



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

INFORME TÉCNICO PERSONAL FALLECIDO

INCENDIO FORESTAL “PASO DE LA LEONA”

ESTADO DE MÉXICO

Alcance
Nacional

EQUIPO TÉCNICO INVESTIGADOR



“Hacia la profesionalización del servicio”

ABRIL 2023

EN MEMORIA DE:



**JOAQUÍN
SÁNCHEZ ATLATENCO**

Combatiente de Incendios
Forestales

Brigada ECO32
Sacromonte

EQUIPO TÉCNICO INVESTIGADOR (ETI)

Dámaso Almanza Tinoco
Comandante del Incidente

Titular de la Promotoría de Desarrollo Forestal
de la CONAFOR en el Estado de México

Ismael Torres Delgado
Jefe de Sección de Operaciones

Jefe del Departamento de Capacitación, Entrenamiento y
Cooperación Internacional. Gerencia de Manejo del Fuego de la
CONAFOR

Vicente González Sánchez
Jefe de Sección de Planificación

Asistente Técnico de la Subgerencia de Operaciones.
Gerencia de Manejo del Fuego de la CONAFOR

Kristell Almazán Hernández
Jefa de Sección de Logística

Enlace de Incendios, Promotoría de Desarrollo Forestal
de la CONAFOR en el Estado de México

Dante Arturo Rodríguez Trejo
Especialista Técnico en Manejo del Fuego

Profesor-Investigador, División de Ciencias Forestales,
Universidad Autónoma Chapingo

Miguel Ángel Crispín Isidro
Especialista Técnico en Topografía

Analista de Área Natural Protegida CONANP

Luisa Fernanda Montiel Figueroa
Especialista Técnico en Combustibles

Enlace Técnico en Operaciones de Manejo del Fuego,
Promotoría de Desarrollo Forestal en el Estado de México



Imagen 1. Reunión de trabajo del Equipo Técnico Investigador.

RESUMEN EJECUTIVO DEL INCIDENTE

En la mañana del día jueves 16 de febrero del 2023, se detectó un incendio forestal en el paraje denominado “Paso de la Leona” del Ejido Tlalmanalco, Municipio Tlalmanalco, Estado de México, ubicado en los límites del Área Natural Protegida “Parque Nacional Iztaccíhuatl–Popocatepetl”, ejido con vegetación bosque de pino que fue atendido inicialmente por los mismos propietarios.

El Centro Estatal de Manejo del Fuego al recibir el reporte del incendio forestal vía telefónica y por la proximidad al incidente, hizo el despacho de la Brigada ECO32 Sacromonte de la CONAFOR, llegando al apoyo de la brigada del mismo ejido, posteriormente, llegó también la Brigada Comunitaria PRONATURA-CONANP-PASO DE CORTÉS, ambas brigadas con campamentos ubicados en el municipio de Amecameca, Estado de México.

A las 13:00 horas, se hace un retiro táctico de recursos por parte de la Brigada Comunitaria del Ejido Tlalmanalco, considerando el alto porcentaje de control del incendio, para atender otra columna de humo que observaron a distancia dentro de su mismo Ejido, cediendo el mando del incidente a la Brigada ECO32 Sacromonte.

La brigada al mando, hace un replanteo de las tácticas y proceden a verificar el avance y dirección del incendio, decidiendo atacar el frente del mismo con trabajos de contención y ataque indirecto en la cañada “El Yegüero”.

A las 15:00 horas, los combatientes se percataron de los cambios en la velocidad del viento que originaron que se propagara una columna de humo hasta el lugar en el que estaban trabajando. Decidieron suspender las actividades de combate y reportaron vía telefónica al Centro Estatal de Manejo del Fuego que continuarían el día siguiente con el apoyo de más brigadas.

Una vez que el humo disminuyó en la zona y al concentrarse el personal en el punto de reunión establecido, se percataron que faltaba un combatiente oficial de CONAFOR, procediendo a su búsqueda y encontrándolo fallecido junto a un tocón en la pendiente con exposición oeste y a un costado de la brecha cortafuego que él mismo construía junto a otros combatientes.

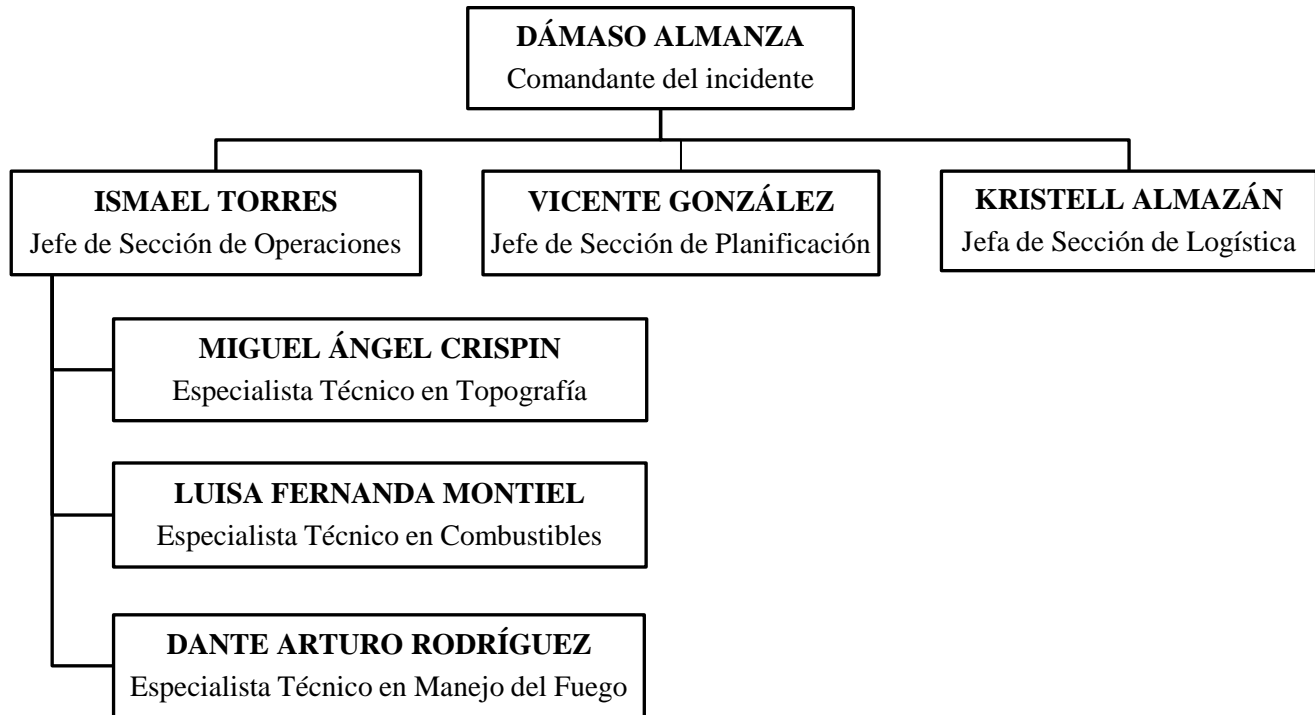


Imagen 2. Sitio del accidente en cañada “El Yegüero”.

METODOLOGÍA

La metodología de investigación se realizó conforme a lo establecido en la “Guía para el Análisis y Registro de Accidentes en Actividades de Manejo del Fuego 2023” de la CONAFOR.

a) Estructura del Equipo Técnico Investigador



b) Plan General de Trabajo

Fecha	Actividad
Lunes 17/abril	<ul style="list-style-type: none">Reuniones de trabajo con autoridades estatales y federales en las instalaciones de la Coordinación General de Protección Civil y Gestión Integral del Riesgo del Estado de México.
Martes 18/abril	<ul style="list-style-type: none">Aplicación de encuestas a personal combatiente que presenció el accidente.Entrevistas al personal de la Brigada Comunitaria del Ejido Tlalmanalco y al jefe de la Región de la Coordinación General de Protección Civil y Gestión Integral del Riesgo.
Miércoles 19/abril	<ul style="list-style-type: none">Movilización al sitio del accidente.Evaluaciones técnicas del sitio.
Jueves 20/abril	<ul style="list-style-type: none">Análisis de la información recabada.
Viernes 21/abril	<ul style="list-style-type: none">Integración del informe técnico de lecciones aprendidas

RESULTADOS

a) Cronología del Incidente

De las actividades realizadas por el EQUIPO, tales como: Aplicación de encuestas y entrevistas al personal que estuvo en el momento del accidente, de la información proporcionada por la autoridad responsable de la diligencia del levantamiento del cuerpo y del Centro Estatal de Manejo del Fuego, se construyó la siguiente línea de tiempo:

Horario	Actividad
08:30	<ul style="list-style-type: none">Atención del reporte de incendio forestal y despacho de la Brigada ECO32 Sacromonte de CONAFOR por el Centro Estatal de Manejo del Fuego.
10:30	<ul style="list-style-type: none">Llegada de la Brigada ECO32 Sacromonte al incidente, reportando que la Brigada Comunitaria del Ejido se encontraba trabajando y realizando el ataque inicial.
10:45	<ul style="list-style-type: none">La Brigada ECO32 Sacromonte, se incorporó a las actividades de combate de la Brigada Comunitaria del Ejido.
12:00	<ul style="list-style-type: none">La Brigada PRONATURA llega al lugar del incidente y se pone a disposición para apoyar el combate del incendio forestal.
13:00	<ul style="list-style-type: none">La Brigada Comunitaria del Ejido, se retira del lugar para atender otra columna de humo que observaron en su mismo ejido, considerando el alto porcentaje de control y cede el mando del incidente a la Brigada ECO32 Sacromonte. Se hace un replanteo de las tácticas y deciden atacar el frente del incendio con trabajos de contención y ataque indirecto en la cañada “El Yegüero”.
15:00	<ul style="list-style-type: none">La Brigada ECO32 Sacromonte informa al Centro Estatal de Manejo del Fuego el cambio repentino en la velocidad y dirección del viento.
15:15	<ul style="list-style-type: none">La Brigada ECO32 Sacromonte informa al Centro Estatal de Manejo del Fuego que el incendio se salió de control extendiéndose una columna de humo en el lugar, provocando que los combatientes se dispersaran para salvaguardar su vida y tomando la decisión de ya no continuar con los trabajos y dejar el incendio pendiente para combatirlo al siguiente día con el apoyo de más brigadas.
15:30	<ul style="list-style-type: none">Pasada la columna de humo y a falta de un combatiente en el punto de reunión, se procedió a su búsqueda, produciéndose el lamentable hallazgo. La Brigada ECO32 Sacromonte informa al Centro Estatal de Manejo del Fuego el fallecimiento de un integrante de su brigada.
15:45	<ul style="list-style-type: none">El Centro Estatal de Manejo del Fuego, notifica a la Fiscalía del Estado el fallecimiento de un combatiente de incendios forestales de la CONAFOR adscrito a la PDF del Estado de México e instruye a la Brigada ECO32 Sacromonte resguardar el lugar.
17:00	<ul style="list-style-type: none">Protección Civil Regional y la Fiscalía del Estado proceden al levantamiento del cuerpo y a la investigación judicial correspondiente.
22:00	<ul style="list-style-type: none">El Servicio Médico Forense de Ixtapaluca recibe el cuerpo del fallecido.

b) Hallazgos

Para una mejor comprensión de los hechos narrados en las encuestas y entrevistas del personal que presencié el accidente, el EQUIPO realizó trabajos técnicos en campo.

Los hallazgos en el sitio y la recreación de los hechos fueron fundamentales para determinar el mejor escenario posible apegado a la realidad del comportamiento del fuego en el momento del accidente.

- Factores Ambientales

El Centro Estatal de Manejo del Fuego, aportó los datos del pronóstico del tiempo, índice de sequedad y riesgo de ocurrencia de incendios del día del accidente.

- **Tiempo Atmosférico**

El Sistema Mexiquense de Alerta Temprana Hidrometeorológica, emitió el siguiente Boletín de fecha 16 de febrero de 2023:

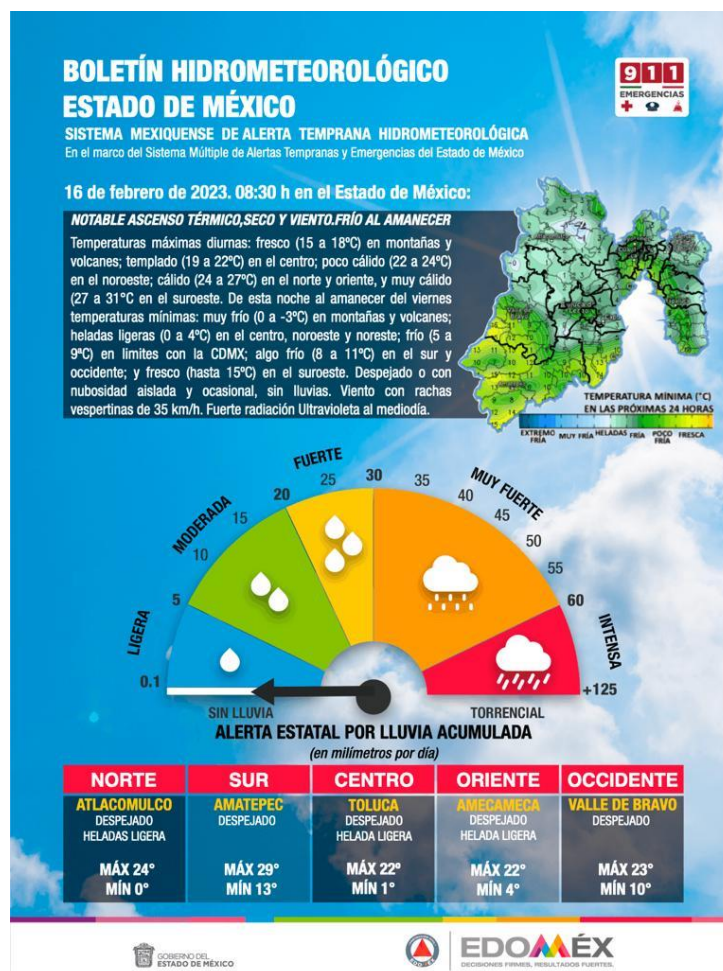


Imagen 3. Boletín Hidrometeorológico, Estado de México.

De la Comisión Nacional del Agua se obtuvo el siguiente pronóstico del tiempo:

Parámetro	Pronóstico
Precipitación	0%
Temperatura máxima	24°C
Humedad relativa	19%
Viento	Sur – 21 km/h

El EQUIPO obtuvo datos de la Estación Meteorológica número 15018 Manuel Ávila Camacho, ubicada a 12 kilómetros de distancia y al noroeste del punto del accidente, en el municipio de Ixtapaluca, Estado de México.

De acuerdo a los datos anteriores, el EQUIPO determinó que este incidente fue influenciado por el efecto “surada” (viento proveniente del sur y sureste) que se presentó 24 horas antes de la llegada de un frente frío a la región. Fue considerablemente fuerte y poco usual para el mes de febrero, ya que es el tiempo en que comienza a disminuir la intensidad de los frentes fríos.

Estos vientos se incrementaron por las condiciones topográficas de la zona volcánica del Iztaccíhuatl-Popocatepetl, favoreciendo la presencia de **fuertes rachas de viento y turbulencia en la zona.**

El EQUIPO para el análisis del comportamiento del fuego, el EQUIPO consideró los datos registrados para la intensidad del viento del Modelo Meteorológico Europeo y de la misma Estación Meteorológica Manuel Ávila Camacho:

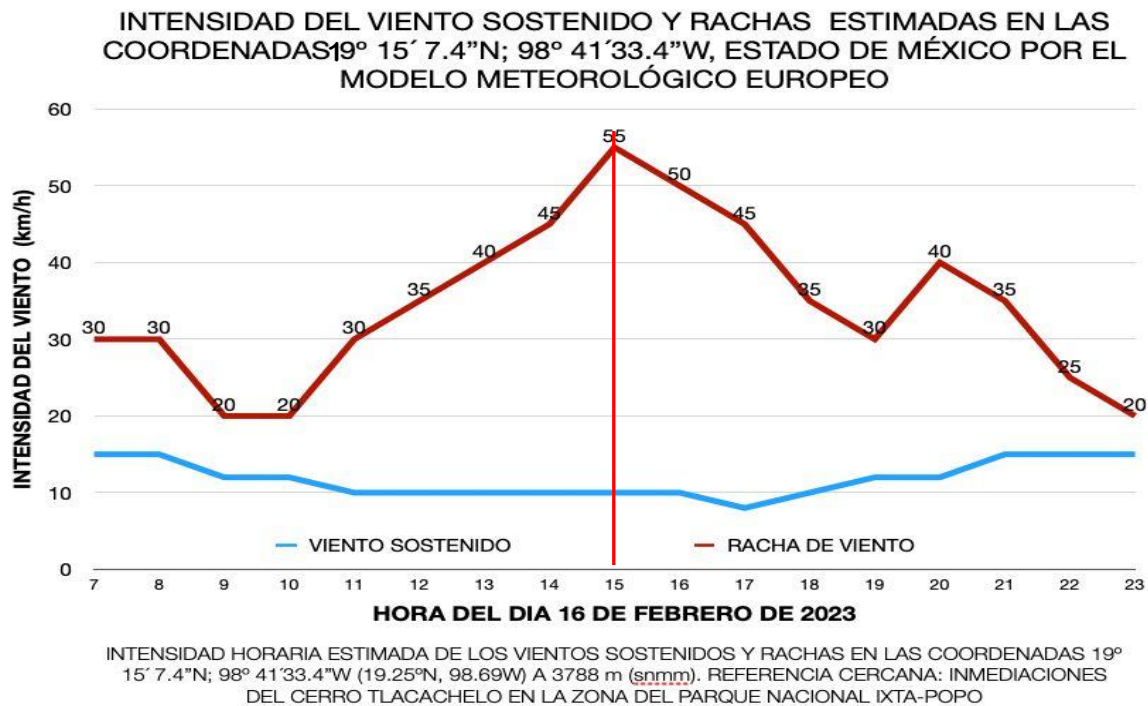
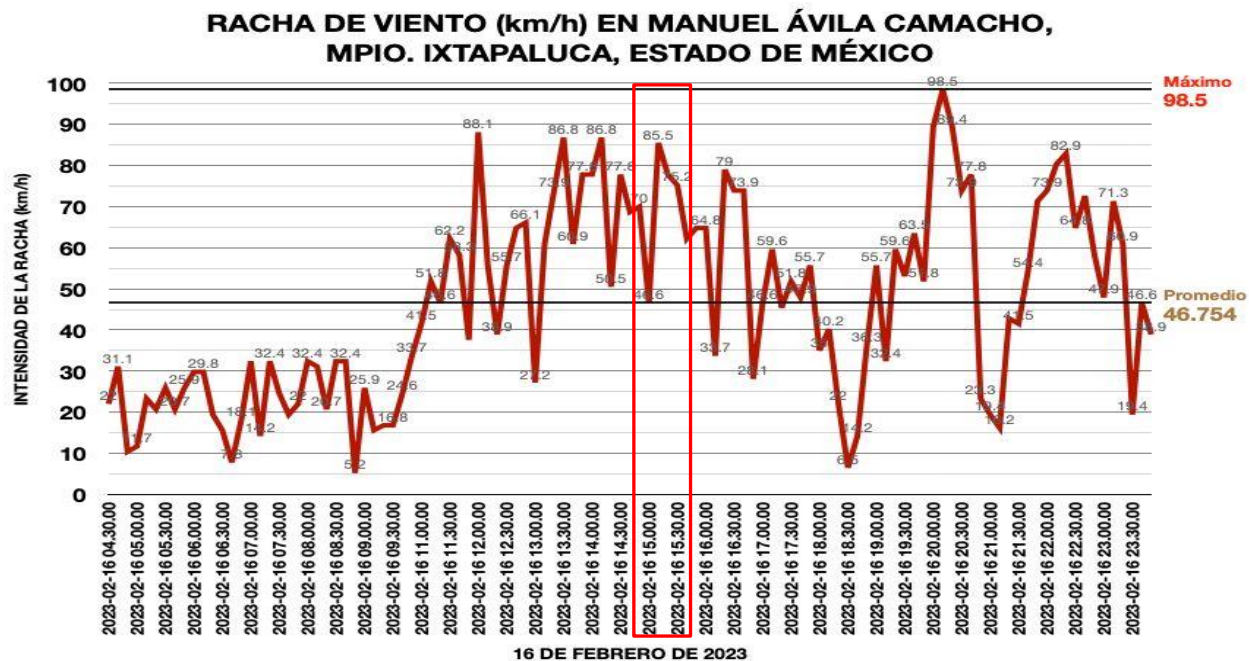


Imagen 4. Intensidad del viento sostenido y rachas estimadas, Estado de México, 16/feb/2023.



INTENSIDAD DE LAS RACHAS DE VIENTO REGISTRADOS CADA 10 MINUTOS EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DE LA CONAGUA (OCAVAM) EN LA COMUNIDAD DE MANUEL ÁVILA CAMACHO, MUNICIPIO DE IXTAPALUCA, A 2958 m (snmnm).
Las cotas de fecha se indican cada 30 minutos, pero la serie incluye datos cada 10 min.

Imagen 5. Ráfagas de vientos durante el 16 de febrero, registradas en la estación meteorológica Ávila Camacho, Ixtapaluca, Estado de México. El recuadro rojo indica las ráfagas de viento entre 15:00 y 15:30 horas. Información proporcionada por Protección Civil Estatal.

- **Combustibles**

En el estudio técnico de combustibles, se analizaron dos puntos representativos de la cañada para la determinación de la severidad del fuego: Sitio del accidente y sitio aledaño del accidente.

a) Tipo de Vegetación

La vegetación coincide con la capa de Uso de Suelo y Vegetación Serie VII del INEGI, siendo **bosque de pino (*Pinus hartwegii*)**, que se clasifica como un ecosistema dependiente del fuego, donde las especies han desarrollado adaptación y se regeneran rápidamente.

b) Tipo de combustible

El combustible presente en el lugar, se cataloga con base en los 6 grupos que clasifica la CONAFOR, dentro de **pastos-arbustos**. Es lo que predomina de acuerdo al tipo de vegetación.

Se afectaron 55 hectáreas de material herbáceo y 34.24 hectáreas de arbustos, dando un total de 89.24 hectáreas quemadas, verificadas con imagen satelital Sentinel II, de las cuales 45.73 hectáreas se ubican dentro del Área Natural Protegida Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl.

Los combustibles con exposición sur y suroeste son los más secos y livianos, en este caso, el

punto de la ladera donde fue el accidente cuenta con exposición Oeste, favoreciendo la propagación del fuego. Además, se encontraron zonas de sotobosque fuera del área del accidente.

Datos del sitio del accidente

El Modelo de Combustible se determinó con base a la Guía para la Selección de Modelos de Combustible Usados en la Estimación del Comportamiento del Fuego que clasifica Hal E. Anderson (1982), resultando el **modelo de combustible Tipo 3, pastizal alto**.



Imagen 6. Condición representativa del combustible después del incendio.

Levantamiento

Disposición del combustible	Superficial y horizontal uniforme
Tipo de combustibles superficiales dominantes	Zacatonal
Modelo de Combustibles Anderson	Modelo Tipo 3 Pastizal alto (0.75 m)
Altura del pastizal	Entre 30 a 70 cm
Altura de arbustos	Hasta 3 m
Cobertura del pastizal	Entre 80 a 90 %
Cobertura de arbustos	Aprox. 5 %
Cobertura de la capa de hojarasca	Aprox. 15 %
Cobertura de copas del dosel arbóreo	Aprox. 25 %
Carga estimada total	Aprox. 15 ton/ha (12 ton/ha de pastizal, 2 ton/ha de hojarasca y 1 ton/ha de materiales leñosos)
	14 ton/ha – 1 hora
	1 ton/ha – 10 horas
Humedad en el combustible	6 % al momento del accidente



Imagen 7. Condición del combustible sin quemar.



Imagen 8. Condición del combustible después del incendio.

Datos del sitio aledaño del accidente



Imagen 9. Condición representativa del Modelo de Combustible Tipo 3 después del incendio.

Levantamiento

Disposición del combustible	Superficial y horizontal uniforme Vertical (escalera y aéreo)
Tipo de combustibles superficiales dominantes	Sotobosque
Modelo de Combustibles Anderson	Modelo Tipo 2 Pastizal y sotobosque
Altura del pastizal	Entre 20 a 50 cm
Altura de arbustos	de 1.3 a 1.9 m
Cobertura del pastizal	30 a 40 %
Cobertura de arbustos	1 %
Cobertura de la capa de hojarasca	70 %
Cobertura de copas del dosel arbóreo	70 %
Carga estimada total	16 ton/ha
Humedad en el combustible	9 %

Se identificó el **Modelo de Combustible Tipo 2**, pastizal y sotobosque.



Imagen 10. Modelo de combustibles de sotobosque. Nótese que, debido a la presencia de pinos, hay abundante hojarasca de estos.



Imagen 11. Condición del combustible quemado.

Índice de Sequedad:

El Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales (SPPIF), determinó lo siguiente:

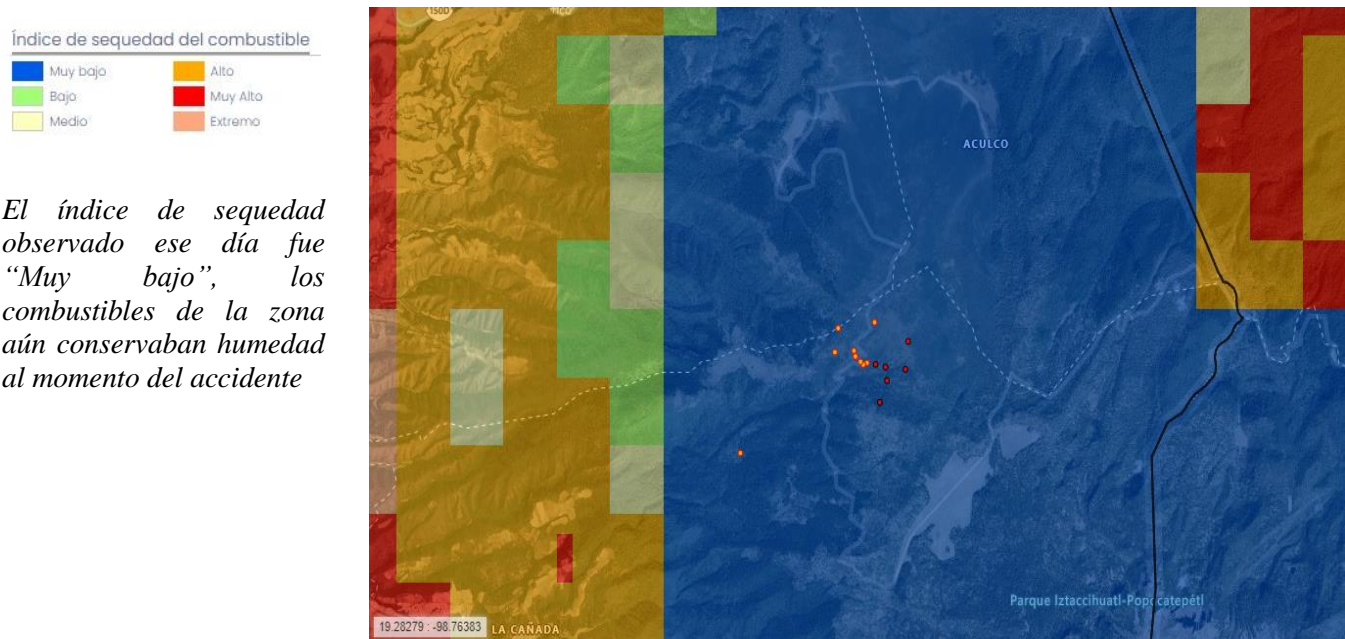


Imagen 12. Índice de Sequedad. Puntos de calor captados en la imagen satelital, 16/02/2023.

Riesgo de Ocurrencia de Incendios:



Imagen 13. Riesgo de Ocurrencia de Incendios. Puntos de calor captados en la imagen satelital, 16/02/2023.

Topografía

Del polígono del incendio y del recorrido en campo, se corroboró que la forma del incendio fue **irregular** y con características **topográficas tipo cañada, peñascos y chimeneas**.

En el sitio del accidente, el fuego se dividió en dos direcciones, al Oeste con una altitud de 3,529 m.s.n.m., y al Este la cabeza del incendio con 3,687 m.s.n.m. Considerando una longitud total del incendio de vértice a vértice en dirección Este-Oeste de 1,435 m.

La pendiente del lugar es pronunciada y en la cañada donde se presentó el accidente fue de 85% y en la base del arroyo cercano de 37%. La medición en campo fue con clinómetro.

El accidente ocurrió en la cañada denominada “El Yegüero” en la parte media del incendio, este último ocurrió al inició en el paraje “Tenacoxco, Majadas” y llegó hasta el “Paso de la Leona” en el Ejido Tlalmanalco.

En la zona cercana al área del accidente se encontraron hileras de zanjas infiltradoras de agua, con medidas de 0.40 x 0.40 x 2.00 metros, estas fueron utilizadas como apoyo para el establecimiento de la línea de control.



Imagen 14. Zanjas filtradoras de agua.



Imagen 15. Características y condiciones topográficas de la Cañada “El Yegüero”.

- **COMPORTAMIENTO DEL FUEGO**

Una vez que se determinaron los RESULTADOS, en el estudio de comportamiento del fuego, también se analizaron dos escenarios: el sitio del accidente y el sitio aledaño del accidente.

Estimación en el sitio del accidente

<u>Hora del accidente:</u>	Entre 15:00 y 15:30 horas.
<u>Altitud:</u>	3,568 m.s.n.m.
<u>Pendiente:</u>	85%



Imagen 16. Junto al tocón, fue el punto del accidente. Nótese la marcada pendiente (85%).

Modelo de combustibles: Tipo 3 (pastizal alto)



Imagen 17. Combustibles de pastizal alto, en una zona aledaña a la del incendio. La escala (palo verde indicado con la flecha roja) mide 1.10 m.

Humedad de combustibles con 1 h TR: 5% + 1% = 6%

Nota: A las 15:30 horas en la **estación meteorológica de Altzomoni**, en el cerro del mismo nombre, a 4,007 m.s.n.m., se tuvo una temperatura de 15.2 °C y una humedad relativa de 21%.

Para la **estación meteorológica Ávila Camacho** (2,958 m.s.n.m.), tales valores a esa hora fueron 18.5 °C y 31% de humedad relativa, también a las 15:30 horas.

La diferencia de altitud entre las dos estaciones meteorológicas fue igual a 1,049 m., la de temperaturas de 3.3 °C y la de la humedad relativa 10%.

$$4,007 \text{ m.s.n.m.} - 2,958 \text{ m.s.n.m.} = 1,049 \text{ m.s.n.m.}$$

$$18.5 \text{ °C} - 15.2 \text{ °C} = 3.3 \text{ °C}$$

$$3.3 \text{ °C}/10.49 \text{ hectómetros} = 0.31 \text{ °C}/100 \text{ m.}$$

El gradiente de temperatura sería aproximadamente de 0.31 °C/100 m. Como el accidente ocurrió a 3,568 m.s.n.m., se estima una **temperatura de 16.6 °C ahí en el momento en que este ocurrió.**

Con el mismo procedimiento de extrapolación, se tiene un gradiente de humedad relativa de 0.95%/100 m.

$$4,007 \text{ m.s.n.m.} - 2,958 \text{ m.s.n.m.} = 1,049 \text{ m.s.n.m.}$$

$$31\% - 21\% = 10\%$$

$$10\%/10.49 \text{ hectómetros} = 0.95\%/100 \text{ m.}$$

Por lo anterior, se estima una **humedad relativa en el sitio del accidente de 25.2%**

Todas estas observaciones y extrapolaciones corresponden a las 15:30 horas.

Se consideró la temperatura en el intervalo de 10 a 20 °C y la humedad relativa en el de 25 a 29%, así como exposición Oeste, combustibles expuestos y las 15:30 horas (redondeado a las 16 horas para usar las tablas con las cuales se estima el contenido de humedad de combustibles finos).

Para la estimación de la humedad de combustibles con 1 h TR, se usaron las tablas de Sackett y colaboradores, contenidas en el “libro blanco” de SEMARNAT/USDA FS (S.F.).

Racha de viento a las 15:30 horas: 34.2 km/h

Nota: El parte meteorológico refiere ráfagas de hasta 85.5 km/h (a 6 m., con respecto al nivel del piso) en la estación meteorológica Manuel Ávila Camacho en torno a la hora del accidente el 16 de febrero del presente año. Esto corresponde, en terreno llano y considerando el factor de 0.4 (SEMARNAT/USDA FS, S.F.) para convertir a velocidad a media llama en zacatonal abierto:

$$85.5 \text{ km/h} (0.4) = 34.2 \text{ km/h.}$$

Asimismo, la hora del accidente corresponde con la entrada de una “surada”. Sin embargo, este caso aconteció en una gran cañada angosta, donde se presentó efecto chimenea y el sitio del accidente además muestra la **característica topográfica tipo puerto**. Por tal razón, es posible que se esté subestimando la velocidad del viento en el punto del accidente.

Producto de la simulación en el sistema Behave Plus v. 6.0 (USDA FS, 2017), con los datos estimados anteriores, se obtuvo el siguiente comportamiento del fuego en el punto del accidente:

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN: 293.4 m/min

LONGITUD DE LLAMA: 10.3 m

Nota complementaria: Los datos de cicatriz sobre el tronco (promedio igual a 2.33 m) del lado inferior de la ladera en los pocos árboles presentes y muestreados en el perímetro del punto del accidente (a no más de 20 m de éste) pudieran parecer bajos, pero corresponden, pues obedecen a la fuerte pendiente del punto.

El chamuscado letal alcanzó de 4.0 a 8.0 m y el no letal fue superior a 5.5 m. En la zona extensiva del accidente se observaron árboles del orden de 20.0 m de altura con la copa totalmente deshidratada (la parte de abajo quemada) por el calor del fuego.



Imagen 18. El árbol junto a la persona de la foto, tiene 6.0 m de altura y resultó con total chamuscado letal en su copa. A espaldas de dicha persona, está el claro donde ocurrió el comportamiento extremo del incendio en el punto del accidente, denotado por el tocón hacia el cual esta persona mira.

Estimación en el sitio aledaño (Zona de Seguridad)

Hora del accidente: Entre 15:00 y 15:30 horas.
Altitud: 3,568 m.s.n.m.
Pendiente: 34%



Imagen 19. Pendiente en el área aledaña, utilizada como ruta de escape. Esta es de 34%.

Modelo de combustibles: Tipo 2 (sotobosque)

Humedad de combustibles con 1 h TR: 5% + 4% = 9%

Nota: A las 15:30 horas en la estación meteorológica de Altzomoni, a 4,007 m.s.n.m., se tuvo una temperatura de 15.2 °C y una humedad relativa de 21%. Para la estación meteorológica Ávila Camacho (2,958 m.s.n.m.), tales valores a esa hora fueron 18.5 °C y 31%, también a las 15:30 horas.

La diferencia de altitud entre las dos estaciones meteorológicas fue igual a 1,049 m, la de

temperaturas de 3.3 °C y la de la humedad relativa 10%.

$$4,007 \text{ m.s.n.m.} - 2,958 \text{ m.s.n.m.} = 1,049 \text{ m.s.n.m.}$$

$$18.5 \text{ °C} - 15.2 \text{ °C} = 3.3 \text{ °C}$$
$$3.3 \text{ °C}/10.49 \text{ hectómetros} = 0.31 \text{ °C}/100 \text{ m}$$

El gradiente de temperatura sería aproximadamente de 0.31 °C/100 m. Como el accidente ocurrió a 3,568 m.s.n.m., se estima una **temperatura de 16.6 °C ahí en el momento en que este ocurrió.**

Con el mismo procedimiento de extrapolación, se tiene un gradiente de humedad relativa de 0.95%/100 m.

$$4,007 \text{ m.s.n.m.} - 2,958 \text{ m.s.n.m.} = 1,049 \text{ m.s.n.m.}$$

$$31\% - 21\% = 10\%$$

$$10\%/10.49 \text{ hectómetros} = 0.95\%/100 \text{ m}$$

Por lo anterior, se estima una **humedad relativa en la zona de seguridad de 25.2%.**

Todas estas observaciones y extrapolaciones corresponden a las 15:30 horas.

Se consideró la temperatura en el intervalo de 10 a 20 °C y la humedad relativa en el de 25% a 29%, así como exposición Oeste, combustibles sombreados y las 15:30 horas (redondeado a las 16 horas para usar las tablas para estimar el contenido de humedad de combustibles con 1 h TR).

Para la estimación de la humedad de combustibles con 1 h TR, se usaron las tablas de Sackett y colaboradores, contenidas en el “libro blanco” de SEMARNAT/USDA FS (S.F.).

El contenido de humedad de los materiales leñosos con 10 h TR, 100 h TR y herbáceos vivos se estimó en 13%, 17% y 120%, respectivamente.

Racha de viento a las 15:30 horas: 17.1 km/h

Nota: El parte meteorológico refiere ráfagas de hasta 85.5 km/h (a 6.0 m con respecto al nivel del piso) en la estación meteorológica Manuel Ávila Camacho, en torno a la hora del accidente el 16 de febrero. Esto corresponde, en terreno llano y considerando el factor de 0.2 (SEMARNAT/USDA FS, S.F.) para convertir a velocidad a media llama (entre arbolado) de:

$$85.5 \text{ km/h} (0.2) = 17.1 \text{ km/h.}$$

Asimismo, la hora del accidente corresponde con la entrada de una “surada”. Sin embargo, este caso aconteció en una gran cañada angosta, donde se presentó efecto chimenea. Por tal razón, es posible que se esté subestimando la velocidad del viento.

Producto de la simulación en el sistema Behave Plus v. 6.0 (USDA FS, 2017), se obtuvo el siguiente comportamiento del fuego en la zona vecina al punto del accidente (zona de seguridad):

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN: 38.2 m/min

LONGITUD DE LLAMA: 3.2 m

Nota complementaria: Los datos de cicatriz sobre el tronco (promedio igual a 0.89 m) del lado inferior de la ladera en el sitio aledaño al del punto del accidente, así como el chamuscado letal (que alcanzó 2.45 m en promedio) y el no letal 5.8 m, fueron considerablemente menores que en el punto del accidente, denotando una menor intensidad del fuego.

Los árboles muestreados tuvieron hasta 8.0 m de altura.



Imagen 20. La presencia de arbolado reduce la abundancia de pastos, así como la velocidad del viento en esta zona aledaña al punto del accidente, lugar utilizado como ruta de escape. Si se compara con la Imagen 18, se ve que la altura letal de chamuscado es mucho menor.

- OPERACIONES TÁCTICAS

Con la narrativa de hechos, el trabajo del EQUIPO consistió en tratar de simular las acciones que realizaron los combatientes de las brigadas, además de tratar de entender las condiciones del tiempo y factores locales que influyeron en el comportamiento del fuego.

El objetivo fue identificar y entender las posibles causas y razones que llevaron a la persona accidentada a tomar las decisiones que creyó convenientes en ese momento.

Los combatientes de la brigada que realizaban la brecha cortafuego, están convencidos que pudieron haberse resguardado en una zona de seguridad antes de que los alcanzara la columna de humo.

La zona quemada de la pendiente contraria, fue una ruta de escape utilizada por un combatiente, recorriéndola cuesta arriba hacia el camino y punto de reunión.

• Recursos en el incidente

Para combatir este incendio forestal, se aplicaron los siguientes recursos:

Personal

- Brigada del Ejido Tlalmanalco, integrada por 7 personas propietarias del Ejido.
- Brigada de PRONATURA-CONANP-PASO DE CORTÉS, integrada por 9 combatientes.
- Brigada de CONAFOR ECO32 Sacromonte, integrada por 9 combatientes. Por el rol de turnos, ese día se presentaron a trabajar 6 y solo participaron 4 en el combate.

Vehículos

- 1 camioneta Ford 3.5 toneladas de la Brigada del Ejido Tlalmanalco.
- 1 camioneta Chevrolet Luv 2005 de la Brigada de PRONATURA-CONANP-PASO DE CORTÉS.
- 1 camioneta Ram 2500, 4 x 4 de la Brigada ECO32 Sacromonte.

Las operaciones tácticas que determinó el EQUIPO, son las siguientes:

El primer reconocimiento y evaluación de la brigada ECO32 Sacromonte, fue al momento de su llegada, hacia las 10:45 horas. Observaron que el incendio se encontraba cerca del camino de terracería donde se reunieron con la brigada comunitaria del Ejido que estaba en el sitio y daba la atención inicial, faltándoles aproximadamente 15.0 metros para cerrar el perímetro de control del incendio.

La brigada ECO32 Sacromonte al inicio evaluó que no había viento y que se trataba de un incendio pequeño, por lo que no requería de recursos adicionales para la supresión.

La brigada ECO32 Sacromonte se incorporó a las labores de control y liquidación del incendio ocupando palas tipo forestal (4, una para cada persona). Faltando poco para finalizar, llegó la brigada PRONATURA y se integró a las labores de liquidación.

A las 13:00 horas la brigada comunitaria observó otra columna de humo en su ejido, determinando que de acuerdo al avance en el porcentaje de control podía retirarse para atenderla, cediendo el mando a la Brigada ECO32 Sacromonte. Las dos brigadas que permanecían en el lugar continuaron con los trabajos de contención.

Aproximadamente a las 13:30 horas, el incendio empezó a escapar de la línea de control e inició su propagación hacia el noreste cruzando el camino de terracería. Las brigadas se reorganizaron tratando de contener su avance; sin embargo, el incendio continuaba escapando de la línea de control. Por lo anterior, los combatientes acordaron replantear la estrategia para su atención a distancia.



Imagen 21. Condiciones de humo, un día después del accidente.

El jefe de la brigada de CONAFOR, estableció una línea de control desde el camino de terracería hacia la parte derecha (pendiente abajo con exposición Este) donde se propagaba el incendio.

En un punto sobre el camino (flanco izquierdo del incendio), las dos brigadas acordaron la construcción de una brecha anclada al camino sobre la ladera descendiente hacia el fondo de la cañada, ubicado a aproximadamente 40.0 metros de distancia y aplicar contrafuego a partir de ese punto para detener el avance del frente del incendio.

La siguiente imagen ilustra de manera general los lugares de los trabajos realizados por las brigadas:

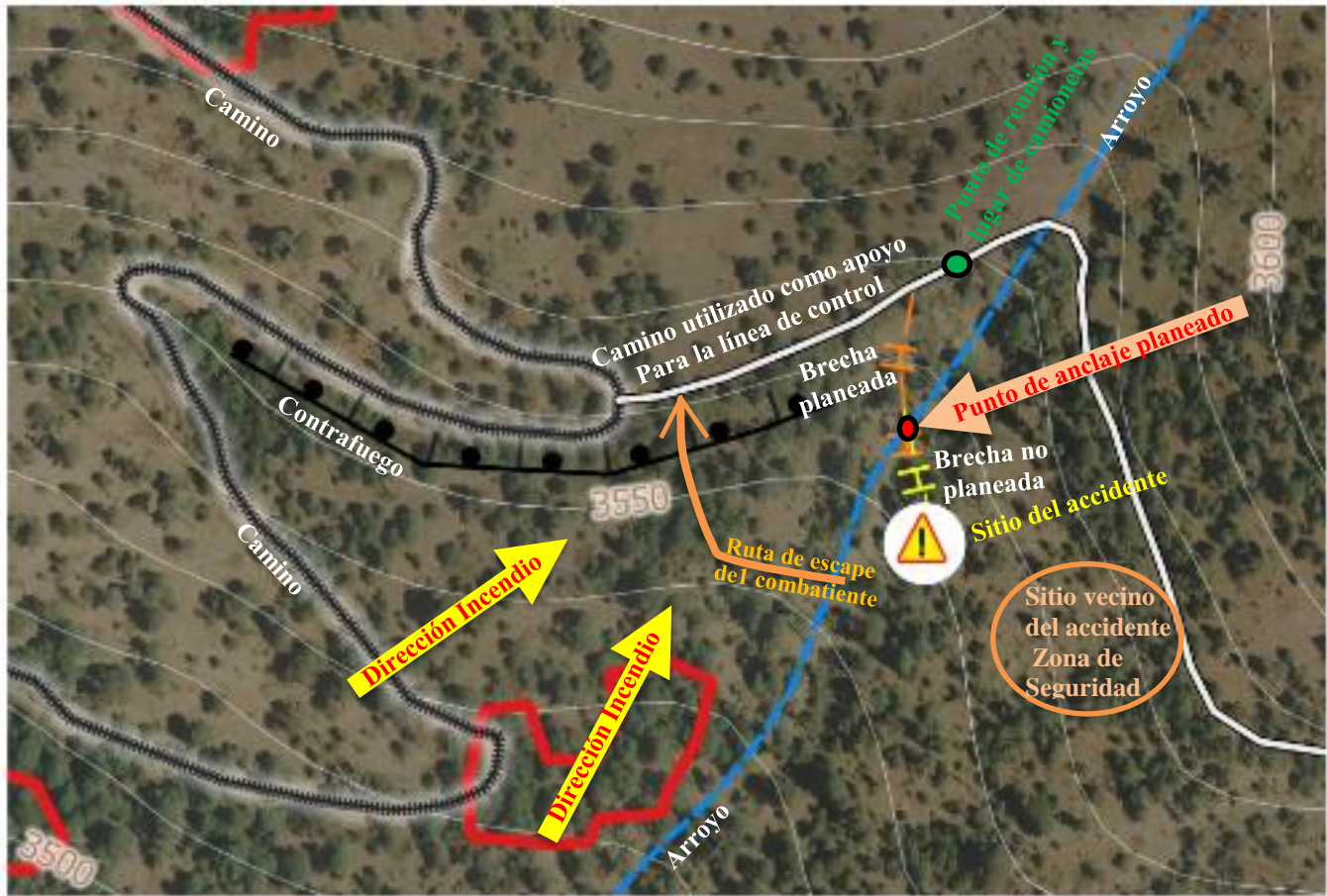


Imagen 22. Vista general de trabajos realizados en la Cañada “El Yegüero”.

Para el desarrollo de esta actividad los jefes de brigada acordaron dividirse en dos brigadas. Una de ellas con 3 elementos de PRONATURA y el jefe de su brigada, además del apoyo de un combatiente de la CONAFOR, esta brigada inició con la construcción de la brecha cortafuego para anclarse en el arroyo, mientras que, la otra brigada integrada por el jefe de la brigada de la CONAFOR y sus otros 2 combatientes, inició un contrafuego por el costado del camino, descendiendo la ladera con exposición Este para que dicho contrafuego avanzara hacia el frente del incendio, hasta la brecha cortafuego que construía el personal.

Al llegar a la brecha cortafuego, el jefe de brigada y los dos combatientes de CONAFOR, continuaron con el contrafuego descendiendo por la pendiente hacia el arroyo. A media ladera, el jefe de la brigada CONAFOR observó que en el fondo del arroyo no se encontraban los compañeros de la otra brigada. También notó que, cruzando el arroyo sobre la pendiente de enfrente, había una brecha cortafuego recién construida, pero no logro ver al personal y no tenía comunicación con ellos. En ese momento, y al no haber viento, detuvieron el contrafuego para revisar que tan cerca se encontraba el incendio.

El jefe de la brigada bajó por la ladera para revisar el punto de anclaje del arroyo y dio la espalda al incendio, cuando observó el comportamiento del fuego, se dio cuenta que los combustibles que tenía tras de sí, ya se habían encendido. Asimismo, se percató del cambio en la dirección del viento, el cual originalmente venía del sur, pero ahora avanzaba a favor de la pendiente.

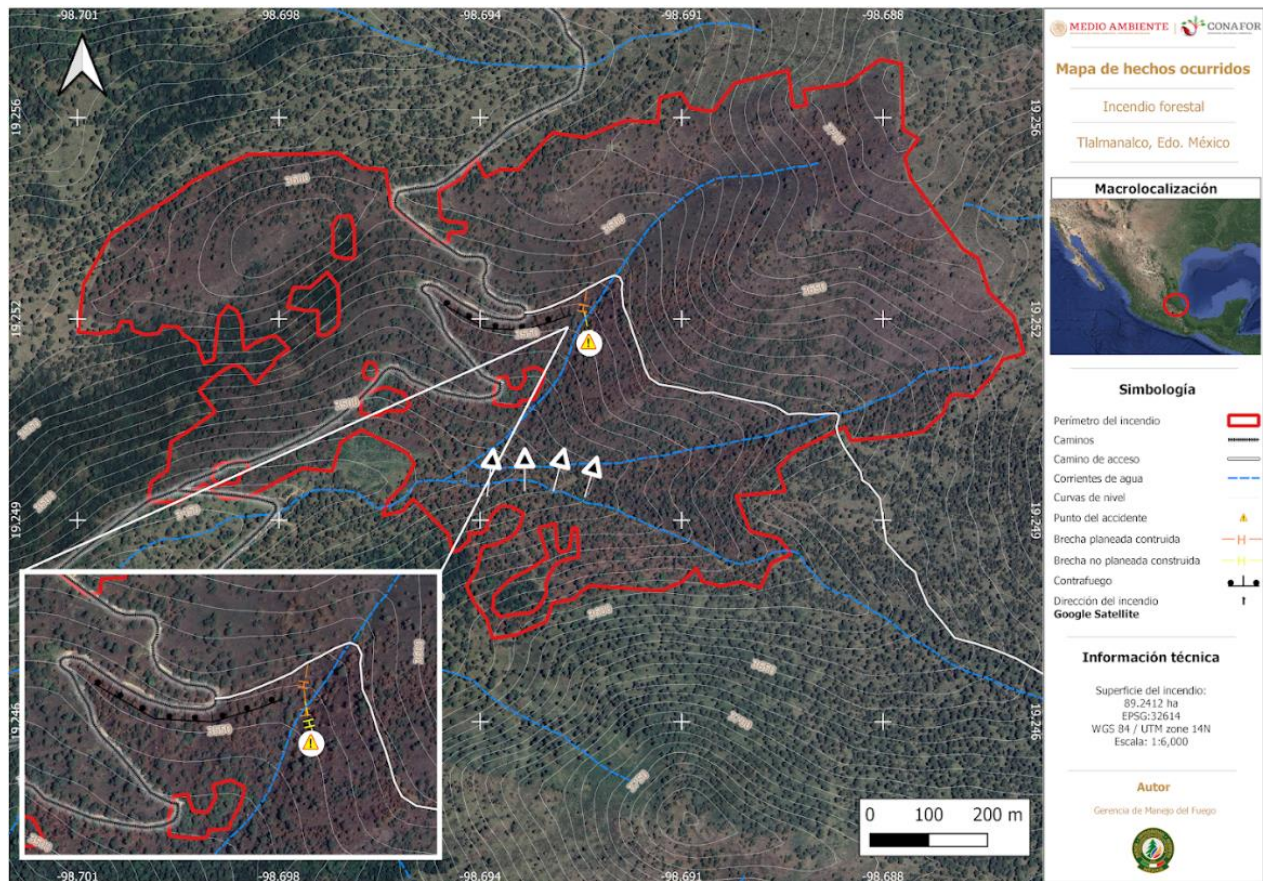


Imagen 23. Polígono del incendio y sitio del accidente.

El jefe de brigada indicó a los otros dos combatientes que subieran al camino (lugar donde dejaron las camionetas). En su mismo trayecto de subida, voltearon hacia la ladera donde la otra brigada construía la brecha cortafuego no planeada, observando cómo se propagaba la columna de humo y que ahora esta ladera era parte del frente principal del incendio.

La brigada al llegar al punto de reunión donde habían dejado las camionetas observó que faltaba por reportarse el combatiente de CONAFOR que construía la brecha cortafuego con el otro grupo. Al percatarse de su ausencia se decidió buscarlo y tratar de localizarlo e incluso llamarle a su celular sin obtener respuesta.

El jefe de la brigada CONAFOR preguntó a sus compañeros de brigada por el compañero faltante, estos le respondieron que cuando los alcanzó la columna de humo corrieron en diferentes direcciones para salvaguardar su integridad física y que, en ese momento, se alertaron entre sí a gritos para poder escapar. Uno de ellos escapó sobre la zona quemada en la ladera con exposición Este y los otros lo hicieron regresando por la zona donde estaban construyendo la brecha cortafuego, debido a la densidad del humo, ya no les fue posible apreciar la dirección que había tomado el combatiente faltante.



Imagen 24. Panorámica general, cañada “El Yegüero”. Pendientes de hasta 85 %.



Imagen 25. Vista de la brecha construida no planificada con dirección al sur, sobre su trayecto se encontraron numerosos árboles caídos. La línea curva amarilla indica la trayectoria de la brecha.

Al percatarse de su ausencia las dos brigadas procedieron a su búsqueda, siguiendo el mismo trayecto al sur de la brecha cortafuego no planeada, recorriendo aproximadamente 50 metros, el jefe de brigada de CONAFOR lo encontró ya sin vida, boca abajo y junto a un tocón de árbol a un costado de la misma brecha cortafuego no planeada. En ese momento el tocón seguía ardiendo junto al cuerpo, por lo cual entre el jefe de la brigada y los demás compañeros procedieron a extinguir el fuego del tocón con la misma tierra del lugar. **De acuerdo al certificado de defunción, se determinó que la causa de la muerte fue intoxicación por monóxido de carbono**, por el comportamiento explosivo del incendio.



Imagen 26. Punto de anclaje y división de trabajos.

El jefe de brigada de CONAFOR informó el deceso al Centro Estatal de Manejo del Fuego, recibiendo la instrucción de salvaguardar el cuerpo y el sitio del accidente hasta que llegara la Fiscalía del Estado y Protección Civil para el levantamiento del cuerpo e investigación correspondiente.

Al mismo tiempo, la autoridad de CONAFOR en el Estado reportaba los hechos a sus superiores en Oficinas Centrales para apoyar con los trámites administrativos correspondientes, además de dar la noticia a los familiares del fallecido.

A las 17:00 horas llegó personal de Protección Civil Regional y de la Fiscalía del Estado, procediendo al aseguramiento del lugar del accidente, levantamiento del cuerpo y a la investigación judicial correspondiente. Llevando posteriormente el cuerpo del fallecido al servicio médico forense de Ixtapaluca, Estado de México.



Imagen 27. Construcción de brecha cortafuego NO planeada. Nótese el obstáculo en ladera.



Imagen 28. Cañada donde ocurrió el accidente, unos metros aguas abajo y sobre la ladera del lado izquierdo.

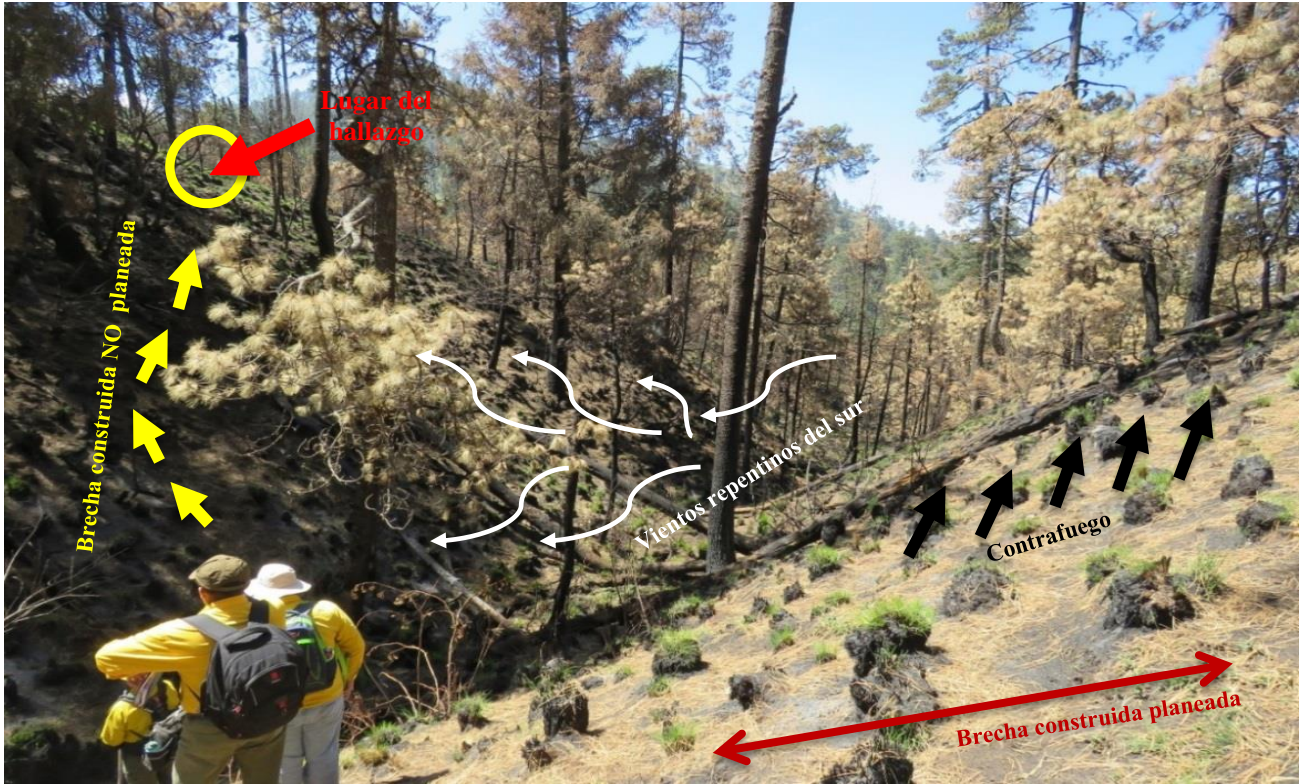


Imagen 29. Vista del arroyo al fondo de la cañada. Aquí se planeificó el punto de anclaje de la brecha para establecer el contrafuego sobre la ladera con exposición Oeste.

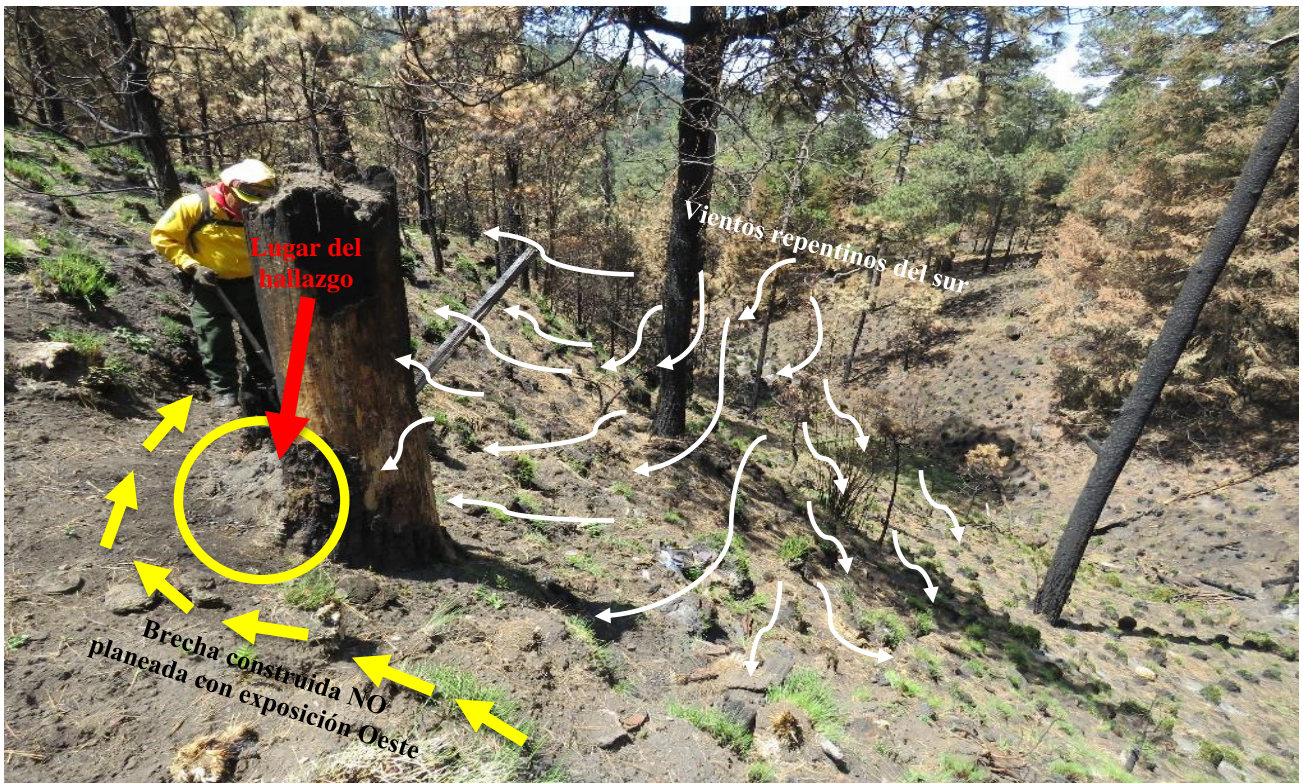


Imagen 30. Lugar del hallazgo y dirección del viento que ocasiono un incendio de comportamiento explosivo.

• FACTOR HUMANO

El EQUIPO aplicó un análisis de factores humanos para identificar si en el combatiente accidentado influyó alguna situación de carácter personal o laboral.

• CONCIENCIA SITUACIONAL

Con este análisis el EQUIPO determinó que existió alguna situación que muy probablemente influyó en alguna toma de decisión no adecuada.

De la información recabada en las entrevistas y comentarios en el sitio, se identificaron los posibles factores que llevaron a una toma de decisión no adecuada:

- 1) Situación personal por la pérdida reciente de un familiar.
- 2) Cambio de decisión de continuar con la construcción de brecha cortafuego, pasando el arroyo a mitad de la ladera del sitio del accidente, sin notificar al comandante del incidente.
- 3) Posibles enfermedad, fatiga y sofocación en la persona accidentada, sin notificación al comandante del incidente o a algún compañero durante la atención del incendio. Esto se determinó ya que de acuerdo a lo recabado el combatiente fallecido siempre demostró una gran capacidad física, por lo que les resultó extraño a sus compañeros verlo sentado y sofocado luego de extraer un zacatón grande, minutos antes de que las columnas de humo y el fuego los alcanzaran.



Imagen 31. Entrevistas con los integrantes de las brigadas para la cronología del accidente.

CONCLUSIONES

Con este trabajo del EQUIPO no se le resta valor a ninguna de las acciones de los combatientes que participaron en el trágico incendio. La realidad es que nunca sabremos a ciencia cierta las decisiones que tomó el hoy occiso durante este lamentable hecho.

Estas conclusiones consideran la información de diferentes fuentes de información, tales como, encuestas, entrevistas, bitácoras, relatoría de los hechos y de la toma de decisiones por parte del personal combatiente participante, así como la reconstrucción del comportamiento del fuego vía simulación por computadora.

- La Brigada de CONAFOR es una brigada que cuenta con la capacitación especializada mínima requerida establecida por la CONAFOR.
- El EQUIPO no tuvo acceso a las condiciones o algún registro de estados de salud, por lo que no se pudo evaluar el estado de salud del hoy occiso.
- El EQUIPO considera que hubo un riesgo que no se evaluó: el no tener comunicación en una zona de alto riesgo.
- El comportamiento explosivo del fuego resultó por la acumulación superficial de combustible en algunas zonas como por la accidentada topografía y el difícil tiempo atmosférico que se presentaron.
- El EQUIPO considera que antes de iniciar las acciones de combate hizo falta reconocer las condiciones del tiempo y factores locales que influyeron en el comportamiento del fuego.
- El EQUIPO identificó que, al iniciar la brecha cortafuego desde el camino en preparación para el contrafuego, no se identificaron las rutas de escape ni zonas de seguridad.
- Se darán a conocer los resultados al personal combatiente del Estado de México para evitar futuros accidentes

INFORMACIÓN PÚBLICA

HALLAZGO	CAUSA	RECOMENDACIÓN	LECCIÓN APRENDIDA
No se aseguró la comunicación durante el combate del incendio	<ul style="list-style-type: none"> El personal no tenía radios portátiles 	<ul style="list-style-type: none"> Establecer un plan de comunicación para el sistema de radiocomunicación en el Estado de México 	<ul style="list-style-type: none"> La falta de comunicación puede generar fatalidades
Comportamiento explosivo del incendio	<ul style="list-style-type: none"> Cambio en la dirección y velocidad del viento 	<ul style="list-style-type: none"> Realizar un informe de evaluación de acuerdo a la Guía de Bolsillo previo a iniciar operaciones 	<ul style="list-style-type: none"> No evaluar de forma inicial puede conducir a una fatalidad
Cantidad de recursos asignados NO adecuados a un incendio forestal	<ul style="list-style-type: none"> Poco personal disponible para la atención de un incendio forestal 	<ul style="list-style-type: none"> Despachar brigadas completas que puedan proporcionar un ataque agresivo y contundente. Al presentar cambios en el comportamiento del incendio volver a evaluar la capacidad de atención del incendio con elementos adecuados. 	<ul style="list-style-type: none"> Una insuficiente capacidad de respuesta puede conducir a una fatalidad
No se cuenta con protocolo de atención en caso de accidentes en incendios forestales	<ul style="list-style-type: none"> No se ha documentado el protocolo de atención en el Estado de México 	<ul style="list-style-type: none"> Generar el protocolo de atención. Que la comunicación del accidente sea solamente con el superior jerárquico o respetar la “cadena de mando” Fortalecer la comunicación interinstitucional. Debido a que no se cuenta un protocolo de atención establecido, en tanto existe uno, se recomienda seguir la secuencia siguiente: <ol style="list-style-type: none"> Instancia informante o que tiene adscrito al accidentado. Centro Estatal, Municipal o Regional. Autoridad de la instancia federal (CONAFOR) Fiscalía / Protección Civil. Integración en máximo de 3 meses un ETI. 	<ul style="list-style-type: none"> La falta del protocolo de atención genera un daño moral y molestia agravada a la familia.

**NORMAS DE SEGURIDAD
QUE NO FUERON ATENDIDAS POR EL PERSONAL**

10 Normas para combatir Incendios Forestales

1	Manténgase informado(a) sobre las condiciones de tiempo y pronósticos del incendio	Se omitió
2	Sepa lo que está haciendo su incendio en todo momento	Se omitió
3	Base toda acción en comportamiento actual y esperado del incendio	Se omitió
4	Identifique rutas de escape y zonas y hágalas saber	Se omitió
5	Establezca vigilantes cuando existe posibilidad de peligro	Se omitió
6	Esté alerta. Mantenga la calma. Piense con claridad. Actúe con decisión.	Se omitió
7	Mantenga una comunicación rápida con sus fuerzas, su supervisor y las fuerzas adyacentes	Se omitió
8	Dé instrucciones claras y asegure que son entendidas	Se omitió
9	Mantenga control de su cuadrilla en todo momento	Se omitió
10	Combata el incendio agresivamente, habiendo previsto primero la seguridad	Se omitió

ANEXOS

- Formato oficial de la CONAFOR del Informe del Incendio Forestal.
- Minuta de trabajo del día 17 de abril del 2023.
- Agenda diaria de trabajo.
- Mapa de hechos, severidad del incendio y lugar del accidente.