

Unidad 11 - Comportamiento extremo de los incendios forestales

OBJETIVOS:

Al completar esta unidad, los estudiantes serán capaces de:

1. Describir los cuatro denominadores comunes del comportamiento del fuego en incendios forestales trágicos.
2. Describir las características de comportamiento extremo del fuego y reconocer las influencias del ambiente del fuego que contribuyen al comportamiento extremo del fuego.
3. Describir las tres etapas del desarrollo de incendio de copa e identificar los factores e indicadores clave que conducen al desarrollo de incendio de copa.
4. Identificar los tres factores que contribuyen al problema de focos secundarios y describir las condiciones asociadas con cada factor.
5. Definir la probabilidad de Ignición, describir su uso y determinarla usando tablas.
6. Definir remolinos de fuego (vórtices), las condiciones bajo las cuales se pueden desarrollar y sus implicaciones en el comportamiento de los incendios forestales.
7. Explicar la diferencia entre incendios conducidos por el viento y los incendios dominados por columna convectiva.

I. CUATRO DENOMINADORES COMUNES DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN INCENDIOS TRÁGICOS

En 1976, Carl C. Wilson realizó un estudio sobre “Incendios fatales y casi fatales – Los denominadores comunes”. Sus conclusiones fueron que tales incendios ocurren con frecuencia:

- En incendios relativamente pequeños o en áreas aparentemente tranquilas de grandes incendios.
- En combustibles relativamente ligeros, como pastos, hierbas y matorrales ligeros.
- Cuando hay un cambio inesperado en la dirección o en la velocidad del viento.
- Cuando el fuego responde a condiciones topográficas y avanza cuesta arriba.

Estos cuatro denominadores comunes resaltan el concepto de alineación.

Estos son los fuegos que son relativamente benignos o rutinarios, pero que de repente “se disparan” o “explotan”. Este cambio repentino y dramático en el comportamiento del fuego es un resultado de esta alineación entre fuerzas.

II. CARACTERÍSTICAS DEL COMPORTAMIENTO EXTREMO DEL FUEGO Y LAS INFLUENCIAS DEL AMBIENTE DEL FUEGO QUE CONTRIBUYEN AL COMPORTAMIENTO EXTREMO DEL FUEGO

A. Comportamiento extremo del fuego

El fuego extremo se produce cuándo varios de los componentes del ambiente del fuego interactúan.

Se trata de una convergencia o una alineación en la que hay combustibles abundantes con humedades suficientemente bajas, y los vientos son lo suficientemente fuertes o la ladera lo suficientemente inclinada.

En muchos casos, la atmósfera es muy inestable (Índice Haines de 5 o 6).

El comportamiento extremo del fuego se define generalmente como el nivel del comportamiento de fuego que a menudo impide cualquier acción de supresión del fuego. Usualmente implica una o más de las siguientes características:

- Alta velocidad de propagación e intensidad frontal del fuego
- Coronamiento
- Reproducción de focos secundarios
- Presencia de grandes remolinos de fuego
- Columna convectiva bien desarrollada

Los fuegos que presentan estos fenómenos suelen comportarse de manera errática y a veces peligrosa.

Otros términos usados para describir el comportamiento extremo del fuego incluyen “explotar” y comportamiento de fuego en tercera dimensión.

B. Factores contribuyentes

El comportamiento extremo del fuego normalmente resulta de una combinación de factores ambientales.

Factores comunes que contribuyen al desarrollo y reforzamiento del comportamiento extremo del fuego son:

- Combustibles disponibles
- Viento
- Baja humedad del combustible
- Atmósfera inestable

1. Combustibles disponibles

El microclima y las condiciones del suelo determinarán el conjunto de combustible que se presenta en un lugar específico.

El estado de desarrollo vegetativo, así como los disturbios en la vegetación (caída, helada, muerte por insectos, etc.), pueden predisponer al conjunto de combustible a diversas cantidades y proporciones de combustibles muertos y vivos.

Los cambios estacionales y diurnos afectarán la humedad y temperatura del combustible, haciendo los combustibles disponibles (sequedad).

- a. Grandes cantidades de combustibles fácilmente disponibles generarán intensidades capaces de:
 - Producir altas velocidades de propagación.
 - Levantamiento de pavesas.
 - Movimiento descendente y ascendente de aire en dinámica convectiva.
- b. Características de los combustibles a evaluar:
 - Combustibles finos continuos
 - Carga pesada
 - Combustibles de escalera
 - Espacios estrechos entre las copas (<6 m)
 - Condiciones especiales:
 - Fuentes de pavesas
 - Numerosos árboles muertos en pie
 - Dosel precalentado
 - Muertos por helada y plaga
 - Alta proporción entre muerto-vivo

2. Viento

- a. El comportamiento extremo del fuego ha sido asociado con fuertes vientos, incluyendo, pero no limitando a:

- Corrientes frontales
- Tormentas eléctricas
- Vientos Foehn

Los vientos aportan oxígeno adicional al proceso de combustión del fuego, incrementando su intensidad.

El viento también aumenta la transferencia de calor por radiación y convección, al inclinar las llamas y acercarlas a los combustibles ubicados por delante del frente de llamas.

Las pavesas pueden ser transportadas en masa por el viento y contribuir a los focos secundarios delante del fuego principal.

- b. Indicadores del viento a observar:

- Vientos superficiales superiores a 16 kph
- Nubes lenticulares
- Nubes altas de movimiento rápido
- Acercamiento de frentes fríos
- Desarrollo de Cumulonimbus
- Calma repentina
- Vientos cambiantes o erráticos

3. Las humedades del combustible bajas y las humedades relativas

El aire seco en los niveles más bajos de la atmósfera está asociado con humedades relativas bajas.

Estas condiciones reducen las humedades del combustible fino muerto e incrementan los combustibles que están disponibles para la combustión.

Si estas condiciones persisten, los combustibles gruesos muertos se verán afectados igual que los combustibles finos muertos.

4. Atmósfera inestable

Una atmósfera inestable contribuye al movimiento vertical del aire.

- a. El movimiento ascendente y descendente del aire tendrá el mismo efecto que el viento sobre el fuego:
 - Aportando oxígeno a la combustión.
 - Aumentando la eficacia de la transferencia de calor radiante y convectivo
 - Transportando pavesas.

Dada la combinación adecuada de velocidad del viento e intensidad del fuego, la inestabilidad conduce directamente a un ambiente de incendio forestal dominado por su propia columna convectiva o pluma.

- b. Indicadores de una atmósfera inestable a observar:
 - Buena visibilidad
 - Ráfagas de viento y remolinos de polvo
 - Nubes Cumulus
 - Nubes Castellanus por la mañana.
 - El humo asciende en línea recta
 - La inversión empieza a ascender

5. Es más probable que los incendios exploten cuando se dan simultáneamente las siguientes condiciones:

- a. Los combustibles están secos y son abundantes (sequedad).
- b. La atmósfera es o fue inestable durante algunas horas y posiblemente días, con anterioridad al incendio.
- c. La velocidad del viento al aire libre es de 29 kph o mayor en una elevación igual o no muy por encima, de la elevación del fuego.

III. LAS TRES ETAPAS DEL DESARROLLO DE LOS FUEGOS DE COPA Y LOS FACTORES E INDICADORES CLAVE QUE FAVORECEN EL DESARROLLO DE UN FUEGO DE COPA

Los fuegos de copa son uno de los fenómenos de comportamiento de fuego más espectaculares.

Son los más rápidos de propagarse de todos los incendios forestales, liberando enormes cantidades de energía calórica en un período relativamente corto.

Se han registrado velocidades de propagación del fuego de copa que superan los 11 kph y longitudes de llama de más de 46 metros.

Hasta 1990, no se disponía de métodos de propagación de comportamiento de fuego para estimar las velocidades de propagación o las intensidades de los fuegos de copa.

Cuando hablamos de copas, nos referimos a los combustibles aéreos. Estos no sólo incluyen las copas de los árboles, sino también las copas de los arbustos altos:

- Chaparral
- Encino arbustivo
- Palmares/matorrales
- Plantaciones de pino
- Áreas de reforestación,

A. Etapas de desarrollo de fuegos de copa

El desarrollo del fuego de copa se produce como una dinámica progresiva.

Este progreso tiene tres etapas reconocibles, identificadas por la dependencia del fuego de copa al fuego superficial.

Un fuego superficial de alta intensidad y/o un dosel (copa) cercano a la superficie permiten que el fuego se traslade hacia los combustibles aéreos.

Los fuegos de copa comienzan como un árbol individual que se antorcha y puede continuar como un fuego que arde independiente del fuego superficial.

A menudo un fuego de copa se moverá hacia adelante y atrás a través de estas etapas con cambios en el ambiente de los incendios forestales. Es posible que no se den las tres etapas.

1. Fuego de copa pasivo

Un incendio de copa pasivo es la afectación de uno o, a lo mucho, de unos pocos árboles.

Comúnmente, este tipo de comportamiento es referido como "Antorchamiento".

El fuego de copa pasivo está completamente a disposición del fuego superficial. El fuego superficial, por su intensidad y/o combustibles de escalera, compromete a los combustibles aéreos.

Cualquier propagación del fuego entre las copas es de corta duración y se limita a los doseles que están conectados.

2. Fuego de copa activo

Ardiendo activamente en las copas y avanzando con el fuego superficial.

En la etapa de fuego de copa activo, el coronamiento sigue dependiendo del calor del fuego superficial para continuar propagándose.

La transferencia de masa de calor ocurre entre las copas de los árboles o arbustos individuales a medida que el fuego se propaga a través de los combustibles aéreos.

A veces, el fuego superficial supera al fuego de copa, precalentando y encendiendo los combustibles aéreos.

Otras veces, el fuego de copa se adelanta al fuego superficial, creando focos secundarios que favorecen la ignición de más combustibles superficiales y aéreos.

Se observa una velocidad de propagación intermitente.

3. Fuego de copa independiente

Los fuegos de copa independientes y sostenidos son poco frecuentes, pero importantes.

Ocasionalmente, el fuego de copa activo superará al fuego superficial que los fortalece, pero estos periodos son normalmente de corta duración en tiempo y espacio.

En los fuegos de copa independiente, el proceso de combustión y los mecanismos de transferencia de calor tienen lugar en los combustibles aéreos.

La propagación del fuego superficial es el resultado de la propagación del fuego de copa. Esta fase del fuego de copa presenta el mayor reto de supresión.

B. Condiciones que contribuyen a los fuegos de copa

Pueden observarse y controlarse diversas condiciones ambientales bajo las cuales es probable que los fuegos de copa se produzcan.

Esas condiciones pueden considerarse como aquellas que afectan a la flamabilidad de la copa y las que afectan los mecanismos de transferencia de calor entre los niveles de combustible.

1. Flamabilidad de la copa

La flamabilidad de la copa depende de características similares que afectan a otras camas de combustible.

La principal diferencia es el enfriamiento adicional y la pérdida de transferencia de calor a través de la base de la copa.

Las siguientes características son de particular importancia en actividad del fuego de copa.

a. Humedad del combustible fino muerto

Normalmente hay una gran cantidad de combustibles muertos combinados con un dosel vivo.

Al igual que en el caso de los arbustos, la proporción entre el combustible vivo y el muerto determinará la actividad del fuego. Las humedades bajas del combustible fino muerto favorecerán la flamabilidad de la copa.

b. Humedad del follaje vivo

La humedad del follaje vivo es determinada principalmente por la fenología de la planta o la etapa de desarrollo y tiende a seguir los patrones estacionales.

A finales del otoño, la humedad de los arbustos y de los pastos perennes puede ser baja y permanecer así hasta el reverdecimiento de la primavera.

El contenido de la humedad foliar en las acículas de coníferas maduras cambia poco a lo largo de la estación, alcanzando los valores más bajos justo antes de la aparición de nuevas acículas con un alto contenido de humedad.

Uno de los clásicos fuegos de copa ocurrió con humedades foliares de 110 % (Incendio Mack Lake, 1980).

Muchos fuegos de copa en los estados del oeste de los Estados Unidos han ocurrido cuándo las humedades foliares eran más altas.

Algunos combustibles vivos del sureste de los Estados Unidos arden muy bien con altos contenidos de humedad foliar.

Aunque la sequía puede o no estar reflejada los contenidos de la humedad del follaje vivo, los combustibles de copa tienen más posibilidades de arder cuándo las reservas de humedad del suelo son muy bajas.

c. Flamabilidad del follaje

Los compuestos volátiles de los combustibles foliares, por supuesto, influyen en la flamabilidad de la copa.

Se sabe que varias especies de todo el país (EUA) producen intensidades elevadas cuando son consumidas.

Ejemplos:

- Palmares/matorrales del sureste
- Chamizo del sur de California
- *Pinus banksiana* (Jack Pine) la región de los grandes lagos

d. Densidad de copa

La densidad de copa en los combustibles aéreos equivale a la compactación.

Una densidad de copa del 75 % o más, favorecerá los mecanismos de transferencia de calor de convección y radiación de copa a copa.

Una menor densidad de copa permite que el calor se pierda.

2. Transferencia de calor de la superficie a la copa

El fuego de copa inicia en la superficie.

Los combustibles aéreos precalentados se encienden desde el fuego superficial que arde debajo.

La capacidad para transferir el calor desde el fuego superficial a los combustibles aéreos es una característica del fuego de copa.

a. Intensidad del fuego superficial

Con mayores intensidades de fuego superficial, se produce más calor que puede ser transferido a los combustibles aéreos.

Los siguientes factores contribuyen a las altas intensidades del fuego:

- Cargas pesadas
- Compactación óptima
- Bajo contenido de humedad
- Inestabilidad atmosférica

b. Arreglo vertical

Los combustibles de escalera y una altura baja de la copa sirven a la propagación del fuego al reducir la distancia de transferencia de calor entre el fuego superficial y los combustibles aéreos.

c. Inclinación de la pendiente

La pendiente también reduce la distancia de transferencia de calor entre el fuego superficial de abajo y la copa de los árboles o arbustos de arriba.

3. Transferencia de calor de copa a copa

El fuego de copa activo e independiente se propaga de copa a copa.

La transferencia de calor entre los combustibles aéreos es imprescindible para esta propagación.

a. Distancia entre las copas

Un distanciamiento de copas de 6 metros o menos (aproximadamente 250 árboles por ha o más) permitirá que la transferencia de calor convectiva y radiante se produzca a un nivel en el que la propagación del fuego pueda mantenerse a través de los combustibles aéreos.

b. Vientos a nivel de la copa

Los vientos a nivel de la copa son un excelente indicador de la actividad del fuego de copa.

Vientos fuertes de 32 km/h o mayores (vientos a 6 m por encima de la vegetación alrededor) son normalmente necesarios para mantener fuegos de copa activos e independientes en ausencia de pendientes pronunciadas.

c. Inclinación de la pendiente

La propagación del fuego superficial es incrementa por la inclinación de la pendiente; tambien se incrementa la propagación del fuego de copa.

El efecto de pendiente en la transferencia de calor en los combustibles aéreos es prácticamente el mismo que en los combustibles superficiales.

C. Propagación de fuego de copa sostenida

Con las condiciones adecuadas, un fuego de copa activo o independiente puede continuar una propagación superior a 32 km (Incendio Canyon Creek, 1988).

Normalmente, un cambio en el ambiente del fuego causará que el fuego regrese a la superficie hasta que las condiciones ambientales se vuelvan adecuadas para el inicio de la actividad del fuego de copa. Esto suele ser un acontecimiento diurno.

Para sostener la propagación del fuego de copa, se necesitan las siguientes condiciones:

1. Bajas humedades del combustible.
2. Espaciamiento entre copas relativamente cerrado.
3. Vientos fuertes y/o pendientes pronunciadas.
4. La capacidad de generar focos secundarios al frente del fuego en combustibles discontinuos.

IV. FACTORES QUE CONTRIBUYEN AL PROBLEMA DE FOCOS SECUNDARIOS Y LAS CONDICIONES ASOCIADAS A CADA FACTOR

A. Factores contribuyentes

Hay ocho factores que contribuyen al problema de focos secundarios; se dividen en tres categorías.

1. Fuente de pavesas

a. Probabilidad de producción

La distancia a la que inicia un foco secundario desde el frente del fuego depende de la capacidad del fuego para levantar pavesas en los vientos dominantes.

La probabilidad de que un fuego alcance las intensidades requeridas depende de:

- Combustibles superficiales
- Condiciones de quema
- Especies del dosel
- Distanciamiento entre copas

En un fuego superficial, el dosel impide el recorrido ascendente de una pavesa lo que limita el problema de focos secundarios.

b. Cantidad de pavesas

No todas las pavesas inician un incendio. Debido a que se queman antes de aterrizar o no tienen ambiente que sustente la propagación (incluso si aterrizan encendidas), la mayoría de las pavesas producidas no se convierten en focos secundarios.

Cuanto más pavesas pueda generar la fuente, mayor es la posibilidad para que alguna de ellas inicie un foco secundario.

c. Tipo de pavesas

Las propiedades aerodinámicas de las pavesas determinan su capacidad para ser transportadas por convección y por el viento.

Una baja densidad y un área superficial alta proporcionan a las pavesas una mejor posibilidad de ser transportadas a larga distancia.

Las pavesas deben tener un tamaño suficiente para continuar ardiendo cuando caigan al suelo.

2. Transporte

a. Ascenso convectivo

El intenso ascenso convectivo del aire en la propia estructura de la llama y de la columna de humo boyante sobre la llama levantan las pavesas desde el combustible ardiendo.

Cuanto más intenso sea el fuego (llamas más largas) las pavesas se elevarán más alto.

b. Campo de viento

Una vez que la pavesa es levantada a su máxima altura, comienza a seguir una trayectoria determinada por la forma de la pavesa, su masa y por el campo de viento hasta su destino final a favor del viento.

3. Combustibles receptores y el ambiente

a. Combustibles receptores

Para encender estos combustibles receptores e iniciar un foco secundario, las pavesas deben caer sobre combustibles finos y secos (hojarasca, turba, madera podrida).

b. Probabilidad de ignición

La probabilidad de ignición es una valoración de la probabilidad de que una pavesa provoque un fuego.

c. Condiciones ambientales

En este nuevo ambiente, el foco secundario iniciado debe encontrar los combustibles, la humedad del combustible, el viento y la pendiente que favorezcan la propagación del fuego para convertirse en un problema.

B. Focos secundarios de corto alcance vs. largo alcance

Los resultados combinados del ascenso convectivo y el campo de viento determinan la distancia máxima a la que un foco secundario puede ocurrir desde el frente del fuego.

Normalmente, las distancias se dividen en dos categorías: focos secundarios de corto y largo alcance. Se han registrado distancias de focos secundarios de más de 24 km cuando las condiciones contribuyentes han sido extremas.

La diferencia entre un foco secundario de corto alcance y uno de largo alcance, depende más de si el nuevo foco secundario tiene tiempo de desarrollarse como un fuego independiente antes de ser alcanzado por el fuego principal, en lugar de una distancia específica.

1. Focos secundarios de corto alcance

Fuertes vientos superficiales y limitado ascenso convectivo dan como resultado una distancia corta de la pavesa desde el frente del incendio.

Generalmente, los fuegos generados por focos secundarios de corto alcance serán superados por el fuego principal antes de incrementar la velocidad de propagación del mismo.

Las velocidades de propagación del fuego sobre combustibles en parches son similares a las velocidades de propagación sobre combustibles continuos como resultado de focos secundarios de corto alcance.

2. Focos secundarios de largo alcance

Pavesas grandes, aerodinámicas y ardiendo; una fuerte columna convectiva y un campo de viento que permite una altura y un transporte máximos, favorecen los focos secundarios de largo alcance.

Los fuegos de copa y remolinos de fuego en movimiento son bien conocidos por su capacidad para proveer la potencia de ascenso necesaria.

3. Determinando la ubicación de los focos secundarios

Observando la columna convectiva, se puede determinar la dirección, y hasta cierto punto la distancia a la que las pavesas pueden ser transportadas.

El problema de los focos secundarios depende de muchos otros factores. Un buen refrán dice: "Dónde hay uno, probablemente hay más."

4. Numerosos focos secundarios

Los frecuentes focos secundarios son una de las 18 situaciones que de cuidado. Generalmente consideramos el concepto "frecuente" en términos del ritmo de producción de focos secundarios más rápido de lo que las brigadas pueden suprimirlos.

Además de ser un elemento de seguridad, los focos secundarios frecuentes son un buen indicador de la intensificación de las condiciones.

Aunque son poco peligrosos en un inicio, cuando los focos secundarios empiezan a crecer, comienzan a interactuar entre sí, añadiendo flujo de aire y energía calórica a su ambiente.

Su efecto combinado es mayor que la suma de sus efectos individuales. Las intensidades crecientes pueden hacer que el fuego salga de un ambiente cerrado y se convierte en uno abierto.

Durante fuegos extremos, a menudo se puede observar una propagación de fuego intermitente, generada por la combinación de focos secundarios.

Los focos secundarios frecuentes, definitivamente, son una situación de cuidado. El problema de los focos secundarios debe ser siempre monitoreado.

V. PROBABILIDAD DE IGNICIÓN

A. Definición

La probabilidad de ignición es una clasificación de la probabilidad de que una pavesa ardiente provoque un incendio, siempre que caiga sobre combustibles disponibles.

1. No está relacionada con la posibilidad de que se produzca una pavesa, o:
 - Con tener el tamaño y la forma adecuados para ser transportada por convección y/o por el viento, aun ardiendo.
 - Con tener combustibles disponibles en el lugar donde cae.
2. Indica la posibilidad (probabilidad) de que la pavesa provoque una ignición cuándo el tipo correcto de pavesa caiga sobre el tipo correcto de combustible.
 - Cuando la probabilidad de ignición es del 70 %, si 10 pavesas encendidas caen sobre combustibles disponibles (pastos, acículas, madera seca) habrá siete igniciones
 - El hecho de que un incendio forestal sea realmente resultado de la ignición depende del ambiente del fuego.

B. Tabla de probabilidad de ignición

La probabilidad de ignición es determinada a partir de:

- Sombreado del combustible
- Humedad del combustible fino muerto
- Temperatura de bulbo seco

Elija una de las mitades de la tabla con el sombreado del combustible correcto, ya sea más o menos de 50 % de cobertura de nubes y/o dosel. Lea la probabilidad de ignición en la intersección de la columna de humedad del combustible fino muerto correcta y la fila de temperatura de bulbo seco.

EJERCICIO 1.

Utilice las tablas o las diapositivas para determinar la probabilidad de ignición para las siguientes situaciones:

#1 - Día despejado, sin cobertura de dosel

- Humedad de combustible fino muerto = 5%
- Temperatura de bulbo seco = 30 °C
- Probabilidad de ignición =

#2 - Día despejado, dosel denso

- Humedad de combustible fino muerto = 6%
- Temperatura de bulbo seco = 23.8 °C
- Probabilidad de ignición =

Recuerde: La probabilidad de ignición se relaciona sólo con la probabilidad de ignición inicial.

VI. REMOLINOS DE FUEGOS (VÓRTICES), LAS CONDICIONES BAJO LAS CUÁLES POSIBLEMENTE SE DESARROLLEN Y SUS IMPLICACIONES PARA EL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES

A. Definición

Un remolino/vórtice de fuego se define como una columna de aire ascendente que gira y se mueve, elevándose desde un vórtice y que transporta a lo alto humo, cenizas y fuego.

Los remolinos de fuego pertenecen a la misma familia que los tornados y remolinos de polvo. La acción del vórtice llega a ser más fuerte en el centro.

B. Tipos de vórtices

Los vórtices están divididos en dos grupos, denominados según la orientación de los ejes de rotación: vórtices horizontales y verticales.

Están formados por alguna fuente de calor y un remolino iniciando.

1. Vórtices horizontales

Los vórtices horizontales son un fenómeno de condiciones extremas de combustión.

Hay dos tipos de vórtices horizontales:

- Un tipo ocurre en la superficie a lo largo de los flancos de los incendios forestales e impactan directamente en la seguridad del personal de línea.
- El segundo tipo ocurre en la columna y puede afectar las operaciones aéreas cerca del fuego.

Las condiciones extremas de combustión son un denominador de todos los vórtices.

Los vórtices horizontales y el vórtice transversal tienden a formarse más fácilmente con velocidades de viento bajas a moderadas sobre terreno plano o suave.

2. Vórtices verticales

Los vórtices verticales se conocen como remolinos de polvo o torbellinos. Cuando la masa giratoria de aire incluye las llamas del fuego, el vórtice se denomina remolino de fuego.

Los vórtices verticales se subdividen a su vez, en categorías basadas en los mecanismos que los provocan.

- a. Vórtices conducidos por el calor que se generan en días calurosos y/o en partes intensas del incendio forestal.
- b. Vórtices de columna de convección generados por una actividad convectiva desigual en diferentes partes de la columna convectiva.
- c. Vórtices de tipo de onda (Von Karman) ocurren en el lado de sotavento de obstrucciones físicas al movimiento del viento (cimas de crestas, árboles, columnas de convección).

C. Cuándo y dónde esperar remolinos de fuego

1. Los remolinos de fuego son resultado de eventos o procesos locales.

Estos implican el calentamiento de las capas atmosféricas más bajas y la generación de vorticidad local o remolinos del flujo de aire local.

La aparición de remolinos está directamente relacionada con la inestabilidad térmica; se producen con mayor frecuencia cuándo la masa de aire es inestable hasta una altura considerable.

2. Evalúe el potencial de remolinos de fuego mediante la observación de indicios de remolinos de polvo y vientos ligeros.

Las primeras evidencias deberían producirse en laderas este, seguida por laderas sur y luego las laderas oeste.

Las laderas norte, debido a los bajos niveles de insolación, serán lugares más inciertos para la ocurrencia de remolinos de fuego.

-
3. Los siguientes factores pueden contribuir a la generación de remolinos de fuego en cualquier ladera:
- Gran ángulo de incidencia de la radiación solar (sol casi perpendicular a la ladera).
 - Mínima nubosidad, por lo tanto, mayor inestabilidad.
 - Baja humedad, por lo tanto, mayor visibilidad.
 - Suelo seco y expuesto o un área quemada y, por lo tanto, una fuente de calor potencialmente fuerte.
 - Vientos ligeros por debajo de un nivel crítico; por ejemplo, 8 kph a 9 una altura de metros.
4. Los vientos ligeros también son indicadores de inestabilidad junto con:
- El humo que asciende a grandes alturas sin extenderse.
 - Las nubes que crecen verticalmente, tipo Cumulus; Las nubes Cumulus altas indican un mayor grado de inestabilidad.
 - Se siente aire turbulento y agitado en los aviones.

A medida que avanza el día hasta el final de la tarde, más de estos factores entran en juego y aumentan la posibilidad de que se produzcan remolinos de fuego.

Sin embargo, un cambio de cero nubosidad a dos o tres décimas de nubosidad puede reducir significativamente la actividad de los remolinos.

Es de esperar que se produzcan remolinos de fuego en cualquier área quemada a medida que se desarrollan vientos ascendentes y el fuego se fortalece, proporcionando boyancia adicional.

Si los vientos prevalecientes soplan a través de las crestas, incrementará la ocurrencia de remolinos de fuego.

-
5. Los remolinos de fuego pueden producirse en cualquier lugar donde se puedan esperar remolinos de viento.

Los vientos ascendentes y descendentes de cañón pueden generar remolinos:

- Detrás de las crestas de espolón.
- En curvas abruptas del cañón
- Dónde dos o más cañones se unen

Si se produce un cambio en la meteorología y una masa de aire diferente en temperatura, velocidad y dirección se desplaza sobre su área, puede esperar remolinos de fuego donde se produce la cizalladura del viento.

Los puntos calientes también pueden desencadenar remolinos de fuego; estos suelen ocurrir en puntos donde las pendientes cambian de sentido o la cantidad de combustible aumentan abruptamente o en barrancos o cañones encajonados.

Sí el fuego forma una columna convectiva fuerte y activa, busque remolinos de fuego en el lado de sotavento de la columna, por ejemplo, remolinos tipo de onda o vórtices generados sobre la columna convectiva.

6. Los remolinos de fuego pueden producirse debido a varios mecanismos.

- Pueden ser tan pequeños que no afectan al control del fuego de una forma significativa.
- La aparición de pequeños remolinos sugiere que remolinos más grandes pueden producirse.

7. Deben tomarse precauciones para contener los focos secundarios y para alertar a las brigadas contra incendios para evitar los remolinos de fuego observados.

- La duración de un remolino de fuego puede ser de sólo algunos minutos, pero algunos han durado más de una hora.
- Tienden a moverse a través de la ladera o pendiente arriba.
- Cuando los vientos superficiales alcanzan 8 kph o más, los remolinos de fuego suelen moverse con el viento.

D. Implicaciones para el comportamiento de los incendios forestales

1. La acción del vórtice vertical o remolino de fuego es la de un viento concentrado y localizado.
 - Las velocidades del viento en el centro del vórtice pueden ser superiores de 160 kph
 - El vórtice ayuda a la propagación del fuego a través de la transferencia de calor y de masa, a medida que el vórtice se mueve a lo largo de la superficie transportando pavesas dentro del flujo del aire ambiental.
 - El desarrollo, el movimiento y la disipación de los vórtices horizontales y verticales, son difíciles de pronosticar, al igual que el efecto del vórtice sobre el comportamiento del fuego.
2. Algunos indicadores generales para la formación de vórtices horizontales son:
 - Condiciones extremas de combustión
 - Velocidades del viento bajas a moderadas
 - Terreno plano o suave
3. La preocupación fundamental sobre estos fenómenos es:
 - Ocurren en los flancos de fuegos de rápido crecimiento o de gran tamaño.
 - Pueden producirse en un área extensa o ser justo lo suficientemente grandes para atrapar a un carro motobomba o una brigada.
 - A menos que seamos conscientes de este evento, podemos poner en riesgo combatientes de incendios en la acción de flanqueo en el combate de incendios de rápido crecimiento, que presentan coronamiento y otros indicadores de comportamiento extremo del fuego.

VII. DIFERENCIA ENTRE LOS FUEGOS CONDUCIDOS POR EL VIENTO Y LOS FUEGOS DOMINADOS POR LA COLUMNA CONVECTIVA

Los incendios forestales extremos pueden ser clasificados en uno de dos patrones de comportamiento únicos: conducidos por el viento o dominados por la columna convectiva.

La diferencia está en cuál fuerza es más poderosa.

- En un evento conducido por el viento, la fuerza del viento es mayor que la potencia del fuego.
- Cuando la potencia del fuego es mayor que la potencia del viento, se muestra un comportamiento dominado por la columna convectiva.

A. Fuego conducido por el viento

La mayoría de los incendios que escapan al ataque inicial y los que se convirtieron en los grandes incendios de la historia, han sido conducidos por el viento.

En eventos conducidos por el viento, hay varios indicadores que nos permiten determinar o predecir el probable comportamiento del fuego.

- Ya que la propagación del fuego esta en función de la velocidad y dirección del viento, podemos ver hacia donde irá el fuego y en qué tipo de combustible.
 - Los cambios de viento pueden representar graves amenazas para la seguridad.
- La columna de convección suele estar rota (doblada por el viento).
 - Esto conduce el calor convectivo hacia los combustibles por delante, incrementando la propagación y la intensidad.
- Los focos secundarios se producen casi siempre a favor del viento y contribuyen en gran medida a las velocidades de propagación.
 - Cuando el fuego crece, los focos secundarios pueden llegar a ser de largo alcance, creando nuevos fuegos a kilómetros de distancia del fuego original.

-
- Independientemente de la topografía, cuando la humedad del combustible es baja, un incendio de copa es casi siempre sostenido cuándo se conduce por vientos fuertes.

El viento provee la energía adicional para transformar los eventos conducidos por el viento, que incluyen largo y ancho, en eventos dominados por la columna convectiva que llevan a la tercera dimensión—la atmósfera sobre y alrededor del fuego.

B. Fuego dominado por la columna convectiva

La actividad del fuego dominado por la columna convectiva es resultado de la propia actividad convectiva de la columna.

En consecuencia, la velocidad y dirección de propagación del fuego son muy impredecibles. Normalmente, los focos secundarios son de corto alcance, pero en todas las direcciones.

Se reconocen dos mecanismos para flujo de aire convectivo.

1. Corrientes entrantes

El primer mecanismo es el flujo de aire hacia la baja presión creada durante el desarrollo de la columna convectiva.

Las corrientes entrantes proveen de más oxígeno al frente de llamas, aumentan la transferencia de calor convectivo para precalentar los combustibles y ayudar a generar focos secundarios.

Este es el clásico ciclo de fortalecimiento: el incremento del viento aumenta la intensidad del fuego y, a su vez, la mayor intensidad incrementa la actividad convectiva y el precalentamiento de los combustibles.

2. Corrientes descendentes

El segundo mecanismo son las corrientes descendentes debajo de la columna convectiva.

Las corrientes descendentes son muy similares a los vientos de tormentas.

A medida que la columna convectiva se forma, el aire ascendente se enfría y se forma la precipitación.

El aire circundante es enfriado por evaporación y se precipita con fuerza hacia la superficie. Una vez que la corriente descendente toca el suelo, los efectos del viento se extienden en todas las direcciones desde la base de la columna.

Indicadores del desarrollo de este mecanismo:

- La aparición de la virga y/o lluvia
- El desarrollo de una fuerte columna convectiva
- Una calma a medida que las corrientes entrantes se convierten en corrientes descendentes

¡**Recuerde**, estos indicadores han ocurrido previo a fatalidades en varios incendios y debe llamar la atención de inmediato!

Un fuego tridimensional normalmente iniciará como un fuego conducido por el viento, transitando a un incendio dominado por la columna convectiva cuando su actividad convectiva supera el campo de viento.