



Plan Nacional de Manejo del Fuego
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

ISSN 2313-9420



Secretaría
de Ambiente
y Desarrollo
Sustentable



Jefatura de
GABINETE de Ministros

Evaluación de peligro de incendios.
Informes técnicos

El Incendio de Baradero de 2008: un caso de comportamiento extremo del fuego.

Dentoni, M. C.
Zacconi, R. G.
Marcuzzi, E. A.



**Programa Nacional de Evaluación
de Peligro de Incendios y Alerta Temprana**

INFORME
TÉCNICO N°
9



Secretaría
de Ambiente
y Desarrollo
Sustentable



Jefatura *de*
GABINETE *de* Ministros

Evaluación de peligro de incendios. Informes técnicos

Informe Técnico N°9

El Incendio de Baradero de 2008: un caso de comportamiento extremo del fuego.

Autores: M. C. Dentoni, R. G. Zacconi y E. A. Marcuzzi

Editores: Plan Nacional de Manejo del Fuego. Programa Nacional de Evaluación de Peligro de Incendios y Alerta Temprana.

Ruta 259 Km 4 - Esquel, Chubut, Argentina.

Publicación seriada de periodicidad irregular. ISSN 2313-9420 - Octubre de 2013.

**Evaluación de peligro de incendios
Informes técnicos**

Informe Técnico N° 9

.....

**El Incendio de Baradero de 2008:
un caso de comportamiento extremo
del fuego**

M. C. Dentoni^{1,2}, R. G. Zacconi¹ y E. A. Marcuzzi^{1,2}

1. Plan Nacional de Manejo del Fuego,
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable
2. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

Esquel, Chubut, Argentina

ISSN 2313-9420

Enero de 2014

Programa Nacional de Evaluación
de Peligro de Incendios
y Alerta Temprana

Plan Nacional de Manejo del Fuego
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

*A la memoria de María José Gimenez
y María de los Angeles Silva*

Bomberos Voluntarios de Baradero

Destacamento Alsina

“Para que no vuelva a suceder”



Prólogo

.....

La importancia de documentar y estudiar los incendios, ha sido reconocida en reiteradas oportunidades tanto por parte del personal de operaciones de manejo del fuego como de numerosos investigadores [1]. La recopilación de datos sobre el comportamiento de los fuegos, asociada a la descripción de la situación meteorológica, de la vegetación y de la topografía en la que éstos se desarrollan, permite conocer las condiciones ambientales asociadas a incendios de distinta magnitud.

Los estudios de caso, resultan de gran utilidad para diversas aplicaciones: son fuente de datos para el desarrollo de modelos de predicción del comportamiento del fuego; ayudan a estudiar los efectos del fuego en el ambiente; se utilizan para el entrenamiento del personal de operaciones y, principalmente, permiten desarrollar estrategias y tácticas, que mejoren la seguridad de los combatientes y de la población en general. Hay dos razones principales para hacer estudios exhaustivos del comportamiento del fuego mediante estudios de caso [1]:

- » Aprender de ellos, minimizando así la posibilidad de cometer de nuevo el mismo error, y
- » Prepararnos para que no nos tome distraídos, un cambio en el comportamiento del fuego en un determinado tipo de combustible y bajo ciertas condiciones meteorológicas.

El primer estudio de caso hecho en Argentina, fue el del incendio ocurrido en Puerto Madryn en 1984, en el que perdieron la vida 25 bomberos voluntarios de dicha localidad. La posibilidad de caracterizar las condiciones ambientales que condujeron a dicho evento, causó gran impacto en la comunidad de fuego del país. La información obtenida fue y es actualmente utilizada

en innumerables actividades de capacitación a brigadistas, bomberos, y otros técnicos y profesionales relacionados al manejo del fuego.

En este trabajo, analizamos los factores que causaron el comportamiento del incendio ocurrido en las cercanías de las localidades de Alsina y Baradero en agosto del 2008, con el objeto de poder anticipar situaciones similares en el futuro. Asimismo, describimos las características de los fuegos de comportamiento extremo, para ayudar a que el personal de combate pueda identificarlas y no vuelva a exponerse a situaciones de alto grado de peligrosidad.

Dado que, tanto los factores ambientales que conducen a este tipo de incendios, como las características de su comportamiento son muy complejos, consideramos oportuno dividir el trabajo en dos partes: en una primera parte, hacemos una descripción de las condiciones que se asocian a este tipo de fuegos, basada en una exhaustiva revisión de la bibliografía existente sobre el tema, con especial énfasis en aquellas que ayudan a la comprensión de este caso en particular; en la segunda parte, analizamos específicamente el comportamiento del incendio en cuestión y de los factores ambientales asociados al mismo.

Primera parte

.....

Los grandes incendios: características y factores ambientales asociados

1. Introducción

En ocasiones, los combatientes de incendios forestales y rurales enfrentan situaciones difíciles cuando el fuego tiene un comportamiento atípico, que hace imposible el ataque directo, y para las que muchas veces están poco preparados [2]. En esos casos el comportamiento se define como “extremo”, presentando una o más de las siguientes características: alta intensidad calórica, rápida propagación, gran cantidad de focos secundarios, presencia de torbellinos de fuego, o columnas convectivas de gran desarrollo [3]. Una característica común a todos los fuegos extremos, es que no tienen comportamiento estable, propagando de una manera diferente que un fuego de superficie uniforme, especialmente porque presentan rápidos incrementos en la velocidad [4].

El comportamiento extremo, es particularmente característico, aunque no exclusivo, de los denominados “grandes incendios”. El término “grandes incendios” hace referencia a fuegos violentos, que afectan y son afectados por los procesos atmosféricos desde varios cientos a varios miles de metros, por encima de la cama de combustibles ¹(estrato de combustibles superficiales). Los fuegos pequeños, en cambio, están gobernados por las propiedades de la cama de combustibles en la que este se desarrolla y por los movimientos del

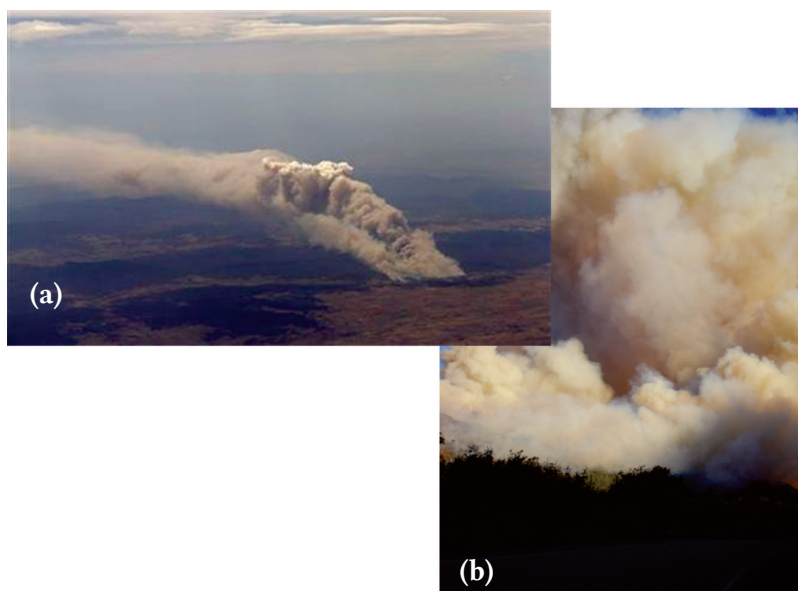


Figura 1. Imágenes de la columna convectiva de incendios: (a) dominado por el viento y (b) dominado por la convección.

¹ Estrato de combustibles superficiales, compuestos por elementos con determinadas propiedades físicas y químicas; los mismos conforman una estructura con una determinada distribución espacial.

aire unos pocos metros por encima de la misma [5]. Se dice habitualmente que los grandes incendios generan su “propio tiempo meteorológico”, ya que pueden modificar variables como la temperatura, humedad y viento a su alrededor. Cabe destacar que, de acuerdo con estos criterios, incendios que abarcan una extensa superficie no son necesariamente grandes incendios. Un incendio que afecta un área extensa, pero que tiene una tasa baja de liberación de energía, no genera usualmente el comportamiento característico de los grandes incendios [6].

Los grandes incendios son causa de gran parte de los accidentes que ocurren durante el combate del fuego y que, en muchos casos, cuestan la vida de los combatientes. También presentan un enorme peligro para la población, especialmente cuando afectan áreas de interfase urbano-rural. Por este motivo, este tipo de eventos fue objeto de numerosos estudios. Se vio así, que no todos tenían las mismas características, surgiendo diversa terminología para identificar las distintas formas en que estos pueden presentarse. Tradicionalmente se clasificaron en dos grupos principales: los dominados por el viento, llamados “conflagraciones”, que presentan un frente de fuego definido, que se desplaza de acuerdo con el viento y la topografía; y los denominados “tormentas de fuego” o “fuegos en masa”, que son dominados por la convección [6], [7], y que presentan comportamiento impredecible y errático [8].

Como es sabido, la manera en que un fuego se comporta momento a momento, responde a una compleja interacción entre la vegetación afectada, la topografía en la cual se desarrolla y las condiciones meteorológicas. En algunas ocasiones, estos factores se conjugan de manera tal, que generan el ambiente propenso para la ocurrencia de grandes incendios.

El combustible puede considerarse el principal factor que controla el comportamiento del fuego [6], por generar la energía que éste libera; sin embargo, sus características y estado, están fuertemente condicionados por el terreno en el que se encuentran, y por la evolución de las condiciones meteorológicas antes y durante la ocurrencia del fuego. Períodos de sequía previos al inicio del fuego, favorecen la disponibilidad de los combustibles; abundantes precipitaciones en determinadas épocas pueden generar una mayor cantidad de biomasa, que posteriormente estará disponible para arder; cambios meteorológicos durante el desarrollo de un incendio pueden modificar el contenido de humedad de los combustibles, entre otros ejemplos.

Además de sus efectos a través de los combustibles, la atmósfera interactúa de diversas formas con el fuego, afectando a los procesos de combustión y al permanente intercambio de energía y masa entre el combustible que arde y el aire. Los efectos más obvios de la atmósfera sobre el fuego, son los cau-

sados por la temperatura, la humedad o el viento que se observan cerca de la superficie, a la altura en la que se desarrolla el fuego. Durante mucho tiempo, el conocimiento científico se limitaba a que el tiempo más caluroso, seco y ventoso, se asociaba a fuegos más intensos [7]. Estudios posteriores, mostraron que la interacción atmósfera fuego es mucho más compleja y que para entenderla no basta con analizar lo que sucede en la superficie, sino que es necesario tener información de la atmósfera a alturas de hasta miles de metros por encima de aquella donde se desarrolla el incendio.

También la topografía, da lugar a fenómenos meteorológicos que afectan significativamente al fuego, como los vientos de valle y pendiente, las brisas generadas por grandes cuerpos de agua, o la canalización de los vientos entre otros.

2. Las distintas escalas espaciales y temporales de los fenómenos meteorológicos

El estado del tiempo en un momento y lugar determinados (la temperatura, la humedad, el viento, etc), es el resultado de diversos fenómenos que se desarrollan en la atmósfera y que tienen dimensiones distintas, tanto en el espacio como en el tiempo. Algunos de estos fenómenos afectan áreas muy pequeñas y son de muy corta duración, mientras que otros afectan grandes áreas y duran semanas y hasta meses.

Se denomina *fenómenos de microescala* a aquellos que tienen dimensiones espaciales de unos pocos metros y duran algunos minutos. Un ejemplo, son los torbellinos de polvo que se observan frecuentemente en el campo (Fig. 2) o los que se forman sobre superficies recientemente quemadas.



Figura 2. Imagen de un torbellino de polvo.

Los fenómenos de *mesoescala* afectan áreas que van desde unos pocos kilómetros hasta alrededor de los 100 kilómetros y su duración varía entre varios minutos y algunas horas. Los vientos de pendiente o de valle propios de las regiones montañosas, son un ejemplo de los fenómenos de esta escala (Fig. 3).



Figura 3. El comportamiento de este incendio, está afectado por la topografía y los vientos locales que esta genera.

Las circulaciones de *escala sinóptica* afectan áreas de cientos y hasta de miles de kilómetros. Los fenómenos de esta escala se representan en las denominadas *cartas sinópticas*, utilizadas para elaborar los pronósticos del tiempo (Fig. 4).

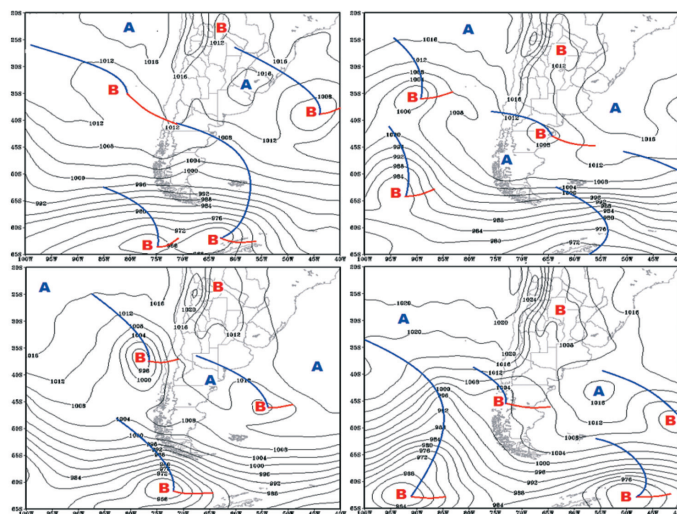


Figura 4. Ejemplo de cartas sinópticas utilizadas para elaborar el pronóstico del tiempo, en las que se observa la distribución de las isobaras y se indican los centros de alta (A) y de baja (B) presión.

Son ejemplos de esta escala los ciclones y anticiclones (grandes centros de baja y alta presión respectivamente), y los frentes. La observación y estudio de los patrones de esta escala, asociados a períodos críticos de fuego, permite caracterizarlos resultando una herramienta de suma utilidad para pronosticar con suficiente anticipación situaciones similares [9].

Los fenómenos de mayor escala se denominan de *escala global o planetaria*, y tienen una duración de semanas o meses, como por ejemplo el fenómeno conocido como *El Niño*. Las sequías prolongadas, responden a este tipo de fenómenos.

3. Estabilidad atmosférica y desarrollo de las columnas convectivas

El término “convección”, hace referencia a movimientos en un fluido que causan el transporte y mezcla de sus propiedades. En meteorología, la convección se refiere a movimientos que son predominantemente verticales. De aquí deriva el término “columna convectiva”, nombre que se da a la columna que genera un fuego, compuesta por el humo y las pavesas.

La convección es provocada por el efecto del mayor calentamiento de una superficie, en relación a otras a su alrededor; el aire en contacto con la superficie más caliente alcanza mayor temperatura y menor densidad, que el aire a su alrededor y entonces asciende. Por ejemplo, las nubes de tipo cúmulos son generadas por este fenómeno. Cuando el aire asciende se enfría, y si contiene suficiente humedad, se forman gotitas que dan origen a la nube. En algunos casos, las condiciones atmosféricas favorecen un mayor desarrollo de estas nubes, que pueden llegar a convertirse en “cumulonimbos” (nubes de tormenta). El gran calentamiento del aire que produce el fuego de un incendio, genera las columnas convectivas que, al igual que los cúmulos, pueden alcanzar la fuerza de tormentas.

La “estabilidad” es una condición atmosférica que se relaciona con el mayor o menor grado de resistencia de la atmósfera a los movimientos verticales de ascenso y descenso del aire. Cuando la atmósfera está estable, los movimientos del aire son predominantemente horizontales, mientras que en una atmósfera inestable son predominantemente verticales.

Durante un incendio, es más probable que la columna de convección alcance un gran desarrollo vertical en una atmósfera inestable que en una atmósfera estable (Fig. 5). En realidad, se produce un juego entre la fuerza as-

cedente generada por la energía liberada por el fuego y la atmósfera; cuanto más estable esté la atmósfera, mayor cantidad de energía deberá liberar el fuego para que la columna de convección se desarrolle en la vertical. Si dos fuegos liberan igual energía calórica bajo diferentes condiciones de estabilidad, el desarrollo de la columna de convección será mayor en el que se encuentre en una atmósfera más inestable.



Figura 5. La inestabilidad atmosférica, favorece el desarrollo de este tipo de columnas.

Los movimientos turbulentos de ascenso y descenso que se producen cuando hay inestabilidad, ayudan a la mezcla de aire entre distintos niveles de la atmósfera. De esta forma, la turbulencia puede traer a la superficie aire con distinto contenido de humedad desde niveles superiores [7]. Asimismo, esta mezcla mecánica, puede también traer a la superficie los vientos de altura, cambiando abruptamente la velocidad y/o dirección del viento en superficie, y por lo tanto la velocidad y/o dirección de propagación del fuego.

Considerando que la estructura vertical de la atmósfera tiene influencia sobre el desarrollo de la columna convectiva, sobre la propagación del fuego y sobre otros aspectos del comportamiento del mismo, Haines [10], desarrolló el Índice de Severidad de la Baja Atmósfera, más conocido como “Índice de Haines”. Este índice considera la variación con la altura de dos variables que afectan a la estabilidad atmosférica: la humedad y la temperatura. Estas dos variables son evaluadas para el cálculo del índice de Haines, en una capa de la atmósfera alejada de la superficie, minimizando así los efectos de la misma [10]. La capa de aire elegida, depende de la altura en la que se desarrolla el fuego; por ejemplo; para un fuego que se desarrolla a nivel del mar, se considera la diferencia de temperatura entre los 500 y 1500 m.s.n.m. y la humedad en uno de los dos niveles. Este índice aumenta, cuanto mayor es la diferencia

de temperaturas entre dos alturas y cuanto mayor es la sequedad de la atmósfera en uno de los dos niveles, dando cuatro rangos de severidad: muy bajo; bajo; moderado y alto.

4. Perfiles de viento² asociados a grandes incendios

En los incendios dominados por la convección, la fuerza generada por la energía que libera el fuego, vence a la fuerza de la atmósfera y la columna se extiende en la vertical sin estar quebrada por el viento, situación que se ve favorecida por vientos leves a lo largo de la extensión de la columna. Puede suceder que, a una cierta altura, la fuerza del viento aumente y sea mayor que la fuerza convectiva generada por el fuego, y que la columna entonces se quiebre (Fig. 6).

Vemos entonces, que así como es importante analizar la estabilidad atmosférica para saber cuál será el comportamiento del fuego, también es importante conocer como varía el viento con la altura.

Generalmente, la velocidad del viento aumenta con la altura (Fig. 7c); en estos casos, la columna se inclina a escasa altura sobre el fuego y la dirección de propagación del fuego es predecible. Hay situaciones en particular, en las

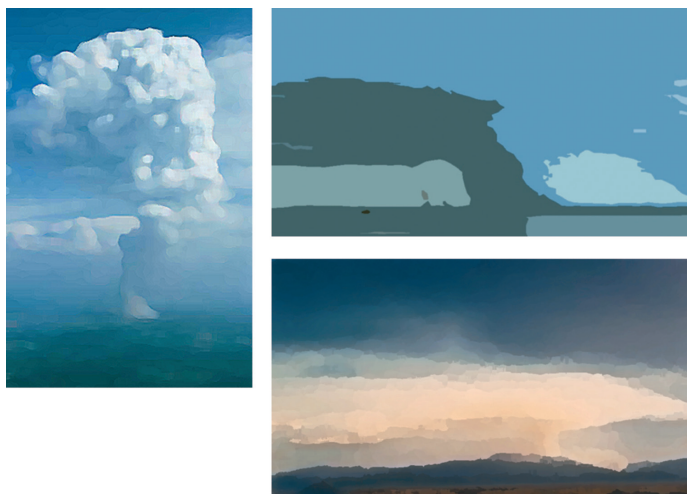


Figura 6. Diferentes desarrollos de las columnas convectivas, de acuerdo con la energía liberada por el fuego, en relación a la estabilidad atmosférica.

² Se denomina "perfil de viento", a la variación del viento con la altura.

que la velocidad del viento se mantiene prácticamente constante o decrece (Fig. 7a). En otros casos, la velocidad del viento aumenta hasta una cierta altura alcanzando un máximo, para luego comenzar a disminuir (Fig. 7b). En esta última situación, la mezcla de aire generada por la columna convectiva del fuego, puede traer a las cercanías del mismo, aire con esa dirección y velocidad [5].

Byram [8], analizó los perfiles de viento asociados a grandes incendios que tuvieron lugar en distintos lugares en los Estados Unidos intentando identificar características comunes entre los mismos. Entre los aspectos más relevantes que encontró asociados a explosiones de fuegos dominados por la convección, se encuentran la disminución del viento con la altura en una capa de varios miles de metros sobre la superficie (ver Fig 7a) y la presencia de un máximo de viento en las cercanías de la superficie (ver Fig. 7b).

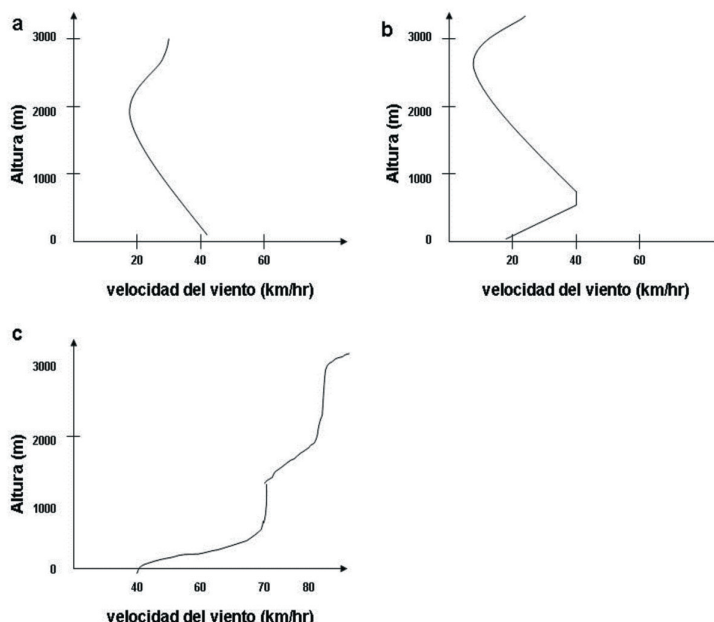


Figura 7. Algunos de los perfiles de viento asociados al comportamiento extremo del fuego, Byram [8].

5. Torbellinos de fuego

El término “vórtice” hace referencia a un flujo en rotación alrededor de un eje imaginario, que puede ser horizontal o vertical. A los efectos de este trabajo, vamos a llamar “torbellinos”, “remolinos” o “tornados” de fuego a las columnas de gas en rotación con eje vertical y “vórtices de rotor” al flujo de aire rotando alrededor de un eje horizontal.

Los torbellinos de fuego se forman dentro o cerca del fuego, y se comportan de manera similar a los torbellinos de tierra o a los tornados. Se forman y disipan de manera muy rápida y en su movimiento levantan material encendido, que puede crear numerosos focos secundarios. Sus dimensiones van desde diámetros menores a 1 m y velocidades menores a 10 m/s, hasta diámetros que pueden alcanzar los 3 km y velocidades mayores a 50 m/s [11]. Cuando alcanzan grandes dimensiones es cuando se los conoce como “tornados de fuego”, siendo su ocurrencia menos frecuente que la de los más pequeños. Sin embargo, los torbellinos resultan sumamente peligrosos para los combatientes por su comportamiento errático en velocidad y dirección y por generar focos secundarios [6].

La topografía suele ser un factor dominante en la formación de estos torbellinos de fuego; sin embargo, se forman también en terreno plano. De acuerdo con Haines y Udiak [2], asumiendo que los combustibles están disponibles, las condiciones que favorecen la formación de torbellinos en terreno plano son: 1) una capa de aire sumamente inestable cerca de la superficie; 2) poco o nada de viento y 3) es óptimo que el cielo este despejado. El autor indica que, en estos días proclives a la formación de torbellinos, la ignición de un área o perímetro como medida de control o para el ensanche de una línea, puede ser peligrosa, ya que puede favorecer su formación de torbellinos. Los torbellinos han cruzado líneas de fuego con resultados espectaculares, frecuentemente levantando pavesas y arrojándolas sobre grandes áreas.

Por todo lo dicho, los torbellinos presentan riesgos para las personas, tanto dentro como fuera del perímetro del fuego, el peligro proviene no sólo de la rápida propagación del fuego que transportan, sino también de la alta posibilidad de que contengan gases tóxicos, o deficiencia de oxígeno, tanto cuando llevan fuego como cuando no. En varias oportunidades, combatientes forestales han relatado haber sentido la falta de aire al ser alcanzados por un fenómeno de este tipo.

En relación a los vórtices de rotor, se identifican 3 tipos distintos [11]:

- » transversales: series de vórtices que se observan en la cara de la columna que enfrenta al viento, bajo condiciones de poco viento y de alta intensidad de fuego. Si bien estos vórtices no causan el comportamiento errático del fuego, su presencia indica un potencial aumento de la combustión y, en consecuencia, un cambio en el comportamiento del fuego.
- » longitudinales: su eje es paralelo al viento. A diferencia de los vórtices transversales, son observados con vientos de mayor intensidad. Pequeñas variaciones en la dirección del viento, pueden causar que el vórtice caiga hacia fuera de la columna, causando rápidas corridas de fuego en los flancos.
- » par de vórtices: se caracterizan por ser un par de vórtices rotando en dirección opuesta. Suelen presentarse a lo largo de los flancos del fuego, pero también pueden observarse en la pluma principal en la cabeza del incendio. Pueden causar concentración de viento en la cabeza, que dé lugar a la ocurrencia de “dedos de fuego”³. Cambios en el viento, pueden causar el colapso de uno o de algunos de los vórtices, llevando gases calientes y pavesas sobre el combustible que aún está sin quemar.

6. El dominio convectivo

En la década de los 50', Byram [8], comenzó a hablar de los “fuegos explosivos”, como aquellos que multiplican varias veces su liberación de energía de manera muy rápida e inesperada. Posteriormente, otros autores hablaron de “tormentas de fuego”, haciendo referencia a una convección violenta originada por una extensa superficie de fuego de alta intensidad, frecuentemente destructiva, con ráfagas convergentes a la base de una gran columna de convección, que emite pavesas a gran distancia y que a veces llega a producir vórtices con características de tornados.

Como se dijo, debido al calentamiento que produce el fuego, el aire por encima del mismo tiene menor densidad y asciende en la vertical, generándose la columna de convección. De haber viento, la fuerza en la vertical que genera el ascenso y la fuerza horizontal del viento compiten, inclinando más o menos las llamas de acuerdo a cual sea más fuerte [12]. Byram [5], introdujo el concepto de este juego entre la potencia del viento (PV) y de la convección (PC), planteando que de ser mayor la primera, el fuego estaría dominado por la energía del viento y, de ser mayor la segunda, el fuego estaría dominado por su propia energía. En la práctica, la implicancia de esto, es que cuando domina la convección, tanto la dirección de propagación como la velocidad,

³ Angostas elongaciones del perímetro de fuego que se extienden hacia el exterior del área principal producida por el mismo.

pueden cambiar inesperadamente [4]. Cuando domina el viento, la dirección de propagación es más predecible.

De acuerdo con Pyne [13], no se necesita que el fuego abarque una superficie muy extensa para que se produzca la transición al dominio convectivo, sí se requiere igniciones simultáneas o un ensanchamiento del frente de llamas. Cuando se está produciendo la transición al dominio convectivo, el humo se hace más oscuro, se definen mejor los bordes de la columna, observándose movimientos de rotación de la misma en su parte inferior [5]. Estos estados de la columna, no resultan fáciles de distinguir para los combatientes en la línea, por lo que es siempre necesario tener un observador alejado del fuego, entrenado para distinguir estas características, y con buenas comunicaciones con la línea.

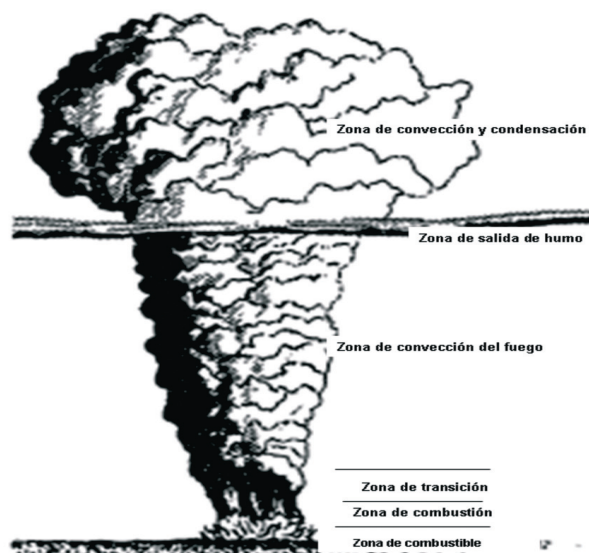


Figura 8. Zonas de una columna convectiva. Basado en Chandler [5].

La transición al dominio convectivo es muy rápida, Chandler [5], la describe así:

“Uno de los primeros signos es que las llamas se estiran hacia arriba, después el combustible que quedó sin quemar dentro del perímetro se enciende. Si el fuego está entre el combatiente y el sol, el cielo parece oscurecerse al subir humo más negro; el ruido generado por el fuego aumenta considerablemente, y las llamas pueden pulsar a intervalos de 10 a 20 segundos. Se producen aceleraciones y aumentos de intensidad muy rápidos en partes del perímetro, de haber árboles se producen coronamientos, las ráfagas convergentes al fuego se sienten en la nuca. A pesar de las ráfagas dirigidas hacia adentro del fuego, es probable que se pro-

duzcan focos secundarios a corta distancia de las líneas, ya que salen pavesas de la zona de turbulencia. Más pavesas salen del sector a sotavento del fuego, que se depositan bastante más lejos del perímetro. Al crecer los focos secundarios y unirse, el centro de la actividad de fuego se desplaza en dirección del viento o hacia arriba de una pendiente, si la hubiera.”

A partir de observaciones de grandes incendios de mucha intensidad, Countryman [6], observó que en la columna de un incendio dominado por la convección (tormenta de fuego), parecía haber 6 zonas:

- 1- Zona de cama de combustible: se extiende desde la superficie del suelo, hasta el tope de la cama de combustibles; su altura puede ir desde 1 o 2 cm hasta varios metros, dependiendo del tipo de combustible involucrado.
- 2- Zona de combustión: llamas activas, dentro y por encima de la cama de combustibles. Su altura varía, pero usualmente es menor a 30 m.
- 3- Zona de transición (turbulencia): se encuentra entre la zona de combustión y el flujo más organizado de la columna principal.
- 4- Zona de convección (térmica): se ubica entre el tope de la zona de transición y la base de la parte superior de la columna (donde ésta se ensancha y toma forma de hongo). En esta zona la energía para la convección, viene principalmente del fuego, aunque también es factible que se produzca algo de condensación de vapor de agua. La altura de esta zona varía entre 300 y 5000 m.
- 5- Zona de salida de humo: capa de poco espesor, en la base de la parte superior de la columna (cabeza del hongo). Esta zona de dispersión de humo desde la columna de convección, es característica de columnas convectivas de gran desarrollo vertical.
- 6- Zona de convección por condensación: área por encima de la zona de dispersión de humo, y hasta el tope de la columna. La columna usualmente se ensancha abruptamente en esta zona, tomando la forma de la cabeza de un hongo. Usualmente es de color claro debido a la condensación de vapor de agua o la formación de cristales de hielo. El calor liberado en la condensación, es probablemente la principal fuente de energía de convección en esta zona. No en todos los fuegos se encuentra esta zona, su formación depende las características de la masa de aire y del tamaño y energía liberada por el fuego. La extensión vertical de esta zona es variable, a veces puede aproximarse a la de la zona de convección.

Cabe destacar que este esquema, fue planteado para una tormenta de fuego estacionaria, ver Countryman [6], quien introdujo el concepto de “tormentas de fuego en movimiento”, destacando que estas últimas pueden ser las más peligrosos y destructivas por generar gran número de pavesas que pueden encender grandes áreas por delante del frente de fuego.

En los incendios dominados por la convección, se producen fenómenos extremadamente complejos dentro de la columna, cuya principal importancia reside en las modificaciones del viento a su alrededor y sus consecuencias sobre el comportamiento del fuego. El fuego reacciona ante los cambios en la dirección e intensidad del viento, cambiando su dirección y velocidad de propagación; en particular en los pastizales, estos cambios son extremadamente rápidos como se dijo, los movimientos ascendentes y descendentes dentro de las columnas convectivas, pueden traer a la superficie donde se desarrolla el fuego [4], las condiciones de viento, humedad y temperatura que ocurren en la atmósfera en altura. Un momento particularmente peligroso es el denominado “colapso” de la columna, en las cercanías del fuego, el colapso es precedido por un momento muy breve de calma, las llamas se elevan en forma vertical, se escucha un ruido extremadamente fuerte y hasta puede llegar al suelo algo de precipitación, esto es seguido por fuertes ráfagas de viento que provienen del centro de la columna.

Por todo esto, es necesario ampliar el análisis a fenómenos que se desarrollan cientos y hasta miles de metros por encima del fuego, más allá del generalmente conocido efecto de las altas temperaturas, bajos valores de humedad relativa y altas velocidades de viento en la superficie. Cabe destacar sin embargo, que lo que sucede en la altura no es ajeno a lo que sucede en la superficie, ya que la atmósfera es un único sistema en permanente cambio, y en el que se desarrollan interacciones entre sus distintas zonas, tanto en la horizontal como en la vertical.

Segunda parte

.....

**Condiciones ambientales asociadas al incendio “Baradero”
de agosto de 2008. Estudio de un caso.**

1. Introducción

El Delta del río Paraná presenta características ambientales únicas y particulares dentro de la República Argentina. En los aproximadamente 17.500 km² que cubre, se conforma un espectro de distintas comunidades, donde predominan los ecosistemas de humedal, debido a la importancia de las inundaciones causadas por los grandes ríos que lo surcan [14].

Aunque por sus características parecería raro, los humedales experimentan la ocurrencia de fuego, y en algunos casos lo hacen con una frecuencia bastante alta. En estos ambientes los fuegos suelen propagar por los combustibles ubicados por encima de la superficie, muchas veces con altas velocidades. Durante períodos de sequía prolongada, los suelos, generalmente profundos y con gran contenido de materia orgánica, entran también en combustión, dando lugar a fuegos subterráneos con gran producción de humo [15]. A diferencia de lo sucedido con el caso de los fuegos que se desarrollan en los ecosistemas terrestres, el comportamiento del fuego para diferentes cargas de combustible y bajo diferentes condiciones ambientales, ha sido escasamente estudiado en los ambientes de humedal [16].

En la región bonaerense del Delta del Paraná, los incendios ocurren a lo largo de todo el año, siendo los meses de agosto, diciembre y enero, los de mayor frecuencia de ocurrencia. El año 2008 se caracterizó por la gran ocurrencia de fuegos en esta región, que afectaron 208.960 ha [17]. El período con mayor cantidad de incendios fue abril, y las zonas más afectadas por el fuego fueron las proximidades de San Pedro, Baradero y Lima, entre el Paraná Guazú y el Paraná de las Palmas (Mapa 1). El comportamiento de las precipitaciones en los meses previos al inicio de este período de fuego, pudo haber sido una de las causas de esta situación atípica [18]. Estos fuegos afectaron capas orgánicas de suelo, generando una gran producción de humo, lo que dio lugar a la ocurrencia de varios accidentes de tránsito en la zona.

De acuerdo con los testimonios del personal que participó en el combate durante el mencionado período, en muchos casos se observó comportamiento extremo (*Com. Pers.* M. Mosiejchuk, J. Krieger y F. Arévalo), observándose inclusive remolinos de fuego de importantes dimensiones (*Com. Pers.* G. Ferraris). El día 18 de agosto de 2008, ocurrió el caso más grave en las cercanías de las localidades de Alsina y Baradero, que causó la muerte de dos agentes del Cuerpo de Bomberos de la localidad de Alsina. El análisis de las condiciones ambientales asociadas a este evento, constituirá un aporte al conocimiento del comportamiento del fuego en ambientes de humedal, ayudando a que en el futuro los combatientes no pongan en riesgo sus vidas ante situaciones similares.

2. Objetivos

2.1. General

- » Caracterizar las condiciones ambientales asociadas al comportamiento del incendio conocido como “Baradero”.

2.2. Específicos

- » Describir las características del sitio donde se desarrolló el fuego, y estimar el área afectada por el mismo.
- » Caracterizar los combustibles afectados.
- » Analizar la situación meteorológica y las condiciones de peligrosidad asociadas a este evento.
- » Evaluar el caudal del río Paraná, durante los meses previos a la ocurrencia de este incidente.
- » Reconstruir la cronología del fuego.

3. Metodología

Una extensa revisión bibliográfica y visitas al terreno, permitieron efectuar la caracterización de la zona de estudio y de los combustibles involucrados en el fuego.

El área afectada fue estimada mediante imágenes satelitales Landsat 5 Thematic Mapper (TM) de 30 m de resolución espacial, correspondientes al día 6 de octubre del año 2008. La medición de la superficie quemada, se realizó de manera visual, a través de la combinación de distintas bandas del espectro electromagnético y utilizando el algoritmo *Normalized Burnt Ratio* (NBR) [19] [20].

En el análisis de las condiciones meteorológicas, se contempló la evolución de la precipitación en la región durante los meses previos al incendio, dada su importancia sobre la productividad de biomasa y sobre la disponibilidad de agua en el suelo. Para efectuarlo, se utilizaron datos mensuales de precipitación de las estaciones Ezeiza, Gualeguaychú y Rosario del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) durante los años 2007 y 2008 y se los comparó frente al promedio 1970 al 2008.

El patrón de escala sinóptica que dominó la región los días previos a este evento y durante el desarrollo del mismo, fue analizado mediante cartas sinópticas de 1000 y 500 hPa, elaboradas por el SMN mediante el modelo nu-

mérico ETA. Las cartas utilizadas, fueron las correspondientes a las 09:00 de los días 17 y 18 de agosto de 2008.

Para el seguimiento de las condiciones meteorológicas observadas en superficie durante el transcurso del evento, se utilizaron datos horarios de temperatura, humedad relativa, y de velocidad y dirección de viento de la estación San Fernando del SMN; asimismo, se utilizaron datos de velocidad y dirección media de viento, para períodos de 15 minutos del Observatorio Agrometeorológico de la Estación Experimental San Pedro, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en adelante “San Pedro”. Dado que estos últimos datos fueron registrados a 2 m de altura sobre la superficie del suelo, se los ajustó a una altura de 10 m [21], de manera que pudieran ser comparados con los datos de la estación San Fernando. La estación San Pedro tenía asimismo registros de velocidad y dirección de ráfaga máxima para períodos de 15'. Si bien estos datos también fueron tomados a 2 m de altura, no se efectuó en este caso la corrección a 10 m, ya que se supuso que la velocidad de las ráfagas no necesariamente disminuye con la altura por fricción con la superficie. Si bien la estación San Pedro está mucho más próxima al sitio del incendio, San Fernando es una estación del SMN de fácil acceso para pronosticadores y público en general; es por lo tanto relevante analizar las diferencias que pueden presentarse entre los datos de esta estación y de otras en lugares cercanos.

Para el análisis de las variables de altura, se utilizó el radiosondeo de la estación Ezeiza del SMN, efectuado a las 09:00 HOA, y radiosondeos para la misma localidad, correspondientes a las 09:00 y 15:00HOA obtenidos de GDAS (Global Data Assimilation System) cuya fuente es: <https://ready.arl.noaa.gov/>.

Las condiciones de peligrosidad que se presentaban en la superficie, fueron analizadas utilizando el Índice Meteorológico de Peligro de Incendios FWI [22]. El FWI, es calculado diariamente con datos de las 12:00, y proyecta el grado de peligro para las 16:00. Este indicador fue calculado para el período febrero 2006-junio 2013, y el rango de valores obtenido fue dividido en percentiles. Se determinó en que percentil se ubicaba el FWI correspondiente al día 18 de agosto de 2008, con el propósito de conocer su valor relativo a los valores históricos del FWI en la zona de estudio.

Se calculó el Índice de Haines, con el objeto de evaluar el grado de peligro de desarrollo de una columna convectiva. Su cálculo se efectuó para la capa comprendida entre los 950 hPa (aproximadamente 600 m.s.n.m.) y los 850 hPa (aproximadamente 1500 m.s.n.m.), con datos del radiosondeo de las 15:00.

Se comparó el caudal mensual del río Paraná durante los años 2007 y 2008, con los caudales medios correspondientes al período 1970-2012. Para esto se utilizaron datos de la estación de aforo del Túnel Subfluvial Santa Fé - Paraná, obtenidos de la Base de Datos Hidrológica Integrada (BDHI), del Sistema Nacional de Información Hídrica.

Se reconstruyó la cronología del incendio mediante entrevistas al personal de los cuarteles de Bomberos Voluntarios de Baradero y de Alsina, y la revisión de fotografías y filmaciones del evento. Asimismo se efectuó un recorrido del área afectada, identificando los puntos relevantes para este trabajo con GPS.

4. Resultados

4.1 Características del sitio.

El área de estudio pertenece a la pampa ondulada, dentro de la llanura pampeana oriental [23], que limita con Rosario por el norte, con el Riachuelo o río Matanza por el sur, con los ríos Paraná y de la Plata por el este, y con el río Salado por el oeste (Ver Mapa 1). Todos los ríos y arroyos que la surcan, corren sub-parallelamente hacia el noreste y desaguan en el Paraná. Las ondulaciones del terreno, que varían entre 5 y 10 m, se deben en su mayor parte al trabajo erosivo de los ríos y arroyos.

El paisaje presenta una topografía suavemente ondulada, como consecuencia de la sucesión de valles e interfluvios, en general planos, modelados por los sistemas fluviales [24]. Los suelos de la Pampa Ondulada se caracterizan por su fertilidad y la facilidad para su cultivo. Estos suelos, que desde el punto de vista taxonómico se clasifican como Molisoles, se han desarrollado en el loess pampeano, de textura limosa y composición mineralógica rica en nutrientes [25].

El Delta del Río Paraná, se ha generado como consecuencia de los sedimentos que provee el río Paraná, particularmente desde la afluencia de los ríos Bermejo y Paraguay, en el Norte de la Argentina [24]. En su sector final, el río Paraná desemboca en el estuario del Río de la Plata, donde es afectado por la fuerte influencia de las mareas y de las sudestadas, que bloquean el drenaje a lo largo del Río de la Plata. Esta actividad produce contracorrientes que terminan por generar un sistema de islas frontales parcialmente equidimensionales, limitadas por albardones marginales y dentro de las cuales son comunes los canales de marea [26]. Hacia la sección superior del delta, esta

influencia esteárica decrece progresivamente y la acción fluvial neta genera formas de este origen más características [24]. En esta sección se observan sistemas de canales meandriformes, acumulaciones de barras semilunares, meandros abandonados y albardones marginales, entre otras formas puramente fluviales [27]. Al igual que en la Planicie Estuárica, el Delta del río Paraná es una zona de escasa altura topográfica, razón por la cual durante los eventos de sudestadas y mareas extraordinarias, una notable superficie de ella queda inundada [24].

Por lo general las islas del Delta inferior, poseen la forma de una palangana irregular, con el margen alto, el albardón boscoso, sólo alcanzado por las grandes y breves crecidas. El interior es bajo, pantanoso, con aguas estancadas, de pajonal [16] [27].

4.2. Área afectada por el fuego

El fuego comenzó a orillas del río Baradero, y afectó un total de 1062,7 has, ubicadas entre éste y el río Areco (Mapa 2). El área presenta una forma elongada, con un eje longitudinal de 5,5 km, en dirección SE-NO, y un eje transversal de 2,3 km en dirección SO-NE. Las barreras naturales para la propagación generadas por los ríos Areco y Baradero, impidieron el desarrollo del patrón elíptico, típico de los fuegos originados por una fuente puntual. Inicialmente la propagación estuvo acotada por ambos ríos, que limitaron la ubicación del flanco izquierdo y derecho respectivamente; posteriormente el flanco izquierdo se fue alejando del río Areco. La superficie afectada es aproximadamente plana, siendo la máxima altura de 4 m.s.n.m. y la mínima de 2 m.s.n.m.; se observan dos terraplenes identificados como “A” y “B” (Mapa 2), cuya altura es de entre 1m y 1,5 m respectivamente.

4.3 Combustibles

4.3.1 Descripción general

La vegetación predominante del área, está conformada por praderas de herbáceas latifoliadas medianas, como *Polygonum spp.* o *Ludwigia spp.*, acompañadas por distintas especies de hábito flotante o sumergido. En los bordes de laguna, se presenta una pradera de herbáceas equisetoides altas como el *Schoenoplectus californicus* (junco o batro), con tallos de 1 a 3 m, lisos y erectos, y con diámetros de 0,5 a 1 cm. En las riberas más elevadas, pero que también son afectadas por períodos prolongados de inundación, se encuentran praderas de herbáceas graminiformes altas, como la *Scirpus giganteus* (cortadera). En esta comunidad denominada “pajonal”, la saturación permanente de los suelos en las áreas deprimidas y la fluctuación diaria de la napa, muy cercana a la superficie, determinan condiciones de anaerobiosis. Esto conlleva

va a la predominancia de acumulación de materia orgánica con formación de suelos muy ácidos, compuestos por restos vegetales sin descomponer.

Se han obtenido algunos resultados relevantes en pajonales de *S. californicus* en cuanto a atributos de productividad primaria aérea neta (PPNA), biomasa y materia orgánica en el suelo, los cuales varían de acuerdo al gradiente fluvial y mareal oscilando. Pratolongo *et al* [28], encontraron valores de PPNA de $19 \pm 2.11 \text{ tn ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $13,16 \pm 3.36 \text{ tn ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de biomasa muerta en pie, en parcelas muestreadas en cercanías al sector donde ocurrió el incendio [28].

Por otra parte, los humedales son la mayor fuente natural del segundo gas más importante del efecto invernadero, después del dióxido de carbono [29]. La producción de gas metano por parte de estos ecosistemas, es muy sensible a los cambios en el clima [30]. Variables como la temperatura del suelo y la distribución de zonas aeróbicas y anaeróbicas, dependiendo del nivel freático, influyen en la producción de metano [31] [32].

La vegetación arbórea que predomina en las riberas del Río Paraná es muy variada, se encuentra *Erythrina crista-galli*, *Salix humboldtiana*, *Sapium haematospermum* y *Pouteria salicifolia*, entre otras [33]. Además se desarrolla la comunidad boscosa más importante de la provincia de Buenos Aires: los bosques dominados por *Celtis tala*, conocidos como “talares” [33] [34] [35][36].

4.3.2 Tipos de combustibles afectados por el fuego

La vegetación afectada por el incendio Baradero estuvo compuesta por un estrato arbóreo, predominantemente de *Erythrina crista-galli* (seibo) y ejemplares de *Salix spp* (sauces). Además, el fuego afectó un estrato inferior denominado “pajonal”, dominado por juncos *Schoenoplectus californicus*, en menor medida cortadera *Cirpus giganteus* y gramíneas bajas de la familia *Poaceae* (Foto 1).

4.4 Situación Meteorológica

4.4.1 Evolución de la precipitación durante los meses previos

Durante gran parte del año 2007, las precipitaciones en la zona de estudio fueron superiores a lo normal; especialmente, en el otoño y la primavera. Esta situación se revirtió en el año 2008, en el que las precipitaciones fueron inferiores a las normales, principalmente en el período comprendido entre marzo y octubre (Fig 1).



Foto 1. Tipos de vegetación afectada por el fuego. A la izquierda, se observa un estrato herbáceo de baja altura y otro superior de juncos. A la derecha, se visualiza un estrato arbóreo de gran porte, predominantemente de seibos.

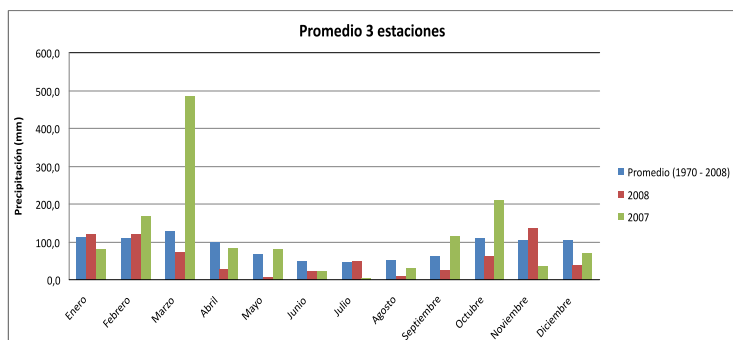


Figura 1 Promedio de precipitaciones mensuales durante el período 1970-2008 para Rosario, Ezeiza y Gualeguaychú. Datos provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

4.4.2 Situación Sinóptica

Sobre el área de cobertura, se registró el pasaje de un frente frío el día 16 de agosto (Fig. 2a). Tras el pasaje del frente, un sistema de alta presión ingresó sobre el centro del país, provocando viento intenso del sector sur en la zona del incidente (ver fig 2a). Luego, el sistema se posicionó sobre la zona del incendio, lo que produjo en las últimas horas del 17 de agosto y hasta el mediodía siguiente, viento leve de direcciones variables. En el transcurso del día 18, el centro de alta presión comenzó a desplazarse hacia el este, lo que produjo un aumento de la intensidad del viento del sector este (Fig 2b).

4.4.3 Variables de superficie

El día 18 de agosto comenzó con bajas marcas térmicas, debido a la presencia de cielo despejado, y con valores de humedad relativa altos (Fig 3). Los vientos eran suaves, no superaban los 10 km/h, y con direcciones variables

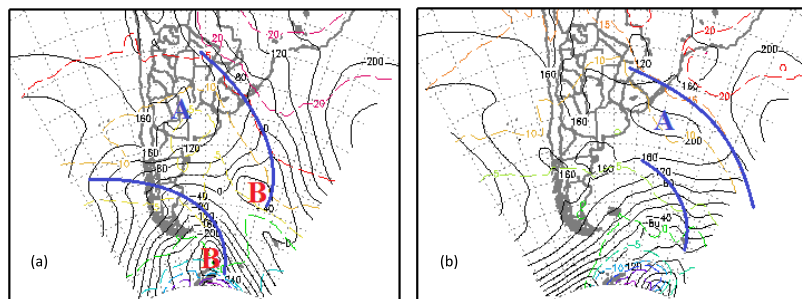


Figura 2: Cartas sinópticas de superficie, correspondientes a las 09:00 de los días 17 de agosto (a) y 18 de agosto (b) de 2008. Fuente Modelo ETA/SMN.

(Tabla 1). La observación de las 09:00 efectuada en la estación San Pedro, indica que la temperatura era de 6 ° C, la humedad 76 % y el viento de 3,6 km/h, con dirección ESE, con ráfagas suaves. Los datos de la estación San Fernando indicaban 9 ° C de temperatura, 87 % de humedad (ver Fig. 3) y 11,1 km/h de viento, con dirección NE (ver Tabla 1).

Hacia media mañana, el viento comenzó a incrementarse, alcanzando a las 10:00 los 16,7 km/h en la estación San Fernando y 17,3 km/h en San Pedro, con dirección E y NE respectivamente. La intensidad del viento continuó aumentando hasta el mediodía, para luego descender nuevamente. Así también, las ráfagas registradas por la estación San Pedro fueron incrementando su intensidad, alcanzando un máximo de 38 Km/h a la hora 12:17 (ver Tabla 2). Cabe destacar que, durante la mayor parte de la mañana, la dirección del viento osciló entre E y NE en ambas estaciones.

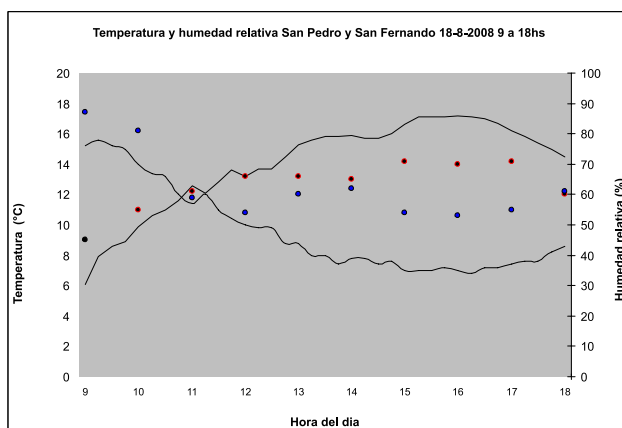


Figura 3. Temperatura (rojo) y humedad relativa (azul) del día 18 de agosto de 2008, entre las 09:00 y 18:00, para las estaciones de San Pedro (línea continua) y San Fernando (línea punteada).

Entre las 14:00 y las 18:00, la intensidad media del viento no superó los 12 km/h en ninguna de las dos estaciones (ver Tabla 1); también las ráfagas fueron disminuyendo su intensidad. Durante este período, la dirección del viento fue del sector SE.

De acuerdo con la estación San Pedro, la temperatura alcanzó los 17 ° C a las 16:00, acompañada de un mínimo en la humedad relativa del 35 %; cabe destacar que la humedad relativa ya había alcanzado ese valor a las 15:00. En la estación San Fernando, la mínima humedad registrada fue de 53 % y la temperatura más alta de 14 ° C.

	San Pedro		San Fernando	
Hora local	Dirección	Velocidad (km/h)	Dirección	Velocidad (km/h)
09:02	ESE	3,6	NE	11,1
09:17	ESE	9,0		
09:32	E	13,4		
09:47	E	16,4		
10:02	E	17,3	NE	16,7
10:17	E	19,7		
10:32	ENE	20,4		
10:47	E	20,4		
11:02	ENE	24,3	NE	18,5
11:17	ENE	20,6		
11:32	E	19,4		
11:47	ENE	22,1		
12:02	E	21,6	NE	16,7
12:17	ENE	21,2		
12:32	E	18,2		
12:47	NNE	14,3		
13:02	ESE	13,8	NE	14,8
13:17	ENE	12,2		
13:32	ENE	9,5		
13:47	NNE	9,6		
14:02	ESE	10,5	SE	11,1
14:17	ESE	10,1		
14:32	SSE	10,2		
14:47	ENE	10,8		
15:02	SE	6,8	SE	9,3
15:17	ESE	11,3		
15:32	S	3,9		
15:47	S	5,7		
16:02	ESE	12	E	9,3
16:17	SSE	9,3		
16:32	SSE	8,3		
16:47	SSE	9,2		
17:02	SE	10,2	E	13
17:17	SSE	9,5		
17:32	SE	9,8		
17:47	SE	7,4		
18:02	S	3,5	E	13

Tabla 1: velocidad y dirección media del viento a 10 m de altura, registradas en las estaciones San Fernando y San Pedro, el día 18 de agosto de 2008 entre las 09:00 y las 18:00. Datos provistos por el SMN y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), respectivamente.

4.4.4 Evolución de las variables de altura

Tras el pasaje del frente frío, ingresó a la zona un sistema de alta presión y las condiciones de estabilidad dominaron en la mañana del 18 de agosto; esto se puede advertir a través del sondeo realizado ese día en el aeropuerto de Ezeiza (Figura 4). En dicho sondeo se observa una inversión térmica en los primeros 100 m por encima de la superficie, generada por el enfriamiento nocturno del suelo. Ese día, el enfriamiento de la superficie estuvo particularmente favorecido por las condiciones de cielo despejado, generadas por el establecimiento del centro de alta presión. El mismo sondeo muestra otra inversión térmica en la capa comprendida entre los 1019 y 1266 m, típica de la presencia de los centros de alta presión. Asociada a esta inversión, se observa

Tabla 2. velocidad y dirección de ráfagas máximas de viento para períodos de 15 minutos, registrados en la estación San Pedro a 2 m de altura entre las 09:00 y las 18:00 del día 18 de agosto de 2008.

Hora local	Dirección	Velocidad ráfaga máxima(km/h)
09:02	ESE	11,3
09:17	ESE	16,4
09:32	E	27
09:47	E	23,6
10:02	E	28,9
10:17	E	28,7
10:32	ENE	32,6
10:47	E	30,3
11:02	ENE	33,8
11:17	ENE	27
11:32	E	26,4
11:47	ENE	34,6
12:02	E	26,6
12:17	ENE	38,5
12:32	E	23,2
12:47	NNE	27,7
13:02	ESE	27,4
13:17	ENE	21,5
13:32	ENE	22,1
13:47	NNE	19,7
14:02	ESE	20,7
14:17	ESE	19,9
14:32	SSE	18,6
14:47	ENE	25
15:02	SE	17,8
15:17	ESE	21,7
15:32	S	17
15:47	S	13,9
16:02	ESE	21,9
16:17	SSE	25,2
16:32	SSE	24,6
16:47	SSE	18,4
17:02	SE	22,5
17:17	SSE	13,7
17:32	SE	21,7
17:47	SE	19,3
18:02	S	11,5

una extrema sequedad de la atmósfera; en el límite superior de la misma la humedad relativa es cercana al 2 %.

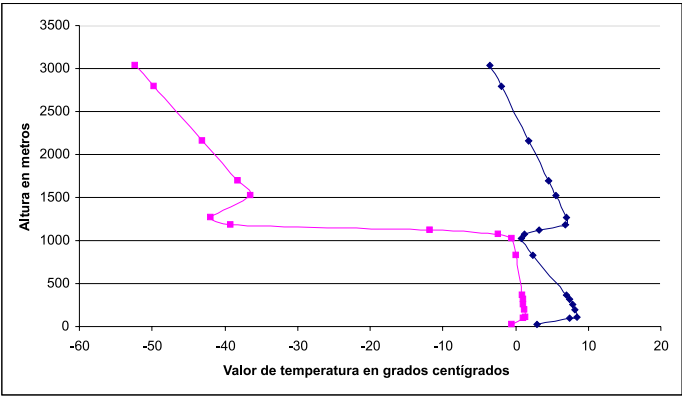


Figura 4. Perfiles de temperatura y temperatura de rocío, elaborados con datos del radiosondeo efectuado en la estación Ezeiza del SMN, a las 09:00 del día 18 de agosto de 2008.

En el transcurso del día, con el calentamiento de la superficie, la inversión térmica que afectaba los primeros 100 m desapareció. Los primeros 1000 m cercanos a la superficie se inestabilizaron, estimándose que en esa capa el gradiente térmico pudo haber sido de $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, lo que indica una gran inestabilidad atmosférica. La inversión ubicada a mayor altura, se mantuvo en el transcurso del día, limitando el desarrollo vertical de la columna convectiva (Foto 2).



Foto 2: Desarrollo vertical de la columna convectiva del fuego. La línea punteada indica la base de la capa en la que había una inversión térmica.

Con respecto al viento, el sondeo efectuado en Ezeiza a las 09:00, muestra un incremento con la altura, que alcanza los 26 km/h a los 255 m de altura. (Fig. 5). Por encima de esta altura, el viento disminuye su intensidad hasta

alcanzar los 5 km/h a los 2000 m. El sondeo obtenido mediante GDAS, muestra un comportamiento similar al del viento observado en Ezeiza. El obtenido también mediante GDAS para las 15:00, muestra un máximo de viento a una altura de 1500 m de aproximadamente 19 km/h (ver Fig. 5), con dirección ENE.

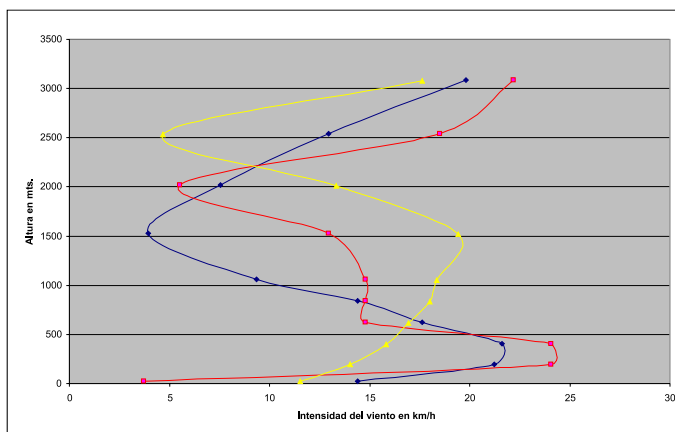


Figura 5. Perfiles de viento obtenidos mediante datos del radiosondeo efectuado en Ezeiza a las 9hs, y mediante el modelo xxxx a las 9 hs, 12 hs, y 15 hs del día 18 de agosto de 2006.

4.4.5 Indicadores de peligro

El índice meteorológico de peligro de incendios FWI, alcanzó el día 18 de agosto, valores que se ubican entre el 7 % de los valores más altos alcanzados por este indicador en la zona, de acuerdo al análisis efectuado con datos históricos de la estación San Pedro.

El índice de Haines, calculado con datos del sondeo de las 15:00, dió como resultado “Peligro Bajo”. El cálculo fue efectuado para la capa comprendida entre los 600 y 1500 m, aproximadamente.

4.5 Caudal del Río Paraná

Las mediciones efectuadas en la estación de aforo del Túnel Subfluvial, muestran que el caudal del río Paraná fue superior a lo normal en el primer semestre de 2007. A partir del segundo semestre del año 2007 y hasta mediados del año 2008, el caudal del río Paraná fue inferior a lo normal (Fig. 6).

5. Cronología

El día 17 de agosto por la tarde, algunos vecinos de la zona observaron humo, aunque no pudieron asegurar que el mismo correspondiese al incendio en estudio.

El día 18 de agosto, alrededor de las 09:00, comenzó a aumentar la velocidad del viento en la zona de estudio, llegando a las 12:00 a los 15 km/h aproximadamente, con ráfagas máximas de 38 km/h (ver Tabla 1) y con dirección ENE. Los vecinos de Alsina comentan que, desde media mañana el viento era “fuerte” y que veían humo. El viento a 255 m por encima de la superficie alcanzaba los 26 km/h con dirección ENE (ver Fig 6). La inversión térmica cercana a la superficie comenzaba a desaparecer con el calentamiento diurno, dando lugar a la inestabilización de la capa y la consecuente mezcla de aire entre distintos niveles, y se percibían ráfagas más fuertes en superficie.

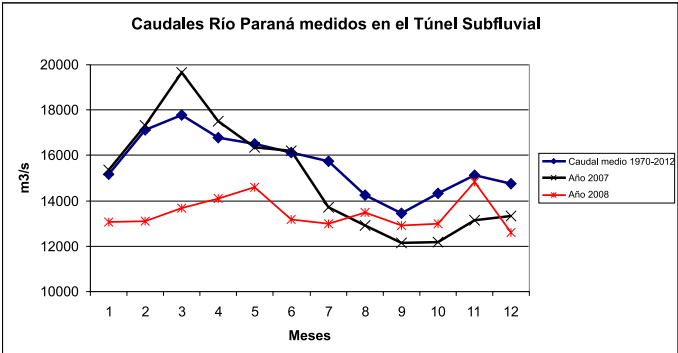


Figura 6. Caudales medio, máximo y mínimo del río Paraná correspondientes al período 1970-2012 y caudales a los años 2007 y 2008, medidos en la estación ubicada en el Tunel Subfluvial.

A las 13:00 el dueño de un camping ubicado en las cercanías del lugar de inicio del fuego (Mapa 2), declara haber visto una gran columna de humo y lenguas de fuego que estimó en 6 m de altura. En ese sector, la vegetación está compuesta por un estrato arbóreo predominantemente de seibo y ejemplares de sauces y un estrato superficial de pajonal (Foto 3). A esa hora, la intensidad del viento estaba en disminución y su dirección comenzaba a tener una componente sur, la temperatura estaba en aumento, la humedad relativa disminuía. A su vez, con el creciente calentamiento de la superficie la atmósfera se inestabilizaba cada vez más. Esta inestabilidad, así como también la baja velocidad del viento en superficie, favorecían el crecimiento de la columna convectiva.



Foto 3. Vista de la vegetación en las cercanías del lugar donde se inició el fuego.

A las 15:00 un agente del Cuartel de Bomberos de Baradero, vió una gran columna con forma de hongo. A esta hora, en la estación San Pedro, la temperatura alcanzaba casi el valor máximo del día, 17°C , y la humedad relativa había descendido al valor mínimo de 35 %. El viento de superficie era de alrededor de 6 km/h. Cabe destacar que, de acuerdo con datos experimentales, para cargas de combustible de entre 3 y 4 toneladas, se requiere un viento superior a los 5 km/h par que el fuego tenga un desplazamiento frontal consistente [37].



Foto 4. Aspecto de la columna convectiva del incendio, entre las 14: 15 y las 14:20 aproximadamente, tomada a una distancia de 28 km en línea recta.

A las 15:12, salió hacia el lugar del incendio el móvil 2/45 del Cuartel Bomberos de Alsina. Testigos aseguran que a esa hora el humo cubría Baradero y que llegaban pavesas tanto a Baradero como a Alsina. A las 15:14, sale hacia el lugar el móvil 21/45 del Cuartel de Baradero.

Entre las 15:14 y las 15:20, un vecino de la zona sacó fotos a la columna de humo (Foto 4), desde aproximadamente 28 km en línea recta a la misma (F4 en Mapa 3). En la misma foto, se observa una segunda columna con importante desarrollo, sobre cuya evolución posterior no hay información. El personal del móvil 21/45 que salió del cuartel de Baradero a las 15:14, también tomó fotografías; la Foto 5 muestra el aspecto de la columna desde un punto más próximo (F5 en Mapa 3). En las fotos 4 y 5, puede observarse claramente que la columna tiene coloración oscura y se ensancha abruptamente, tomando en su parte superior la forma de hongo típica de los fuegos dominados por la convección. La parte superior de la columna se extiende en dirección suroeste. El viento en superficie a las 15:17, era del ESE a 11 km/h y en altura de 19 km/h, con dirección ENE.



Foto 5. Aspecto de la columna convectiva, tomada por el personal del móvil 21/45 al aproximarse al lugar.

A las 15:25, el móvil 2/45 del cuartel de Alsina, llegó al terraplén B (punto 1 en Mapa 4). Aproximadamente 5 minutos después, a las 15:30, dos personas que venían en el móvil 2/45 Alsina, siguieron en una camioneta, propiedad del establecimiento, hasta el terraplén A (punto 2 en Mapa 4), para tener una mejor visión del fuego. De acuerdo con sus testimonios, al acercarse, el fuego estaba cruzando el terraplén A. Se estima que esta observación fue efectuada a las 15:50 aproximadamente. Suponiendo que el fuego comenzó a propagar

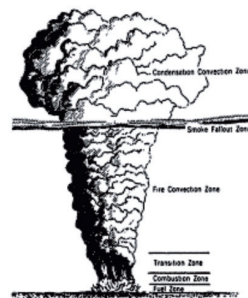


Foto 6. Desarrollo de la columna convectiva estimada en 1100 m de altura, tomada por el personal del móvil 21/45 a 3,5 km de distancia, y esquema de las zonas típicas de las columnas de los fuegos dominados por la convección, basado en Countryman [6].

a las 13:00, cuando la actividad fue vista desde el camping, y que llegó a las 15:40 a las proximidades del terraplén A, su velocidad de propagación promedio habría sido de 1,6 km/h.

A las 15:40 aproximadamente, en la foto 6 tomada en el punto F6 del Mapa 3, se observa que la estructura de la columna tiene las características asociadas a la transición al domino convectivo.



Foto 7. Aspecto de la columna observada por el móvil 11/45 a las 15:40, desde el camino vecinal.

Mientras tanto, el móvil 11/45 se dirigía a la zona por el camino vecinal (Foto 7) (Mapa 4), e ingresaba al lugar del incendio por la huella interna del campo, aproximadamente a las 15:50. En la Foto 8 (Mapa 4), también tomada por el personal del móvil 11/45, se observa el avance de dos columnas. Una filmación del fuego efectuada minutos después, muestra al flanco derecho avanzando más rápidamente que el izquierdo (Foto 9).



Foto 8. Vista tomada por el Móvil 11/45 dentro del campo; se observa la camioneta blanca y las colmenas al fondo.



Foto 9. Vista del frente de llama del flanco derecho adelantado. Fotografía capturada por el móvil 11/45.

Mientras se desarrollaban las acciones descriptas en los párrafos anteriores, entre las 15:47 y las 16:00, el viento de superficie se incrementó de 5,7 km/h del sur y ráfagas de 14 km/h, a 12 km/h del ESE con ráfagas de 22 km/h. A las 16:00, la temperatura alcanzaba el máximo valor del día, acompañada por el mínimo de humedad relativa. Así también, el índice de peligro FWI, calculado con datos de las 12:00 de la estación San Pedro, proyectaba para las 16:00 el valor de 28, valor que se ubica entre el 7 % de los valores históricos más altos.

A las 16:00, el móvil 11/45 se dirigió al terraplén A, hacia la cola del incendio, y tomó una fotografía en la que se observan focos secundarios por detrás de la cola del incendio (Foto 10). Cuando el móvil 11/45 se desplazó, el personal de Alsina ya había ingresado al fuego por el punto 1 del Mapa 4.

De acuerdo con las declaraciones, al ingresar al campo, quemaron vegetación para crear un área segura, para esto, prendían y apagaban áreas pequeñas.

Los torbellinos que se observan en el flanco izquierdo del fuego (ver Foto 10), indican una gran turbulencia. Probablemente los mismos estuvieron también presentes en el flanco derecho, aunque debido al ángulo en que fue efectuada la filmación, no pueden verse. Lo que si puede apreciarse en la filmación, es el inicio de la convergencia de las dos columnas hacia el área sin quemar comprendida entre los dos flancos (Foto 11).



Foto 10. Vista del flanco derecho tomada por el móvil 11/45 sobre el terraplén "B", en la que se observan focos secundarios, y la turbulencia se manifiesta en los numerosos torbellinos que se observan.



Foto 11. En la imagen, se observan 2 columnas bien definidas.

Se observa en la filmación, una reactivación particularmente intensa del fuego (Foto 12), que parecería haber ocurrido cuando finalmente se produce la unión violenta entre ambos flancos hacia una misma columna. Momentos antes de que esto ocurra, dos de los combatientes que habían ingresado al campo, recuerdan instantes de particular quietud y llamas verticales, seguido de un ruido intenso y reactivación del fuego. Posteriormente, relatan haber visto un “remolino de fuego” desprenderse del frente del incendio, moverse rápidamente de norte a sur hasta el terraplén B y luego avanzar hacia su ubicación alcanzando a tres de ellos, quienes se encontraban más próximos a la posición del frente.



Foto 12. Imagen del momento en el que se asume, el personal fue alcanzado por el fuego.



Foto 13. Apariencia de la columna momentos después del accidente.

Luego, las imágenes muestran que la columna sigue formada, por lo que se descarta su colapso en ese momento (foto 13).

6. Discusión

La abundante precipitación, ocurrida en el año 2007, pudo haber generado una producción de biomasa también superior a la normal. Esta condición acompañada de la disminución del caudal del río Paraná, que comenzó a mediados de 2007 y que continuó hasta mediados de 2008, y del déficit de precipitaciones a partir de marzo de 2008, dieron lugar al inusual secado del suelo y de los combustibles vegetales de distinto porte. Puede suponerse que la carga de biomasa disponible para arder al momento de ocurrir el fuego en estudio, era mayor que otros años en la misma época. Se generó así el escenario adecuado para la ocurrencia de un fuego extremo, cuando a esta condición de la vegetación se asocian las condiciones meteorológicas adecuadas.

La instalación del centro de alta presión en la zona de estudio el día del incendio, dio lugar a condiciones de cielo con escasa nubosidad, que favorecieron el enfriamiento nocturno de la superficie del suelo. Como consecuencia de este enfriamiento, en la mañana del día 18, se formó una inversión térmica en los primeros 100 m de la atmósfera. Cuando a media mañana, el calentamiento revirtió esta condición de inversión térmica, la capa de aire cercana al suelo se inestabilizó.

El perfil de viento, asociado a la presencia del centro de alta presión, presentaba un máximo de intensidad a los 255 m, para luego comenzar a dis-

minuir. Esta forma de la variación del viento con la altura, es similar a la encontrada por Byram [8] en otros fuegos de dominio convectivo y comportamiento extremo.

A media mañana, la inestabilización de la capa cercana a la superficie facilitó la mezcla turbulenta del aire, y la ocurrencia de ráfagas de mayor intensidad cerca del fuego. Tanto el foco de inicio de este fuego en estudio, si ya hubiese estado encendido, como otros focos en la zona, se re-activaron y los vecinos comenzaron a ver humo. A las 13:00, las llamas de 6 m observadas, indicaban que el fuego había alcanzado gran intensidad.

A medida que transcurría el día, la temperatura aumentaba hasta alcanzar los 17 ° C. En altura, las temperaturas eran bajas, debido a la presencia del aire frío que había ingresado a la zona con el pasaje del sistema frontal del día 16 de agosto. Se generó así un gradiente térmico de 1,6 ° C/m entre la superficie y los 1000 m.s.n.m., indicando mucha inestabilidad a esa hora.

A las 15:00 la columna se había desarrollado hasta la altura de la inversión térmica, siendo quebrada por el viento, a los 1200 m aproximadamente. Se destaca que la humedad en la zona de esa inversión térmica, era extremadamente baja (2%); la mezcla turbulenta dentro de la columna pudo haber traído ese aire extremadamente seco a la superficie.

Cabe remarcar que los valores de humedad relativa registrados en San Pedro y San Fernando, fueron significativamente diferentes. En este caso, los datos de San Pedro, se condicen mejor con el comportamiento del fuego. Estas diferencias en los registros entre estaciones cercanas, ponen de manifiesto que es necesario que el personal de combate, efectúe mediciones en las cercanías de los sitios donde se desarrollan los fuegos.

Las fotografías tomadas antes que el fuego cruzara el terraplén A, muestran una columna típica de la transición al dominio convectivo: el humo más oscuro, los bordes de la columna mejor definidos y los movimientos de rotación de la misma en su parte inferior. La gran carga de combustible, no descartando un posible aporte de gas metano, la atmósfera sumamente inestable a esa hora, y los vientos suaves de superficie, permitieron el desarrollo vertical de esta columna. El índice de Haines, calculado con datos de las 15:00, no evaluó adecuadamente el peligro de desarrollo convectivo

A partir de las 13:00, el viento disminuyó su intensidad. El comportamiento extremo del fuego por dominio convectivo, ocurre con vientos suaves de superficie. Precisamente por estar dominados por la convección, estos fuegos no presentan una dirección definida de desplazamiento. Esto pudo ha-

ber dado la impresión al personal de bomberos, que se trataba de un fuego de lento desplazamiento. De las conversaciones mantenidas con el personal que intervino en el combate de este incendio, puede deducirse que éste desconocía las características de comportamiento errático y violento que este tipo de fuegos presenta. Tal como expresan Haines y Updile [2], *“en ocasiones, los combatientes de incendios forestales y rurales enfrentan situaciones difíciles, cuando el fuego tiene un comportamiento atípico, que hace imposible el ataque directo y para las que muchas veces están poco preparados”*.

Casi de manera coincidente con el momento en que el personal de Alsina se acercó al terraplén A para evaluar el fuego, la velocidad del viento se incrementó, de 6 a 12 km/h aproximadamente. De acuerdo con Cheney y Sullivan [38], en pastizales con una carga de 3 ton/ha, las ráfagas convergentes a la base de una columna convectiva pueden detener el avance de la misma con vientos suaves, de hasta alrededor de 5 km/h. Con el aumento de la velocidad del viento, el fuego tomó una dirección de propagación definida cruzando el terraplén A.

Entre las 16:00 y las 16:30, las ráfagas de viento se incrementaron. La ocurrencia de focos secundarios, la longitud de las llamas, la forma y color de la columna convectiva, y los múltiples torbellinos que había a su alrededor, reflejaban el comportamiento extremo. En este tipo de incendios, durante los momentos de calma entre una ráfaga y la siguiente, la velocidad de propagación del fuego disminuye y, tanto las llamas como la columna toman posición vertical, creándose una corriente de aire convergente a la base de la misma que detiene la propagación del fuego [18]. Este fenómeno producía el avance por pulsos del fuego.

Si bien el área quemada en este caso, con el propósito de crear una zona segura no evidencia haber interactuado con el fuego principal, esta técnica no es recomendada para estos tipos de fuego [2].

Es probable que, dado que el viento a media tarde era del cuadrante SE, sobre el flanco derecho se haya canalizado con el río, alcanzando mayor intensidad. Por este motivo y/o por deferencias en la composición de la vegetación, el flanco derecho se aceleró adelantándose al flanco izquierdo. La columna convectiva bloqueó seguramente el pasó del viento a sotavento, formándose una bahía de calma, con el combustible sin quemar, rodeada por los flancos que avanzaban.

En un momento, los flancos convergen de manera violenta al centro de esta bahía, de la misma manera que hubiese actuado un contrafuego con un fuego principal. Se produce entonces una tormenta de fuego, con fuego arremolinado y rápidas propagaciones en sectores del perímetro. Es este comportamiento

el que el personal percibe como “que el fuego iba y venía, y hacía remolinos” o “que vino desde atrás”, sin poder explicar cómo tan rápidamente las llamas de un fuego que parecía avanzar lentamente llegaron tan cerca de ellos.

7. Conclusiones y recomendaciones

La evolución de las precipitaciones y del nivel de los ríos de la zona en los meses previos al incidente, parece haber dado lugar a una carga de combustible disponible mucho mayor que la habitual. El monitoreo permanente de estas variables, acompañado de observaciones en el comportamiento de los distintos incendios que ocurren en la zona, serían de gran ayuda para anticipar situaciones similares.

Los valores de humedad relativa registrados en las estaciones San Fernando y San Pedro, difieren significativamente, debido a su posición relativa a los cursos de agua. Es por lo tanto imprescindible que en esta zona, los combatientes de incendios cuenten con instrumental meteorológico para efectuar mediciones en las cercanías del fuego. Para esto, deben recibir la capacitación necesaria en todo lo relacionado al uso del instrumental y a los sitios adecuados para la toma de datos.

Si bien la intensidad del máximo de viento a los 255 m y del viento de superficie, son algo menores que las observadas por Byram [8], el perfil de viento del día 18 de agosto, se corresponde con el observado en otros casos de incendios de comportamiento extremo dominados por la convección, con un máximo de viento cerca de la superficie y viento de muy baja intensidad a niveles muy altos de la atmósfera. Se recomienda el estudio de la frecuencia de ocurrencia de este tipo de perfiles de viento en esta zona.

La evolución del patrón de escala sinóptica, influenció el desarrollo de este fuego de diferentes maneras. El aire frío que ingreso el día 16, dió lugar a una marcada diferencia de temperatura entre los 1200 m y la superficie en horas de la tarde del día 18; esto generó una gran inestabilidad en dicha capa que favoreció el desarrollo convectivo de la columna. La presencia del centro de alta presión con una inversión térmica a los 1200 m, inhibió un mayor desarrollo de la columna por encima de ese nivel. A esta altura la columna tomó la dirección del viento, y la mezcla turbulenta generó ráfagas en superficie y probablemente valores de humedad tan bajos como los que había a la altura de la inversión. Asimismo, el desplazamiento hacia el este del centro de alta presión, dió lugar al incremento del viento de superficie.

El leve incremento en la velocidad del viento ocurrido entre las 13:45 y las 16:00, hace que el fuego tome una dirección de propagación, pero no es suficiente para quebrar el dominio convectivo, transformándose en lo que Countryman [6], define como el caso más peligroso de “tormentas de fuego en movimiento”. Este evento fue coincidente con el momento de mayor temperatura y menor humedad relativa del día.

La incorporación de un “observador”, ubicado a cierta distancia del fuego permitiría reconocer las características de estos fuegos, que no pueden apreciarse adecuadamente mientras se trabaja cerca de los mismos.

Este incendio se desarrolló bajo condiciones similares, a las generalmente asociadas a las explosiones de fuego: gran carga de combustible disponible, condiciones de inestabilidad durante algunas horas, velocidad del viento de 29 km/h a la altura del fuego o no muy por encima del mismo y decrecimiento del viento por varios miles de metros, con la excepción de los primeros cientos.

El índice FWI indicó adecuadamente las condiciones de peligro en este caso. Considerando que el mismo, fue desarrollado para ambientes significativamente diferentes a los humedales, es necesario continuar analizando cuales son los factores que afectan al peligro de incendios, que efectivamente refleja.

Las condiciones de inestabilidad que dieron lugar al desarrollo de la columna convectiva, se generaron cuando la temperatura de la superficie aumentó debido al calentamiento diurno. El Índice de Haines, no indicó adecuadamente el peligro de desarrollo convectivo. De acuerdo con Jenkins [38], la capa de la atmósfera utilizada para su cálculo, no debería ser arbitraria, sino elegida de manera que realmente represente las condiciones de estabilidad y de humedad relevantes para el desarrollo de las columnas convectivas.

Resulta imprescindible, que el personal que interviene en el combate de incendios de vegetación, conozca las características de los fuegos extremos. Asimismo, es necesario que sea instruido en las técnicas de combate más adecuadas a cada situación, particularmente en aquellas que involucran el uso del fuego.

La información disponible para efectuar este estudio, llevó a concluir que el personal fue atrapado por un remolino de fuego, instantes previos a la convergencia de los dos flancos del fuego. Cabe destacar que muchas otras podrían haber sido las causas del accidente, como la rápida propagación de algún sector perímetro o el colapso de la columna principal, entre otros.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración del personal del cuartel de Bomberos de Baradero y del Destacamento de Alsina. Nuestro especial reconocimiento al Sr. Gabriel Fontanari por impulsar este trabajo y facilitarnos el acceso a la información.

Agradecemos también a La Estación Experimental San Pedro del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), y al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), por brindarnos información meteorológica.

8. Bibliografía

- [1] **Alexander, M. E. y D. A. Thomas.** 2003. Fire Management Today. United State Department of Agriculture, Forest Service. Vol. 63, Nro. 4. 12 *pp*.
- [2] **Haines, D. A. y G. H. Updike.** 1971. Fire Whirlwind Formation over Flat Terrain. USDA Forest Service. Research paper NC-71. 12 *pp*.
- [3] **National Wildfire Coordinating Group.** 2006. Glossary of Wildland Fire Terminology. PMS 205. 183 *pp*.
- [4] **Werth, P. A., B. E. Potter, C. B. Clements, M. A. Finney, S. L. Goodrick, M. E. Alexander, M. G. Cruz, J. Forthofer, and S. S. McAllister.** 2011. Synthesis of Knowledge of Extreme Fire Behavior: Volume I for Fire Managers. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station. Gen. Tech. Report PNMW-GTR-854. 150 *pp*.
- [5] **Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Traub y D. Williams.** 1991. Fire in Forestry. Forest Fire Behavior and Effects. Vol. 1. Krigger Publishing Company. Florida. 291 *pp*.
- [6] **Countryman, C. M.** 1969. Project Flambeau. An Investigation of Mass Fire (1964-1967). Final Report Vol.1 Prepared for. Office of Civil Defense. Office of the Secretary of the Army. Washington, D.C. 20310 under OCD Work Order No. OCD-PS-65-26, Work Unit 2536A and Defense Atomic Support Agency Under EO 850-68 OCD Review Notice. 77 *pp*.
- [7] **Potter, B.E.** 2011. Column/Plume and Dynamics. Capítulo 5 en Synthesis of Knowledge of Extreme Fire Behavior: Volume I for Fire Managers. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station. Gen. Tech. Report PNMW-GTR-854. 8 *pp*.

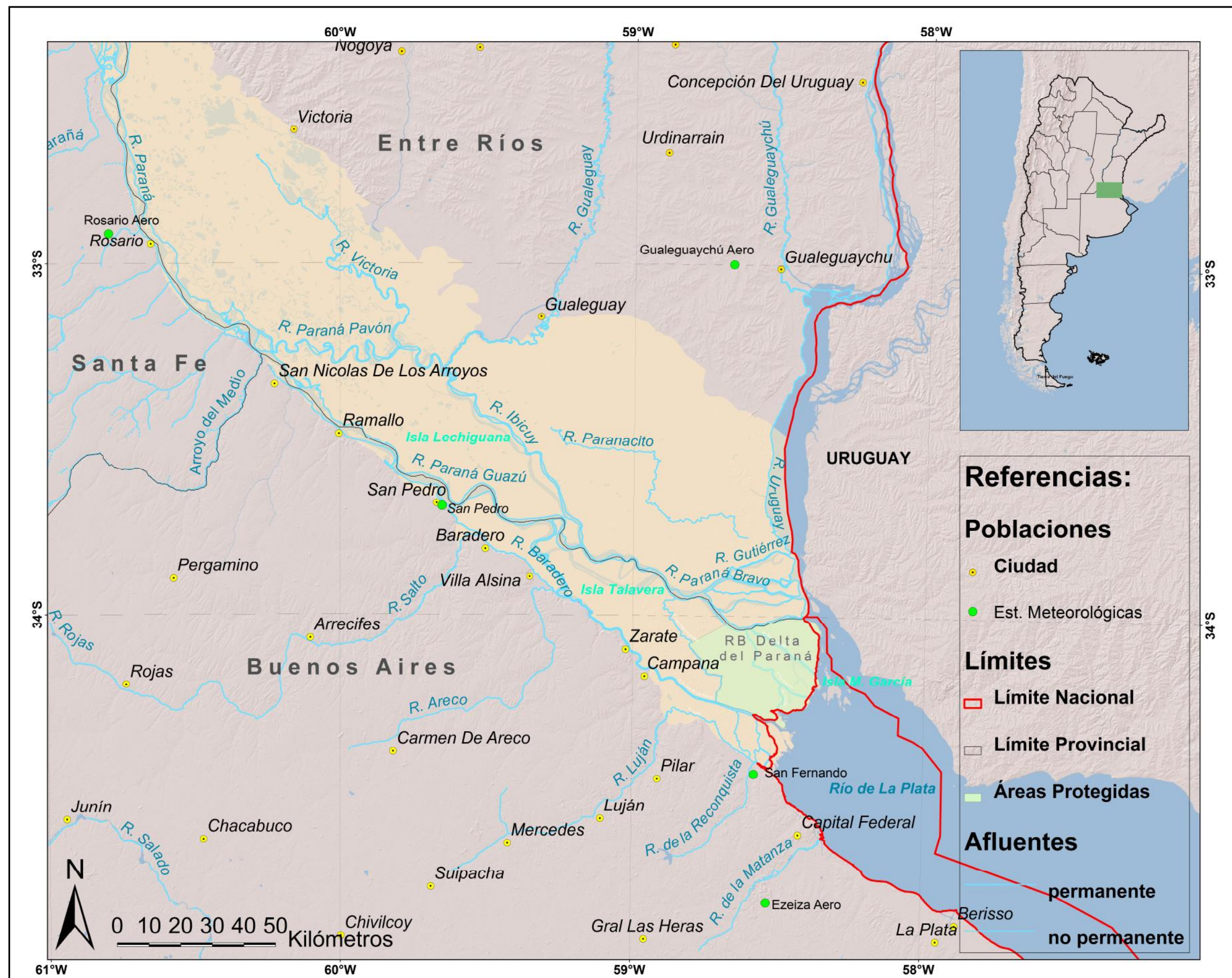
- [8] **Byram, G. M.** 1954. Atmospheric Conditions Related to Blowup Fires. National Wildfire Coordinating Group. USDA, Department of Interior. National Association of State Foresters. PMS-815. NFES-2239. 34 pp.
- [9] **Nacional Weather Service, USA.** 1999.
- [10] **Haines, D.** 1988. A Lower Atmosphere severity index for wildland fires. National Weather Digest. 13(2). 23-27 pp.
- [11] **Forthofer, J. M. y S. L. Goodrick.** 2011. Review Article. Review of Vortices in Wildland Fire. Journal of Combustion. Vol 2011. Article ID 984363. 14 pp.
- [12] **Rothermel, R. C.** 1983. How to predict the spread and intensity. Inter-mountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, UT 84401. Gn. Tech. Report INT-143. 161 pp.
- [13] **Pyne, S. J.** 1984. Introduction to Wildland Fire. Fire Management in the United States. John Wiley & Sons. 455 pp.
- [14] **Malvárez, A. I.** 1999. El Delta del Río Paraná como Mosaico de Humedales. En: Malvárez, A. I. (ed.), Tópicos sobre Humedales Subtropicales y Templados de Sudamérica, MAB UNESCO. 28-35 pp.
- [15] **Watts, A. C. y L. N. Kobziar.** 2012. Smoldering Combustion in Organic soils: Peat and Muck Fires in the Southeastern U.S: Southern Fire Exchange. A JFSP Knowledge Consortium. SFE Research Synthesis Nro. 1. 5 pp. www.southernfireexchange.org
- [16] **Kirby, R. E.** 1988. Fire in North American Wetland Ecosystems and Fire-Wildfire Relations. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report 99 (1). 155 pp.
- [17] **Liotta, J.** 2008. Caracterización de los Incendios en el Delta del Río Paraná entre Marzo y Octubre de 2008. 10 pp. <http://www.fundacionoga.org.ar/pdfs/Incendios%20en%20Delta%20del%20Parana%202008.pdf>
- [18] **Marcuzzi, E. A. y R. Hoevel.** 2009. Actas y CD del CongreMet X - CLIMet XIII. 5 al 9 de Octubre de 2009 Buenos Aires, Argentina. 11 pp.
- [19] **Miller, H. J. y S. R. Yool.** 2002: Mapping Forest Post-Fire Canopy Consumption in Several Overstory Types Using Multi-Temporal Landsat TM and ETM Data. *Remote Sensing of Environment*, 82 pp. 481-496 pp.
- [20] **Patterson, M. W. y S. R. Yool.** 1998: Mapping Fire-Induced Vegetation Mortality Using Landsat Thematic Mapper Data: A Comparison of Linear Transformation Techniques. *Remote Sensing of Environment*. 65. 132-142 pp.

- [21] **Turner, J. A. y B. D. Lawson.** 1978. Weather in the Canadian Forest Fire Danger Rating System. A User Guide to National Standards and Practices. Canadian Forest Service. Pacific Forest Research Centre. BC-X-177. 39 *pp.*
- [22] **Van Wagner, C. E.** 1987. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service, Ottawa; Ontario. Forestry Technical Report 35. 37 *pp.*
- [23] **Frenguelli, J.** 1950. Rasgos Generales de la Morfología y la Geología de la Provincia de Buenos Aires. Publicaciones L.E.M.I.T. La Plata, Buenos Aires, Argentina 2 (33). 3-72 *pp.*
- [24] **Malagnino, E.** 2008. Geoformas. En: Atlas Ambiental de Buenos Aires. www.atlasdebuenosaires.gov.ar
- [25] **INTA-SAGyP.** 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires.
- [26] **Parodi, L. R.** 1929. Observaciones sobre la Vegetación de Islas Cercanas al Puerto de San Nicolás (Norte de la Provincia de Buenos Aires). Fac. Agron. y Vet. Tomo conmem. 25° aniversario. Buenos Aires, Argentina 73-88 *pp.*
- [27] **Burkart, A.** 1957. Ojeada Sinóptica sobre la Vegetación del Delta del Río Paraná. *Darwiniana* 11 (3). 457-561 *pp.*
- [28] **Pratolongo, P., P. Kandus and M. Brinson.** 2008. Net Aboveground Primary Production and Biomass Dynamics of *Schoenoplectus californicus* (Cyperacea) Marshes Growing under Different Hydrological Conditions. 12 *pp.*
- [29] **IPCC: Climate Change.** 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 996 *pp.*
- [30] **Kaplan, J. O., G. Folberth and D. A. Hauglustaine.** 2006. Role of Methane and Biogenic Volatile Organic Compound Sources in Late Glacial and Holocene Fluctuations of Atmospheric Methane Concentration, Global Biogeochem. Cy., 20, GB2016, doi:10.1029/2005GB002590.
- [31] **Pelletier, L., T. R. Moore, N. T. Roulet, M. Garneau, and V. Beau-lieu-Audy.** 2007. Methane Fluxes from Three Peatlands in the La Grande

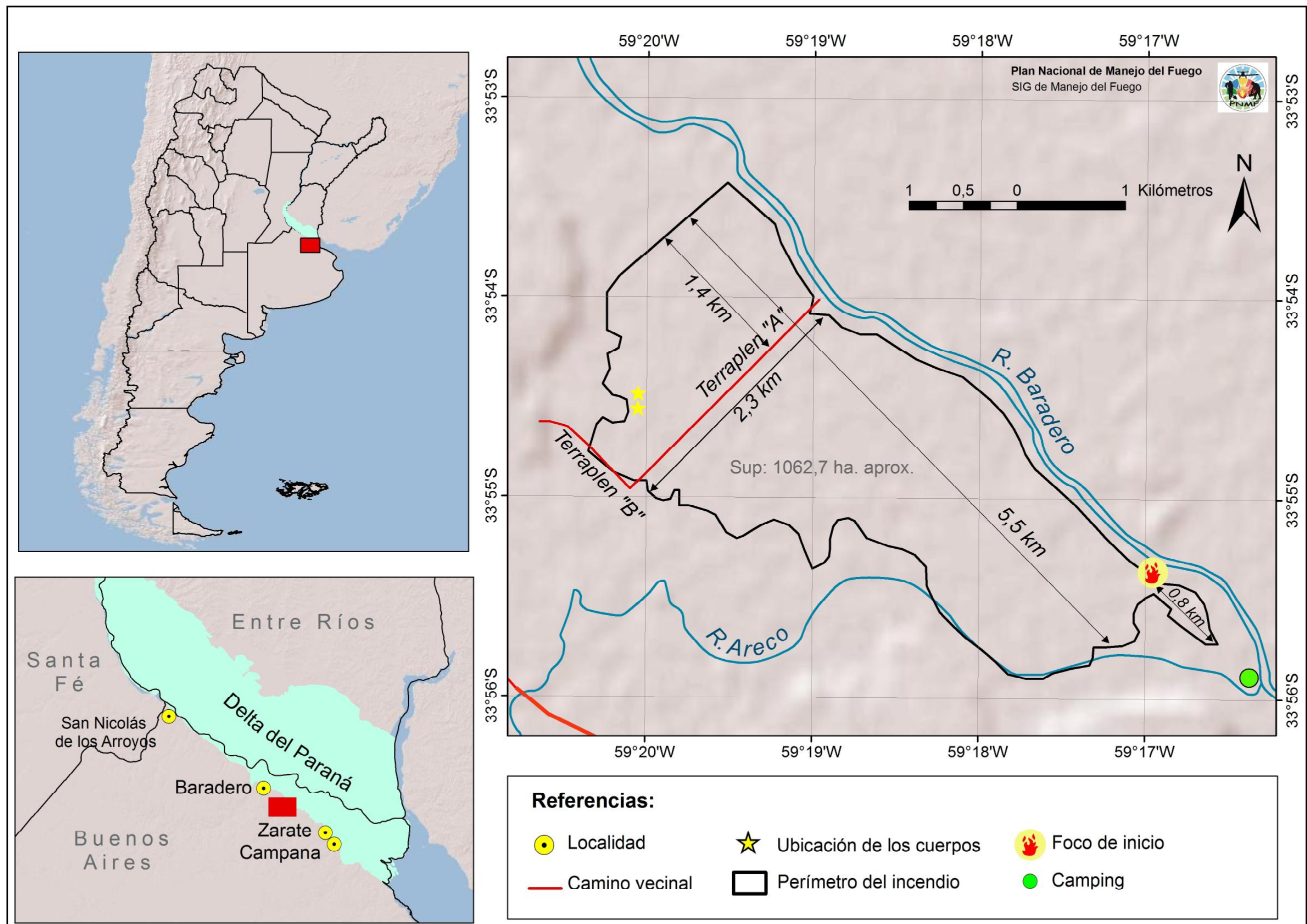
Riviere Watershet, James Bay Lowland, Canada, J. Geophys. Res., 112, G01018, doi:10.1029/2006JG000216.

- [32] **Moore, T. R., A. Heyes, and Roulet, N. T.** 1994. Methane Emissions from Wetlands, Southern Hudson Bay Lowland, J. Geophys. Res., 99(D1). 1455-1467 *pp.*
- [33] **Cabrera, A. L.** 1944. Los Árboles Indígenas de la Provincia de Buenos Aires. *Boletín de Agricultura Ganadería e Industrias* 29 (5 y 6). 15-18 *pp.*
- [34] **Parodi, L. R.** 1940a. Distribución Geográfica de los Talaes de la Provincia de Buenos Aires. *Darwiniana* 4. 33-56 *pp.*
- [35] **Parodi, L. R.** 1940b. Los Bosques Naturales de la Provincia de Buenos Aires. *Anales Ac. Nac. Cien. Ex. Fís. y Nat. Bs. As.* 7. 79-90 *pp.*
- [36] **Goya, J. F., L. G. Placci, M. F. Arturi y A. Brown.** 1992. Estructura y Distribución de los Talaes de la Reserva de Biosfera Parque Costero del Sur. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata* 68. 53-64 *pp.*
- [37] **Cheney, P. y A. Sullivan.** 2012. Grassfires. Fuel, Weather and Fire Behaviour. CIRO Publishing. Segunda Edición. Australia. 150 *pp.*
- [38] **Jenkins, M. A.** 2004. Investigating Haines Index Using Parcel Model Theory. *International Journal of Wildlan Fire*.13. 297-309 *pp.*

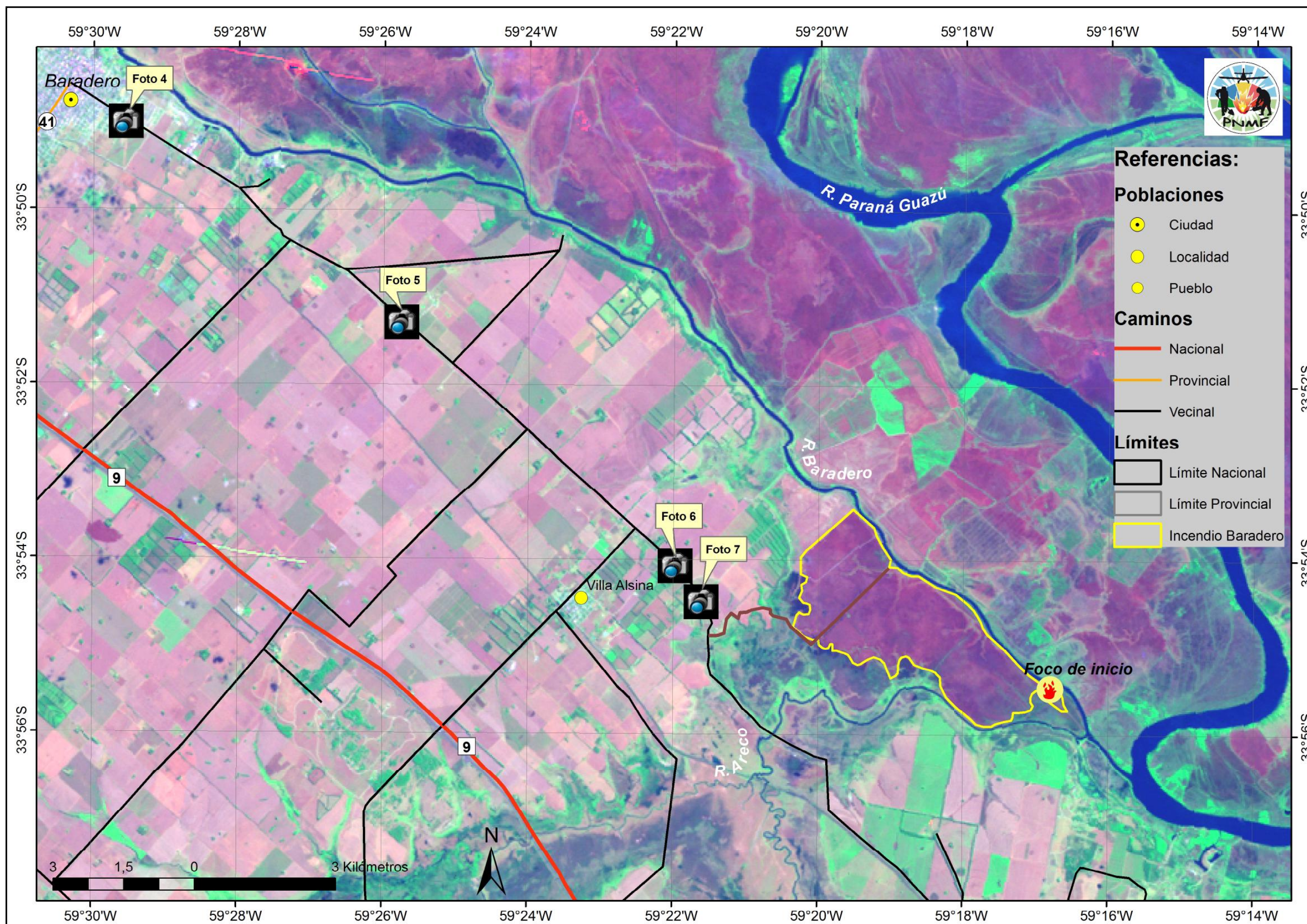
Mapa 1: zonificación de la pampa ondulada en la llanura pampeana oriental.



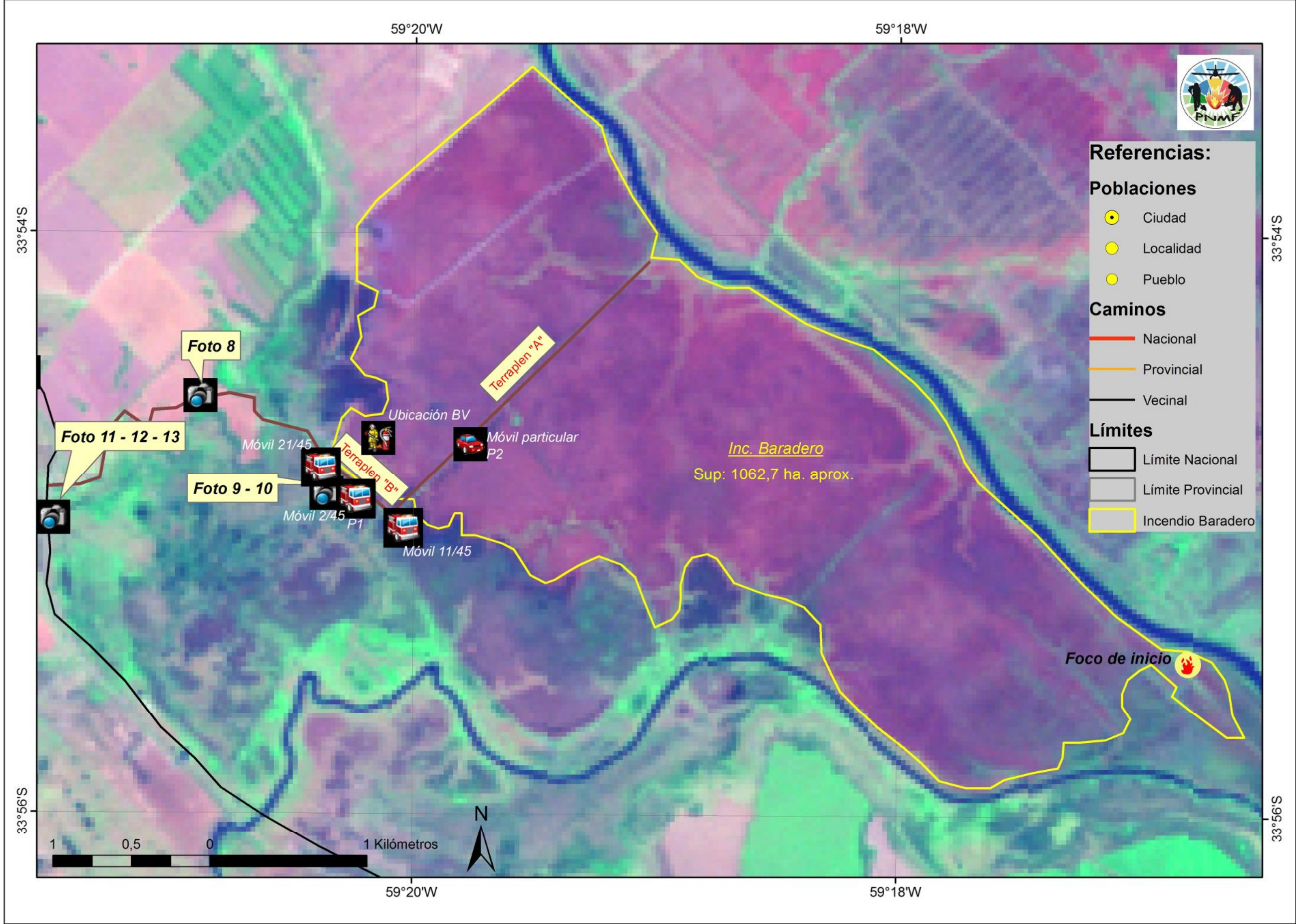
Mapa 2 : ubicación del foco de inicio y superficie quemada del incendio Baradero 2008.



Mapa 3: secuencia cronológica de fotografías tomadas por el camino vecinal en dirección al incendio.



Mapa 4: secuencia cronológica de fotografías capturadas en el lugar del incendio.





Secretaría
de Ambiente
y Desarrollo
Sustentable



Jefatura de
GABINETE de Ministros

Evaluación de peligro de incendios. Informes técnicos Informe Técnico N° 9

El incendio de Baradero de 2008: un caso de comportamiento extremo del fuego.

Autores: M. C. Dentoni, R. G. Zacconni y E. A. Marcuzzi

Editor: Plan Nacional de Manejo del Fuego.

Programa Nacional de Evaluación de Peligro de Incendios y Alerta Temprana.

Ruta 259 Km 4 - Esquel, Chubut, Argentina.

Publicación seriada de periodicidad irregular. ISSN 2313-9420 - Octubre de 2013