya que a partir de esa hora se prevé la entrada del viento SW.

En este otro ejemplo el incendio está mostrando una oportunidad (viento y pendiente en contra), la ejecución de una quema de ensanche anclada en el camino que se observa a la derecha de la imagen nos permitiría el control sobre la cola del incendio. Al valorar la distancia y el tiempo que se tardaría en ejecutar la quema se determina que se está dentro de Ventana actuación.



Figura 56. El camino de la derecha ofrece una oportunidad de control que se ejecuta por estar dentro de ventana de actuación. Fuente: CONAF.

En el incendio de Chiguayante del año 2009, se determinó la ejecución de una línea cortafuego para establecer el control de uno de los sectores del incendio, aprovechando la oportunidad que brindaba el punto de inflexión a mejor que había antes del cambio de pendiente. La oportunidad estaba dentro de la ventana de actuación y la línea fue un éxito pero el salto de una pavesa deshizo todo el trabajo realizado. En la figura siguiente se observa la mayor intensidad del fuego cuando sobrepasa la línea cortafuego y la generación de carreras en plena alineación (A3).



Figura 57. El fuego supera la línea de control realizada (línea roja) generando carreras en plena alineación. (Incendio de Chiguayante 2009). Fuente: CONAF.

3.7 Lenguaje de comunicación

Con el fin comunicar la información obtenida del análisis del comportamiento de una forma homogeneizada, estructurada y entendible al resto del operativo de extinción se propone el siguiente protocolo de lenguaje.

1. Identificación del tipo de incendio
2. Identificar la fuerza dominante del frente + Alineación por sectores
3. Umbral de control para cada sector (según valor de comportamiento observado)
4. Identificar Puntos de inflexión
5. Predicción: Carreras potenciales y Ventana de actuación

4 GLOSARIO

Factor dominante en la propagación del incendio o motor del incendio: Factor de mayor influencia en la propagación del incendio, entre el viento, topografía o combustible.

Un incendio propagado predominantemente por el viento se denominará “incendio de viento”. Un incendio propagado predominantemente por la topografía se denominará “incendio topográfico”. Un incendio propagado predominantemente por el combustible se denominará “incendio de combustible o de convección”.

Área potencial: Máxima superficie que podría tener el incendio en las condiciones determinadas por el factor dominante en la propagación.

Collado: Es el punto más bajo de una línea de cumbres comprendido entre dos elevaciones.

Línea de cumbres: línea imaginaria que une las cumbres de los cerros en una cadena montañosa.

Cuenca hidrográfica: Porción de un territorio con cumbres y quebradas donde las aguas fluyen naturalmente hacia un mismo estero, río, lago o mar.

Fuerzas locales del incendio: cada una de las tres características identificadas por el sistema de predicción de Campbell como las principales en el comportamiento del fuego en un lugar dado del incendio.

Alineación de fuerzas: Mayor o menor coincidencia entre sí, en una parte o sector del terreno, de las fuerzas del incendio favoreciendo la propagación del incendio. Puede ir de nula, una, dos o las tres fuerzas alineadas.

Punto de inflexión o de cambio: Lugar en el terreno donde se produce un cambio en la alineación de las fuerzas, a mejor (oportunidades) o a peor (punto crítico), según el sistema de predicción de Campbell.

Punto crítico: Lugar donde se suman o alinean más fuerzas a la o las actuales. En este punto el incendio irá a peor, el comportamiento será más severo y, por lo general, fuera de la capacidad de control.

Oportunidad: Lugar donde la o las fuerzas alineadas perderán alineación, brindando así una posible ocasión de controlar al incendio.

Carrera potencial: Superficie y distancia que se prevé recorra el fuego bajo una misma alineación de fuerzas, según el análisis Campbell.

Ventana de actuación: Posibilidad de hacerlo y tiempo que se dispone para implementar una maniobra de control para evitar que el fuego llegue a un punto crítico o para aprovechar la oportunidad en un punto de inflexión a mejor.

Capacidad de control: Capacidad de la organización y recursos de combate para controlar y extinguir un incendio forestal, según la magnitud del comportamiento del fuego.

Lenguaje de comunicación: Sistema utilizado para transmitir la información obtenida del análisis del comportamiento de manera homogeneizada, estructurada y entendible al resto del operativo de extinción.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Grillo, F., Castellnou, M., Molina, D., Martinez, E., Díaz, D.. *Análisis del incendio forestal: Planificación de la extinción*. Ed. AIFEMA, 2008.

Fire and Rescue Service: Wildfire Operational Guidance. The Scottish Governement, 2013.
<http://www.scotland.gov.uk/Resource/0043/00436138.pdf>

Campbell, D. 1995. *The Campbell Prediction System: A Wild Land Fire Prediction System & Language*. D. Campbell ed. 129 p. <http://www.dougsfire.com/>

Costa, P., Castellnou, M., Larrañaga, A., Miralles, M., Kraus, D.. *La prevención de los grandes incendios forestales adaptada al incendio tipo*. E. FireParadox, Bombers, EFI. 2011.
http://www.paucostafoundation.org/single_referencies_escrites.php?id=5&categoria=7

Sistema Estadístico de CONAF. Años 1964-2013. Corporación Nacional Forestal, Gerencia de Protección Contra Incendios Forestales, CONAF.

Sistema de Información Digital para Control de Operaciones, SIDCO. Corporación Nacional Forestal, Gerencia de Protección Contra Incendios Forestales, CONAF.