

Guía de campo para trazar un mapa de la severidad de del incendio en el suelo

Annette Parsons, Peter R. Robichaud, Sarah A. Lewis,
Carolyn Napper, y Jess T. Clark



Parsons, Annette; Robichaud, Peter R.; Lewis, Sarah A.; Napper, Carolyn; Clark, Jess T. 2022. **Guía de campo para elaborar un mapa de la severidad del incendio en el suelo después de un incendio (Español)**. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-243. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 69 p.

Resumen

Tras los incendios forestales en Estados Unidos, el Departamento de Agricultura y el Departamento del Interior movilizan equipos de respuesta de emergencia en zonas quemadas (BAER) para evaluar las condiciones inmediatas de las cuencas hidrográficas tras el incendio. Los equipos BAER deben determinar las amenazas de inundación, erosión del suelo e inestabilidad. La elaboración de un mapa de severidad del incendio en el suelo tras el incendio es un primer paso importante en el proceso de evaluación rápida. Permite a los equipos de BAER priorizar las revisiones de campo y localizar las zonas quemadas que pueden suponer un riesgo para los valores críticos dentro o aguas abajo de la zona quemada. Al ayudar a identificar los indicadores de las condiciones del suelo que diferencian las clases de severidad del incendio en el suelo, esta guía de campo ayudará a los equipos de BAER a interpretar, validar sobre el terreno y cartografiar de forma coherente la severidad del incendio en el suelo.

Palabras clave: BAER, series fotográficas, cartografía posterior al incendio, rehabilitación posterior al incendio, teledetección

Autores

Annette Parsons es una edafóloga/especialista en SIG/enlace con el Centro de Aplicaciones de Teledetección del Departamento de Agricultura de EE.UU., Servicio Forestal en Salt Lake City, Utah. Desarrolla procedimientos de evaluación utilizados en el entorno posterior al incendio.

Peter R. Robichaud es Ingeniero de Investigación en el Programa de Ciencias del Aire, el Agua y el Medio Ambiente Acuático situado en el Laboratorio de Ciencias Forestales de la Estación de Investigación de las Montañas Rocosas en Moscow, Idaho. Desarrolla y pone en práctica protocolos para medir y predecir la escorrentía y la erosión después de un incendio.

Sarah A. Lewis es ingeniera civil del Programa de Ciencias del Aire, el Agua y el Medio Ambiente Acuático, situado en el Laboratorio de Ciencias Forestales de la Estación de Investigación de las Montañas Rocosas, en Moscú (Idaho). Desarrolla procesos y herramientas para aplicar la tecnología de teledetección al entorno posterior a los incendios.

Carolyn Napper es Científica de Suelos en el Centro de Tecnología y Desarrollo de San Dimas, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal en San Dimas, California. Es líder del equipo BAER.

Jess T. Clark es analista de teledetección y está contratado por el Centro de Aplicaciones de Teledetección del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos en Salt Lake City, Utah. Proporciona imágenes de teledetección para las evaluaciones posteriores a los incendios.

Traducción proporcionada por Schreiber Translations, Inc.

Contenido

Introducción	1
<i>Asunto y antecedentes</i>	1
<i>Terminología y definiciones</i>	2
El papel de la teledetección y los SIG	4
<i>Clasificación de la reflectancia del área quemada (BARC)</i>	4
<i>Creación de la BARC</i>	5
<i>Utilización de la BARC</i>	5
<i>Otros productos derivados</i>	7
Directrices de evaluación	7
Evaluación de los suelos para las clases de severidad del incendio en el suelo bajas, moderadas y altas	9
<i>Clases de severidad del incendio en el suelo y consideraciones acerca de la vegetación</i>	9
<i>Indicadores de severidad</i>	10
<i>Características del suelo</i>	10
<i>Repelencia al agua</i>	11
Serie de fotos de las condiciones del suelo	12
<i>A. Cobertura del suelo: cantidad y estado</i>	12
<i>B. Color y profundidad de la ceniza</i>	13
<i>C. Estructura del suelo</i>	14
<i>D. Raíces</i>	15
<i>E. Repelencia al agua del suelo</i>	16
Consideraciones acerca de la vegetación antes del incendio	17
Serie de fotos de la vegetación	18
<i>A. Chaparral de baja densidad</i>	18
<i>B. Chaparral de alta densidad</i>	20
<i>C. Bosque mixto de coníferas de baja densidad</i>	23
<i>D. Bosque mixto de coníferas de alta densidad</i>	25
<i>E. Densidad baja de arbustos/pastizales</i>	28
<i>F. Artemisa/pastizal de alta densidad</i>	29
Uso del mapa de severidad del incendio en el suelo en las evaluaciones posteriores al incendio	31
<i>del incendio en el suelo</i>	31
<i>Modelos comunes de predicción de la hidrología y la erosión tras el incendio</i>	31
<i>Visualización del potencial de escorrentía superficial en los mapas</i>	32
<i>Visualización del potencial de erosión en los mapas</i>	33
<i>Otros usos de un mapa de severidad del incendio en el suelo</i>	33
Conclusión e implicaciones para la gestión	33
Agradecimientos	33

Referencias	34
Apéndice A—Cómo trazar un mapa de la severidad del incendio en el suelo.....	37
Apéndice B—Hoja de datos de campo sobre la severidad del incendio en el suelo y clave.....	40
Apéndice C—Uso de un infiltrómetro de minidisco para evaluar el suelo después de un incendio forestal	
Repelencia al agua del suelo y reducción de la infiltración	42
Apéndice D—Ejemplo del proceso de trazar un mapa de la severidad del incendio en el suelo de Derby de 2006	45
Apéndice E—Resumen de los factores de la clase de severidad del incendio en el suelo.....	49

Guía de campo para trazar un mapa de la severidad del incendio en el suelo tras el incendio

Annette Parsons, Peter R. Robichaud, Sarah A. Lewis, Carolyn Napper y Jess T. Clark

Introducción

Asunto y antecedentes

Las evaluaciones posteriores a los incendios las llevan a cabo por lo general los equipos del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura (USDA) o del Departamento del Interior (DOI) de los Estados Unidos de Respuesta de Emergencia en Áreas Quemadas (BAER) después de grandes incendios forestales. El objetivo principal de un equipo BAER es identificar rápidamente los efectos posteriores al incendio y determinar si el incendio forestal ha creado un riesgo inaceptable para la vida y la seguridad de las personas, los bienes y los recursos naturales o culturales críticos. El equipo BAER puede gestionar el riesgo recomendando tratamientos para la estabilización de terrenos, canales, carreteras y caminos y para la seguridad pública (Calkin y otros 2007; USDO I BLM 2007; Napper 2006; USDA Forest Service 2004).

Se necesita un mapa que refleje los efectos del incendio en la superficie del suelo y el estado del mismo para evaluar rápidamente los efectos del incendio, identificar las áreas potenciales de preocupación y priorizar el reconocimiento inicial del terreno. Por lo tanto, es importante elaborar un mapa de severidad del incendio en el suelo lo antes posible durante la fase de evaluación inicial tras el incendio. Este mapa identifica los cambios inducidos por el fuego en las propiedades del suelo y de la superficie del terreno que pueden afectar a la infiltración, la escorrentía y el potencial de erosión (Parsons 2002). También permite a los equipos de BAER lograr su objetivo principal de identificar las áreas de riesgo inaceptable para un valor crítico y donde los tratamientos de rehabilitación pueden ser más eficaces (Robichaud y otros 2008b; Calkin y otros 2007; Robichaud y otros 2000).

Los equipos de BAER han tenido a menudo dificultades para trazar mapas con precisión la severidad del incendio en el suelo tras el incendio. Este reto ha aumentado en los últimos años, ya que los incendios de mayor envergadura afectan a múltiples jurisdicciones, organismos y propietarios de tierras. Se necesitan metodologías, herramientas de evaluación y terminología coherentes que identifiquen con rapidez y precisión las condiciones posteriores al incendio. En respuesta, los equipos de BAER están utilizando muchas herramientas de evaluación geoespacial para agilizar la evaluación de la severidad del incendio en el suelo tras el incendio. Sin embargo, se ha producido poca estandarización de la metodología o la terminología en la cartografía de la severidad del incendio en el suelo y la verificación en el campo. Esta guía proporciona orientación a los equipos de BAER para promover la coherencia en la cartografía de la severidad del incendio en el suelo después de un incendio. Con un mapa de severidad del incendio en el suelo validado en el campo, los equipos BAER pueden evaluar más fácilmente los efectos secundarios de los incendios forestales, incluyendo el aumento de la escorrentía, la erosión, las inundaciones, la sedimentación y la vulnerabilidad a las malas hierbas invasoras, y pueden predecir la revegetación natural (Calkin y otros 2007).

Esta guía de campo aclara los conceptos, la terminología, el contexto y el uso del mapa de severidad del incendio en el suelo. También se proporcionan indicadores de campo y directrices de clasificación para su uso en la cartografía. El uso de esta guía de campo garantizará la coherencia de los productos cartográficos en todas las ecorregiones de los Estados Unidos. Los componentes de esta guía incluyen:

- terminología y definiciones,
- el papel de la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) en las evaluaciones del BAER,
- directrices para identificar las clases de severidad del incendio en el suelo en el campo,
- debate sobre la severidad del incendio en el suelo en los modelos generales de densidad de la vegetación,
- series fotográficas que muestren las condiciones representativas del suelo y del terreno después del incendio, y
- hojas de datos de campo para ayudar a la recopilación de datos para el trazado de los mapas de la severidad del incendio en el suelo.

Esta guía proporciona una referencia para las condiciones del terreno, las características del suelo y los modelos de densidad de la vegetación que más se ajustan al entorno del campo. Las observaciones pueden compararse con las de las tablas y las fotos para determinar la clasificación de la severidad del incendio en el suelo en un lugar del campo. Esta guía sólo presenta condiciones representativas. Las condiciones reales del terreno variarán dentro de las categorías.

Terminología y definiciones

La literatura sobre los efectos de los incendios, los equipos de gestión de incidentes y los equipos de evaluación posterior al incendio utilizan varios términos para describir las condiciones posteriores al incendio (Jain y otros 2004; Lentile y otros 2006). El uso coherente de los términos adecuados ayudará a evitar confusiones y a aclarar el enfoque de los productos del equipo BAER. Véase en la figura 1 un ejemplo de un incendio de alta intensidad que da lugar a una elevada severidad del incendio en el suelo. Esta ilustración representa un escenario en el que los combustibles de la superficie y del suelo son abundantes (en otras palabras, alta densidad de vegetación antes del incendio). Sin embargo, la correlación entre la intensidad del fuego y la severidad del incendio en el suelo no siempre es directa, ya que, además de la cantidad de calor generada, la duración desempeña un papel fundamental en los efectos del fuego en el suelo (DeBano y otros 1998; Hartford y Frandsen 1992). Para aclarar sus significados y minimizar la confusión sobre las implicaciones de los mapas de severidad del incendio, se definen los siguientes términos (adaptados de Scott y Reinhardt 2007):

Char/residuo carbonoso: estimación visual del área quemada del suelo o de la vegetación que es esencialmente el porcentaje de la superficie que se ha chamuscado (ennegrecido). La carbonización del suelo es un indicador de posibles daños en las raíces o del calentamiento del suelo (Ryan y Noste 1985).

Efectos del fuego: los impactos físicos, biológicos y ecológicos del fuego en el medio ambiente (Grupo Nacional de Coordinación de Incendios Forestales 1996). A menudo se habla de dos tipos: los efectos de primer orden del fuego (efectos directos del proceso de combustión en el medio ambiente) y los efectos de segundo orden del fuego (efectos que se producen después de algún tiempo y que suelen ser causados por la interacción del estrés provocado por el fuego con otros factores).

Intensidad del fuego: la cantidad de energía o calor liberado por unidad de tiempo o área durante el consumo de materia orgánica (Keeley 2009). Byram (1959) definió el término como "la tasa de liberación de energía o calor por unidad de tiempo, por unidad de longitud del frente de fuego, independientemente de su profundidad".

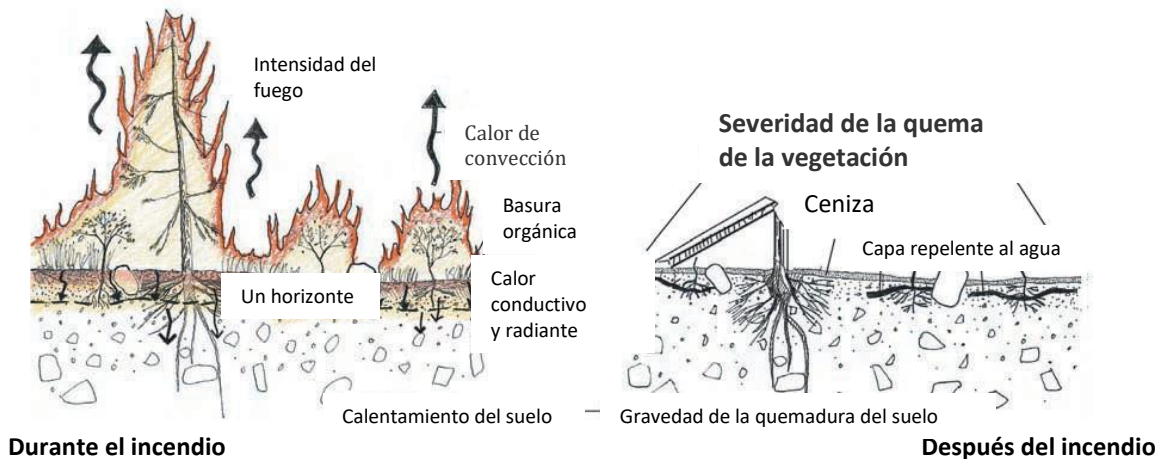


Figura 1. Ilustra el efecto de la intensidad del fuego sobre la vegetación sobre el suelo y las propiedades del suelo bajo el suelo. Gráfico modificado por Mike Hankinson, Servicio de Parques Nacionales.

Otras medidas de la intensidad del fuego son la intensidad de la línea de fuego, la intensidad de la reacción y el flujo total del fuego, todas ellas referidas al evento de quema real (White y Pickett 1985). La intensidad del fuego es una medida del área quemada en tiempo real y no indica directamente los efectos del fuego en la vegetación o el suelo o la respuesta posterior del ecosistema (Keeley 2009). Por ejemplo, un incendio de alta intensidad que presenta un comportamiento extremo (como una gran longitud de llama, una rápida velocidad de propagación o el consumo de la copa del árbol) podría tener efectos de grado bajo o moderado en el suelo (severidad del incendio en el suelo) debido al corto tiempo de residencia del calor. Ejemplos típicos son los incendios de copas en los bosques o los incendios de arbustos o pastizales. Por el contrario, un incendio de baja intensidad (un tronco que arde) puede producir un calor intenso y puede ser de larga duración, dando lugar a una alta severidad del incendio en el suelo en la zona bajo el tronco, los canales de raíces de los árboles o la concentración de restos leñosos.

Capa vegetal: la capa vegetal se refiere a la cobertura orgánica efectiva en lo que respecta a la mitigación de la escorrentía y la erosión, e incluye la hojarasca, el mantillo forestal y los restos leñosos. También puede denominarse cobertura del suelo o cobertura orgánica del suelo.

Severidad del incendio en el suelo: el efecto de un incendio en las características de la superficie del suelo, incluyendo la profundidad de la carbonización, la pérdida de materia orgánica, la alteración del color y la estructura, y la reducción de la infiltración (Lentile y otros 2006; DeBano y otros 1998; Ryan y Noste 1985). La clasificación del estado del suelo tras el incendio se basa en los cambios inducidos por el fuego en las propiedades físicas y biológicas del suelo. Durante las evaluaciones posterior al incendio, se ha hecho un esfuerzo intencionado por utilizar el término "severidad del incendio en el suelo " para diferenciar las propiedades del suelo posterior al incendio de los efectos del fuego en la vegetación (como la mortalidad de los árboles) y/o los efectos generales del fuego en la salud del ecosistema a largo plazo.

Calentamiento del suelo: aumento de la temperatura del suelo como resultado de la transferencia de calor de la combustión del combustible superficial y de la combustión de los horizontes orgánicos del suelo. Debido a la variabilidad del consumo de combustible, el calentamiento del suelo no suele ser uniforme en todos los terrenos. En muchos casos, las temperaturas más elevadas del suelo se asocian a un alto consumo de combustible y/o a un consumo completo del mantillo o suelo forestal, que se ven afectados por la duración y la intensidad del incendio y están relacionados con la humedad del combustible antes del incendio. Los dos componentes del calentamiento del suelo que afectan a la severidad del área quemada son la temperatura máxima alcanzada y la duración del calentamiento.

Severidad del incendio en la vegetación: el efecto de un incendio en las propiedades del ecosistema vegetativo, a menudo definido por el grado de quemado, consumo y mortalidad de la vegetación y la recuperación vegetativa proyectada o final (Lentile y otros 2006; Morgan y otros 2001). La severidad del incendio en la vegetación depende de la intensidad del mismo y del grado en que las propiedades del ecosistema son (o no) resistentes al fuego. Por ejemplo, un incendio de exactamente la misma intensidad puede matar los árboles de corteza fina, pero tener poco efecto en los de corteza gruesa, o puede matar las raíces en lugar de las copas de los árboles, lo que daría lugar a una mayor mortalidad que la observada inicialmente.

Suelos hidrófugos (repelencia al agua): resistente a la penetración del agua; no es mojable. En el caso de la repelencia al agua del suelo inducida por el fuego, las partículas del suelo están recubiertas de compuestos hidrofóbicos. Cuando la materia orgánica arde con gran intensidad, los compuestos orgánicos hidrofóbicos suelen vaporizarse, y algunos de los compuestos vaporizados se desplazan hacia el suelo. Cuando los vapores alcanzan una profundidad del suelo en la que la temperatura es lo suficientemente baja, los compuestos hidrofóbicos se condensan y recubren las partículas del suelo a esa profundidad -generalmente de 0,25 a 2 pulgadas (0,5 a 5 cm) por debajo de la superficie y, con frecuencia, sólo en una capa fina (< 1 mm) en la superficie inmediata del suelo. La

repelencia al agua varía espacialmente a lo largo del terreno y está correlacionada con el tipo de suelo, el tamaño de las partículas del suelo, el contenido de materia orgánica y la profundidad de la capa de hojarasca y del mantillo forestal en la superficie del suelo y la humedad del suelo (MacDonald y Huffman 2004; Doerr y otros 2009). Véase el Apéndice C para más información sobre cómo medir la repelencia al agua.

El papel de la teledetección y los SIG

Las tablas y fotos de esta guía de campo (que comienza en la página 12) son útiles para cartografiar la severidad del incendio en el suelo, tanto si la cartografía se realiza totalmente a mano como si incluye el uso de imágenes de teledetección. Esta cartografía no requiere teledetección ni SIG; sin embargo, ambas tecnologías se utilizan habitualmente en los grandes incendios forestales. Dependiendo de la disponibilidad de recursos, el acceso, el tamaño y el plazo, se pueden trazar mapas de algunos incendios más rápidamente a mano, por ejemplo, un incendio de 1.000 acres (400 ha) con suficiente acceso puede ser un buen candidato para una evaluación posterior al incendio realizada únicamente mediante observaciones terrestres y aéreas. Esperar a que un satélite pase por encima de un incendio para obtener imágenes puede poner en peligro la capacidad de un equipo de BAER para completar su evaluación rápidamente.

En el caso de los incendios más grandes e inaccesibles, la teledetección y los SIG pueden mejorar en gran medida la velocidad, la precisión y la exactitud de los esfuerzos de cartografía tras el incendio. Sin embargo, la cartografía de la severidad del incendio en el suelo nunca debe realizarse únicamente mediante el uso de clasificaciones por teledetección y sin una adecuada verificación sobre el terreno (Parsons 2002; Hudak y otros 2004). Los ecosistemas y el comportamiento de los incendios son lo suficientemente variables como para que sean necesarias tanto las observaciones de campo como el perfeccionamiento de las clasificaciones por teledetección. Una vez realizada la clasificación inicial de las imágenes, el edafólogo u otro especialista debe verificar las condiciones del suelo en el campo antes de que todo el equipo pueda utilizar el mapa.

Clasificación de la reflectancia del área quemada (BARC)

Desde 2002, el Centro de Aplicaciones de Teledetección (RSAC) del Servicio Forestal del USDA en Salt Lake City, Utah, y el Centro de Observación y Ciencia de los Recursos Terrestres (EROS) del USGS en Sioux Falls, Dakota del Sur, han proporcionado imágenes de satélite y productos derivados a los equipos BAER para ayudar a cartografiar rápidamente la severidad del incendio en el suelo en los incendios forestales (Orlemann y otros 2002). Entre los productos que RSAC y EROS suelen proporcionar a

los equipos BAER se encuentran las imágenes de satélite de la zona quemada antes y después del incendio y una clasificación preliminar que representa el cambio del terreno. Este producto se denomina Clasificación de la Reflectancia del Área Quemada (BARC) (Clark y Bobbe 2006).

Creación de la BARC

La BARC se deriva de un algoritmo de transformación de imágenes conocido como NBR (Índice normalizado de área quemada - *Normalized Burn Ratio*). El NBR utiliza las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y del infrarrojo medio (también llamada banda del infrarrojo de onda corta [SWIR]) del sensor del satélite Landsat. El algoritmo es el siguiente:

$$\text{NBR} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$

La vegetación sana y verde refleja la energía NIR. Por el contrario, la respuesta NIR disminuye cuando hay poca vegetación. La energía del infrarrojo medio es reflejada en gran medida por la roca y el suelo desnudo, lo que significa que los valores de la banda del infrarrojo medio serán muy altos en las zonas desnudas y rocosas con poca vegetación y bajos en las zonas de vegetación sana y verde. Las imágenes recogidas sobre un bosque en un estado anterior al incendio tendrán valores altos de bandas del infrarrojo cercano y valores bajos de bandas del infrarrojo medio, mientras que las imágenes recogidas sobre un bosque después de un incendio tendrán valores bajos de bandas del infrarrojo cercano y valores altos de bandas del infrarrojo medio.

Muchos investigadores han utilizado un NBR de una sola escena (López-García y Caselles 1991) y un enfoque de detección de cambios basado en el NBR llamado el diferencial NBR (dNBR) (van Wagtenonk y otros 2004) en proyectos de cartografía de incendios. El dNBR es simplemente una diferenciación de imágenes entre un NBR anterior al incendio y un NBR posterior al incendio, que idealmente tienen un año de diferencia para la consistencia de la vegetación y la atmósfera:

$$\text{dNBR} = \text{NBR antes del incendio} - \text{NBR posterior al incendio}$$

En general, la dNBR es una herramienta útil y precisa para la cartografía de la severidad de las áreas quemadas (Brewer y otros 2005; Cocke y otros 2005; Miller y Yool 2002). Casi todas las capas de la BARC se crean a partir del dNBR. Ocasionalmente se utilizan otros algoritmos simplemente debido a la disponibilidad (o a la falta de ella) de bandas espectrales en las imágenes satelitales o aéreas posteriores al incendio utilizadas para la evaluación.

Utilizar la BARC

La BARC no se considera un mapa de severidad del incendio en el suelo hasta que se haya verificado sobre el terreno y, si es necesario, se haya perfeccionado para representar mejor las condiciones del suelo y del terreno. La BARC comienza como una capa SIG de trama continua que se clasifica en cuatro colores que representan las cuatro clases de severidad del incendio: no quemado es verde oscuro, bajo es verde claro, moderado es amarillo y alto es rojo. Los valores de la BARC se escalan de 0 a 255; los valores bajos indican las zonas menos quemadas, y los valores aumentan a medida que aumenta la severidad del incendio. Algunos usuarios pueden encontrar que la BARC, tal y como se aplica al producto entregado, se ajusta bien a su incendio forestal. Puede ser muy preciso en áreas de ecosistemas densamente arbolados donde la variación en el tipo de vegetación y la densidad son mínimas. Cuando no se necesitan ediciones, según lo determinado por la verificación de campo, puede ser rebautizado como "mapa de severidad del incendio en el suelo".

Sin embargo, lo más frecuente es que los umbrales aplicados a la BARC suministrado no se ajusten bien a las condiciones observadas del suelo y del terreno tras el incendio. Por naturaleza, las imágenes de satélite y sus productos derivados, como la BARC, reflejan el estado de la vegetación porque es la capa superior o lo que el satélite "ve". Es necesario ajustar las clases de la BARC para obtener un producto cartográfico que refleje las condiciones del suelo. El trazado de las observaciones de campo de las condiciones del suelo y del terreno utilizando las coordenadas del GPS como una capa de datos superpuesta a la BARC permite al usuario ver hasta qué punto las clases de la BARC coinciden con las observaciones de campo independientes e imparciales. Muchos miembros del equipo de BAER con conocimientos básicos de SIG descubren que pueden ajustar la BARC para crear rápidamente un mapa que represente sus condiciones de suelo y terreno observadas haciendo simples ajustes en los valores de umbral de la BARC. Esto se denomina edición sistemática, es decir, cambiar los umbrales de la BARC en todo el incendio. La edición sistemática funciona bien en situaciones en las que la vegetación y otros factores del lugar producen una distribución bastante predecible de los patrones de severidad del incendio en el suelo en el terreno. Para realizar cambios sistemáticos en la BARC en ArcMap (Environmental Systems Research Institute, Inc. [ESRI], Redlands, CA), los miembros del equipo pueden simplemente abrir la pestaña de simbología dentro de las propiedades de la capa BARC y ajustar los umbrales entre las distintas clases de severidad. Si, por ejemplo, las observaciones de campo indican que la BARC (tal como se entrega) sobreestima la severidad alta en todo el incendio, un analista puede ajustar el punto de ruptura entre moderado (amarillo) y alto (rojo) para incluir más píxeles amarillos. Los puntos de partida habituales para los umbrales de la BARC son de 0 a 75 (no quemado), de 76 a 109 (bajo), de 110 a 187 (moderado) y de 188 a 255 (alto). Si se sobreestima la severidad alta en la BARC entregado, el usuario puede bajar el límite entre moderado y alto de 188 a 170, por ejemplo.

Otras situaciones pueden requerir ediciones en áreas localizadas porque las imágenes utilizadas para crear la BARC pueden tener problemas que causan confusión en la clasificación. Las nubes, la nieve, el humo de los incendios circundantes o las grandes masas de agua dentro de la cicatriz del incendio (fig. 2) pueden crear incoherencias en la BARC. También puede haber casos en los que las interacciones geología-suelo-vegetación-topografía sean tan complejas que los ajustes sistemáticos no funcionen bien para toda el área quemada. En estos casos, los miembros del equipo de BAER pueden realizar ajustes de la severidad del incendio en el suelo a través de observaciones aéreas o terrestres y luego integrar esas observaciones en la BARC utilizando el SIG.

Otra técnica del SIG que puede utilizarse para refinar la BARC es crear una superposición con las clases de vegetación anteriores al incendio. Esto puede ayudar para tener en cuenta las densidades y los tipos de vegetación anteriores al incendio que pueden afectar a la clasificación de la BARC.

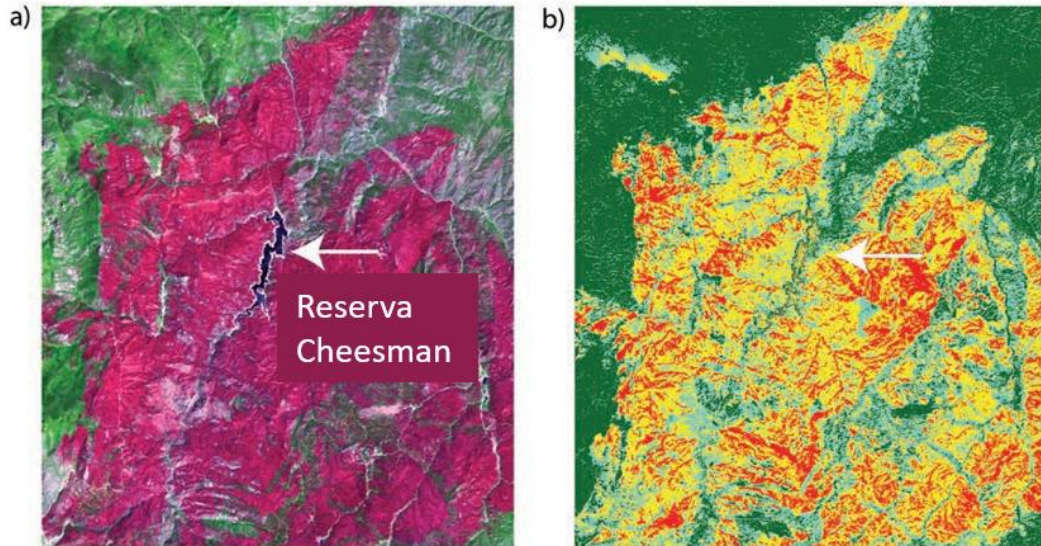


Figura 2. Las grandes masas de agua dentro del perímetro del incendio, como el embalse de Cheesman en las imágenes Landsat del incendio de Hayman de 2002 (a), confunden al BARC (b) y deben ser enmascaradas.

Una superposición de ventas de madera o bloques cortados también puede ser útil para cambiar algunas áreas de la BARC de severidad del incendio en el suelo alta a moderada o baja. En este caso, los miembros del equipo de BAER pueden utilizar las capas del SIG y una clasificación de la vegetación previa al incendio para reclasificar las zonas de alta severidad del incendio en la BARC en lo que sea apropiado según los datos recopilados sobre el estado del suelo y la tierra (Apéndice B). En el Apéndice D se ilustra un ejemplo de ejercicio de cartografía de la BARC de un incendio de coníferas mixtas/pastizales de montaña que fue editado por los miembros del equipo BAER basándose en la vegetación anterior al incendio.

Es importante que los miembros del equipo BAER tengan en cuenta las fechas de las imágenes de satélite utilizadas para crear la BARC. Aunque los analistas de RSAC y EROS intentan utilizar pares de imágenes (anteriores y posteriores al incendio) que coincidan bien (idealmente con un año de diferencia y fechas similares), los pares pueden abarcar a veces varios años. Si ha habido actividades de gestión en el terreno entre las fechas de las imágenes utilizadas, esas actividades pueden influir en los resultados de la cartografía de severidad. Por ejemplo, las actividades de tala que se produzcan entre las imágenes previas y posteriores al incendio utilizadas para crear un BARC se clasificarán probablemente como de alta severidad. La BARC asumirá que el incendio en el área de la actividad de tala fue un evento de sustitución de rodales cuando, en realidad, la estructura

del bosque cambió debido a las actividades de gestión anteriores al evento del incendio. La BARC asume que todas las cosas son iguales en el terreno entre las imágenes anteriores y posteriores al incendio, con la excepción del incendio forestal. Los equipos de BAER deben ser conscientes de estos posibles errores de clasificación.

El RSAC organiza una formación anual entre agencias en la que se enseña a los equipos de BAER a entender la BARC, a realizar ediciones sistemáticas y localizadas, y a utilizar la capa editada en modelos adicionales. Los materiales de formación y la información pueden encontrarse en <http://www.fs.fed.us/eng/rsac/baer/training.html>.

Otros productos derivados

A veces se pide a los equipos de BAER que hagan una evaluación del estado de la vegetación tras el incendio forestal. En este caso, los productos relacionados, como el conjunto de Evaluación Rápida del Estado de la Vegetación tras un Incendio Forestal (RAVG), contienen capas geoespaciales más adecuadas (<https://fsapps.nwcg.gov/ravg/content/home>). El proyecto RAVG crea mapas que relacionan los efectos de la vegetación como el porcentaje de cambio en el área basal, la cobertura del dosel y la severidad del incendio en la vegetación. El RAVG suele cartografiar los incendios en un plazo de 30 días desde su contención (es posible realizar solicitudes especiales para una entrega más rápida). Además, el proyecto de Vigilancia de las tendencias de la severidad del incendio (*Monitoring Trends in Burn Severity* (MTBS)) puede proporcionar información histórica sobre la severidad de los incendios en una zona en la que esté trabajando el equipo de BAER (www.mtbs.gov). El proyecto MTBS es un esfuerzo nacional para cartografiar la severidad del incendio en la vegetación de todos los grandes incendios (de más de 1000 acres, 400 ha en el Oeste y 500 acres, 200 ha en el Este) entre 1984 y el presente, independientemente del tipo de vegetación o de la propiedad de la tierra. La MTBS suele trazar un mapa de los incendios un año después de que se produzcan.

Directrices de evaluación

La BARC puede utilizarse para identificar y caracterizar las clases preliminares de severidad del incendio en el suelo. A partir de este mapa inicial, los equipos de BAER pueden hacer una copia en papel de la imagen de teledetección proporcionada o de otra base cartográfica, realizar visitas de campo y completar la Hoja de Datos de Campo de BAER (Apéndice B). Los miembros del equipo deben recopilar sistemáticamente información sobre el suelo (cobertura del suelo, color y profundidad de las cenizas, estructura del suelo, estado de las raíces y repelencia al agua) para cada clase de

severidad del incendio en el suelo y registrar las ubicaciones de los puntos de datos en un mapa o utilizando una unidad GPS. Una vez que los miembros del equipo tengan una idea de cómo están dispuestas las clases de severidad del incendio en el suelo en el terreno (Key y Benson 2005), pueden empezar a comparar la BARC con las observaciones del estado del suelo y del terreno para determinar su precisión. Si varios especialistas están ayudando en el proceso de validación, asegúrese de que el grupo esté preparado utilizando el mismo procedimiento. Después de compilar las evaluaciones de los distintos especialistas y de comparar estas evaluaciones de campo con las imágenes y los datos cartográficos, el equipo puede elaborar un mapa de severidad del incendio en el suelo a partir de la BARC que sea coherente con la ciencia de los efectos del fuego y que satisfaga las necesidades del equipo de BAER en la evaluación del potencial de escorrentía y erosión.

En algunos casos, las imágenes de teledetección y la de la BARC pueden no estar disponibles para ayudar a la cartografía. Esta guía de campo también es apropiada como referencia para la cartografía manual. Esta sección presenta una breve descripción de algunos conceptos importantes que hay que tener en cuenta a la hora de trazar los mapas, ya sea a mano o con un mapa BARC, y los pasos para trazar los mapas de la severidad del incendio en el suelo. En el Apéndice A se pueden encontrar más detalles.

La capacidad de trazar los mapas eficazmente depende de la capacidad del cartógrafo para examinar el terreno quemado, determinar las relaciones de los factores importantes que contribuyen, hacer predicciones sobre cómo y dónde se dan las condiciones en el terreno y crear polígonos que representen esas condiciones. Es importante comprender conceptos como la composición de las unidades cartográficas, la pureza, la escala y el uso previsto. Estos conceptos afectan cómo y dónde se dibujan los polígonos y lo que éstos representan.

Una consideración importante es el tamaño mínimo del polígono. En general, un mínimo de 40 acres (16 ha) es apropiado, pero puede ser tan grande como 100 o más acres (40 ha o más) en incendios grandes o tan pequeño como 10 acres (4 ha) en áreas de valores críticos en riesgo. También es importante determinar la distribución y el alcance de los efectos de los incendios localizados al crear un mapa de la severidad del incendio en el suelo, ya que pueden no representar la mayor parte de la zona cartografiada y no deberían sesgar de forma desproporcionada la clasificación de la severidad del incendio en el suelo.

Las fotos de esta guía ofrecen una referencia visual de lo que se consideran "conceptos representativos" de las clases de severidad del incendio en el suelo en tipos de vegetación de baja y alta densidad. Estas fotos deben usarse sólo como una guía; no deben considerarse como absolutas o inclusivas. Es necesario el juicio profesional al interpretar las condiciones del suelo y del terreno, especialmente en los sistemas de vegetación de densidad moderada donde no se proporcionan fotos representativas.

Los pasos que hay que seguir para cartografiar la severidad del incendio en el suelo son los siguientes:

- *Obtenga una visión general.* Examine la zona para hacerse una idea de cómo se distribuyen el "verde", el "marrón" y el "negro" en la zona quemada. Registre las notas.
- *Recopile información sobre el terreno.* Pase tiempo sobre el terreno, tome notas y recoja puntos GPS.
- *Empiece a formar conceptos de "unidad cartográfica".* Aprenda cómo se relacionan el terreno, la vegetación y los indicadores de quemado, y describa cada unidad cartográfica según las características observadas.
- *Desarrolle un concepto de "pureza de la unidad cartográfica".* "Desarrolle una idea de la homogeneidad de las clases de severidad del incendio en el suelo e incluya descripciones de las clases en el informe.
- *Concentre el tiempo de campo en lo "negro".* "Hay que dedicar el tiempo a las zonas probablemente problemáticas y a los lugares en los que se obtendrá la información más valiosa.
- *Dibuje polígonos en un mapa.* Utilizando la BARC, una imagen de satélite posterior al incendio o un mapa topográfico delinee las clases de severidad del incendio en el suelo en un mapa. Utilice las notas de datos del suelo para que le ayuden a decidir dónde deben ir las líneas.

Evaluación de los suelos para las clases de severidad de las áreas quemadas bajas, moderadas y altas

Clases de severidad del incendio en el suelo y consideraciones acerca de la vegetación

Aunque este documento y las herramientas geoespaciales como la de la BARC pretenden ayudar a cartografiar los efectos de los incendios en los suelos, lo primero que el observador de campo y las imágenes de teledetección "ven" es la vegetación quemada subyacente. Dado que la severidad de las áreas quemadas en el suelo es el resultado de múltiples factores del lugar, incluido el clima en el momento de la quema, a efectos de los siguientes modelos de tipo y densidad de la vegetación, asumimos que existe una correlación directa entre la densidad de la vegetación y la cantidad de combustibles en el suelo (Safford y otros 2007). Un mayor número de combustibles suele provocar un mayor tiempo de permanencia del fuego, lo que puede dar lugar a un mayor impacto en las condiciones del suelo y del terreno. La siguiente matriz muestra la correlación entre el suelo (tabla 1). Se trata de directrices y no son necesariamente aplicables en todos los incendios.

Tabla 1. Matriz de modelos de severidad del incendio en el suelo y del tipo y densidad de la vegetación

Tipo de vegetación	Modelo de densidad ^a	Clases de severidad del incendio en el suelo		
		Baja	Moderada	Alta
Chaparral	Escasa	C ^b	U	
	Mediana	C	C	U
	Alta	C	C	U
Bosque	Escasa	C	U	
	Mediana	C	C	U
	Alta	C	C	C
Artemisa	Escasa	C	U	
	Mediana	C	C	U
	Alta	C	C	U
Pastizal	Escasa	C		
	Mediana	C	U	
	Alta	C	C	

^aLos porcentajes de cobertura del dosel para la densidad escasa, media y alta se definen aproximadamente como Escasa ≤ 20%, Media = 20-60% y Alta ≥ 60%.

^bClave: C = común, U = no muy probable (pero puede ocurrir en algunas circunstancias), celdas grises – no corresponde/ no ocurre

La información acerca de la densidad de la vegetación y las características de la vegetación tras el incendio es útil para clasificar la severidad de la quema. Del mismo modo, el carbón y el color del dosel se utilizan a menudo como indicadores auxiliares de la severidad general de las áreas quemadas, pero no coinciden necesariamente con la severidad del incendio en el suelo. En las siguientes descripciones de la severidad de las áreas quemadas en el suelo, baja, moderada y alta, se incluye el color del dosel para orientar las paradas de campo y las evaluaciones iniciales.

Sin embargo, para utilizar correctamente el mapa de severidad del incendio en el suelo para su propósito (predecir el riesgo acelerado de escorrentía o erosión), el mapa debe reflejar los cambios inducidos por el fuego en las condiciones del suelo y del terreno. La siguiente descripción de los indicadores de severidad del incendio en el suelo ayuda a los usuarios a evaluar correctamente los efectos posteriores al incendio en las condiciones del suelo y del terreno.

Indicadores de severidad

Baja severidad del incendio en el suelo: Las capas orgánicas superficiales no se han consumido por completo y siguen siendo reconocibles. La estabilidad estructural de los agregados no ha cambiado con respecto a su condición de no quemado, y las raíces generalmente no han cambiado porque el pulso de calor por debajo de la superficie del suelo no fue lo suficientemente grande como para consumir o carbonizar cualquier material orgánico subyacente. La superficie del suelo, incluyendo cualquier suelo mineral expuesto, puede parecer marrón o negra (ligeramente carbonizada), y el dosel y la vegetación del sotobosque probablemente aparecerán "verdes".

Severidad moderada del área quemada del suelo: Se puede consumir hasta el 80 por ciento de la cobertura del suelo anterior al incendio (hojarasca y combustibles del suelo), pero generalmente no toda. Las raíces finas (~0,1 pulgadas o 0,25 cm de diámetro) pueden quemarse, pero rara vez se consumen por completo en gran parte de la zona. El color de la ceniza en la superficie es generalmente ennegrecido con posibles manchas grises. Puede haber un potencial de reclutamiento de cobertura efectiva del suelo a partir de las agujas quemadas o de las hojas que quedan en el dosel y que pronto caerán al suelo. El color predominante del sitio es a menudo "marrón" debido a las agujas del dosel y a la quema de otra vegetación. La estructura del suelo no suele cambiar.

Alta severidad del incendio en el suelo: Toda o casi toda la cobertura del suelo y la materia orgánica de la superficie (hojarasca, mantillo forestal y raíces finas) se consume generalmente, y la carbonización puede ser visible en las raíces más grandes. El color predominante del lugar es a menudo "negro" debido a la extensa carbonización. El suelo desnudo o la ceniza están expuestos y son susceptibles de erosión, y la estructura de los

agregados puede ser menos estable. Las cenizas blancas o grises (de hasta varios centímetros de profundidad) indican que se consumió una considerable cobertura del suelo o combustibles. A veces, las raíces de árboles muy grandes (> 3 pulgadas u 8 cm de diámetro) están totalmente quemadas y se extienden desde el hueco de un tocón carbonizado. El suelo suele ser gris, anaranjado o rojizo en la superficie del suelo donde se concentraron y consumieron grandes combustibles.

Características del suelo

Los cambios más comunes en el suelo son:

- pérdida de la cobertura efectiva del suelo debido al consumo de la hojarasca y del mantillo forestal
- cambio de color de la superficie debido a la carbonización, la cobertura de cenizas o la oxidación del suelo;
- pérdida de la estructura del suelo debido al consumo de la materia orgánica del suelo;
- consumo de raíces finas en el horizonte superficial del suelo; y
- formación de capas hidrófugas que reducen la infiltración.

La pérdida de la capa vegetal efectiva es el cambio más importante que puede aumentar en gran medida la erosión y la escorrentía. Es importante comparar la cobertura del suelo antes del incendio con la cobertura del suelo después del incendio para entender cuánto ha cambiado como resultado del incendio. Por ejemplo, si la capa vegetal era escasa antes del incendio, la severidad del incendio en el suelo no debería considerarse alta, ya que no había suficiente combustible para mantener un calor de larga duración que afectara al suelo en ese grado.

El color del suelo mineral también puede reflejar la severidad del incendio en el suelo. Cuando la severidad del área quemada es baja, el suelo mineral expuesto puede ser marrón o negro. El suelo de alta severidad de quemado puede ser anaranjado o rojizo debido a la oxidación del suelo o, más comúnmente, aparecerá gris debido a la cobertura de ceniza o a una mezcla de ceniza/suelo en la superficie.

La estructura del suelo puede cambiar por el fuego a través de la pérdida de estabilidad estructural de los agregados. Esto se debe a la combustión de material orgánico en el horizonte superficial del suelo. Los compuestos orgánicos quemados actúan como un adhesivo que une las partículas del suelo en agregados estables que resisten el desprendimiento. Dependiendo del tipo de suelo y del grado de calentamiento, los suelos expuestos pueden volverse pulverulentos, de un solo grano o sueltos tras un calentamiento intenso y son muy susceptibles de desprenderse por el viento, el agua y la severidad. El estado de las raíces también puede utilizarse para interpretar la severidad

del calentamiento del suelo. La pérdida de raíces finas o las raíces más grandes carbonizadas en el horizonte superficial del suelo son el resultado de un calor elevado durante un tiempo suficiente.

El color y la profundidad de la ceniza son indicativos del calentamiento del suelo. Una capa gruesa (~3 pulgadas u 8 cm) de ceniza gris o blanca pulverizada suele ser el resultado de la combustión completa de la hojarasca, el mantillo forestal y los combustibles superficiales y puede indicar un calentamiento severo. Como referencia, se necesitan aproximadamente 8 pulgadas (22 cm) de mantillo forestal (suponiendo una densidad aparente de 0,1 g/cm cúbico) para producir 1 pulgada (2,5 cm) de ceniza. Sin embargo, la ceniza no siempre es un indicador fiable porque es muy móvil por el viento y el agua.

Repelencia al agua

A menudo se asume incorrectamente que el aumento de la severidad del área quemada está positivamente correlacionado con el aumento de la repelencia al agua del suelo (Lewis y otros 2006). Sin embargo, la textura y el tipo de suelo antes del incendio, la cantidad y la profundidad de la cobertura de hojarasca, la humedad y la materia orgánica del suelo, así como la temperatura y el tiempo de permanencia del fuego, afectan al grado de modificación del suelo y a la repelencia del agua resultante (DeBano 2000a; Doerr y otros 2000). Los suelos de grano grueso son más propensos a la repelencia al agua inducida por el fuego que los de grano fino. Los suelos con capa de ceniza volcánica, que son de grano fino, suelen ser naturalmente repelentes al agua, pero el grado de repelencia al agua por lo general se ve alterado por el calentamiento del fuego (Robichaud y Hungerford 2000; Doerr y otros 2000). Los suelos naturalmente repelentes al agua también se encuentran con frecuencia (aunque no siempre) bajo las copas de los abetos (*Abies* spp.) y bajo los arbustos individuales de salvia (*Artemisia* spp.) o de chaparral (*Ceanothus* spp. y otros). A medida que la hojarasca y el mantillo forestal de la superficie del suelo se consumen en un incendio, las condiciones de repelencia al agua suelen crearse o exacerbarse mediante la formación de compuestos hidrofóbicos. Sin embargo, las temperaturas muy altas (> 280 °C) o un largo tiempo de calentamiento pueden impedir la formación de suelo hidrófugo en la superficie. Aun así, puede formarse una capa hidrófuga en el subsuelo más frío que hará más difícil la infiltración y aumentará la escorrentía y la erosión (DeBano 2000b). Una fina capa de suelo repelente al agua en o cerca de la superficie es común y en general se disipará más rápidamente a través de la bioturbación, la severidad y los ciclos de congelación y descongelación que una capa repelente al agua más profunda en el perfil del suelo (Doerr y otros 2000). Debido a que la temperatura y la duración de los incendios forestales y las propiedades del suelo tienen una alta variabilidad espacial, la conexión entre la severidad de las áreas quemadas y la

repelencia al agua del suelo no es universalmente consistente ni está bien definida (Doerr y otros 2000). Véase el Apéndice C para obtener información sobre cómo medir la repelencia al agua (Robichaud y otros 2008a).

Todos estos factores deben considerarse conjuntamente al determinar la clasificación de la severidad del incendio en el suelo. No todos los indicadores posibles deben estar presentes, pero generalmente, dos o más factores de alta severidad que dominen un área pueden justificar una clasificación de alta severidad de quemado del suelo para ese polígono.

La siguiente serie de fotos ejemplifica las descripciones de la severidad del incendio en el suelo proporcionadas anteriormente e incluye:

- A. Capa vegetal: cantidad y estado
- B. Color y profundidad de la ceniza
- C. Estructura del suelo
- D. Raíces
- E. Repelencia al agua del suelo

Serie de fotos de las condiciones del suelo

A. Capa vegetal: cantidad y estado



Baja severidad del incendio en el suelo

Poco o ningún cambio respecto al estado anterior al incendio. Menos del 50% de consumo de hojarasca, algo de carbón. Agujas y hojas en su mayoría intactas.



Severidad moderada de las áreas quemadas del suelo

Consumo de hasta el 80% de la hojarasca y el mantillo forestal, pero generalmente incompleto. Quedan hojas y acículas reconocibles. Si el consumo es más completo, un factor atenuante puede ser la posibilidad de que las hojas o agujas del dosel quemado proporcionen capa vegetal.



Alta severidad del incendio en el suelo

No hay cobertura efectiva del suelo después del incendio (menos del 20%). Se ha consumido toda o la mayor parte de la hojarasca y del mantillo forestal, y sólo queda ceniza o suelo desnudo (ceniza volada). Poco o nada de potencial para la formación de hojas o agujas.

B. Color y profundidad de la ceniza



Baja severidad del incendio en el suelo

La superficie del suelo puede ser negra con combustibles finos reconocibles (agujas, hierba y hojas) que permanecen en la superficie.



Severidad moderada de las áreas quemadas del suelo

Capa fina de ceniza de color negro a gris con hojarasca reconocible debajo. La capa de ceniza puede ser irregular, ya que el viento y el agua la mueven mucho. El calentamiento del suelo puede haber sido importante; el tiempo de permanencia suele ser breve. Si se observa una capa de ceniza más gruesa, un factor atenuante puede ser la posibilidad de que las hojas o las agujas se desprendan del dosel quemado.



Alta severidad del incendio en el suelo

El suelo está cubierto por una capa gruesa de cenizas grises o blancas, de 3 a 6 cm o más. Se ha consumido más del 90% de la materia orgánica de la superficie; se ha producido un calentamiento significativo del suelo; el tiempo de permanencia es largo. No hay posibilidad de que las hojas o las agujas se conviertan en una capa vegetal.

El suelo rojo localizado (oxidado) puede subyacer a una capa gruesa y pulverulenta de ceniza gris y blanca, que se encuentra generalmente cerca de un tocón o tronco quemado; indica un calentamiento extremo.

C. Estructura del suelo



Baja severidad del incendio en el suelo

Estructura inalterada. Los agregados granulares no se debilitan por el consumo de materia orgánica.



Severidad moderada de las áreas quemadas del suelo

Estructura poco o nada alterada. Cierta consumo de materia orgánica en la parte superior de 1 cm del perfil del suelo.



Alta severidad del incendio en el suelo

Estabilidad estructural de los agregados reducida o destruida. Predomina el suelo de grano suelto y simple, expuesto o bajo ceniza (hasta 4 pulgadas o 10 cm de ceniza). Consumo de materia orgánica en los 5 cm superiores del perfil del suelo.

D. Raíces



Baja severidad del incendio en el suelo

Raíces finas (~0,1 pulgadas o 0,25 cm de diámetro) intactas y sin cambios.



Severidad moderada de las áreas quemadas del suelo

Las raíces finas cerca de la superficie pueden estar carbonizadas o chamuscadas; las raíces grandes están intactas (~0,25 pulgadas o 0,5 cm de diámetro).



Alta severidad del incendio en el suelo

Muchas o la mayoría de las raíces finas cerca de la superficie se consumen o se carbonizan. Puede haber algo de carbonización en las raíces muy grandes (~3 pulgadas u 8 cm de diámetro).

E. Repelencia al agua del suelo



Baja severidad del incendio en el suelo

No hay repelencia al agua inducida por el fuego. El agua se infiltra inmediatamente; sin embargo, algunos suelos muestran repelencia al agua incluso cuando no están quemados (véase la sección 43).



Severidad moderada de las áreas quemadas del suelo

Repelencia al agua de débil a media que se encuentra en la superficie del suelo o justo debajo de ella. El agua se infiltra lentamente.



Alta severidad del incendio en el suelo

Fuerte repelencia al agua en la superficie o en profundidad. El agua no se infiltra. En caso de calentamiento extremo del suelo, la repelencia al agua del suelo puede ser destruida o puede existir a profundidades muy grandes del suelo (6 pulgadas o 15 cm).

Consideraciones sobre la vegetación antes del incendio

La densidad de la vegetación previa al incendio (incluyendo los combustibles del suelo, la hojarasca y el mantillo forestal) es un factor clave para tener en cuenta a la hora de trazar los mapas la severidad del incendio en el suelo. Para los fines de esta guía de campo, los tipos de vegetación se han generalizado en dos densidades de vegetación previas al incendio dentro de tres ecosistemas propensos al fuego que representan las condiciones generalizadas en el oeste de Estados Unidos.

Chaparral: La vegetación de chaparral de baja y alta densidad está representada por comunidades de vegetación de chaparral o mixta de arbustos y chaparral. Los combustibles del suelo son característicamente escasos, excepto directamente bajo el dosel de arbustos, con una gama de combustibles de dosel de baja a alta densidad. La precipitación media anual suele oscilar entre 30 y 50 cm.

Bosque mixto de coníferas: El bosque mixto de coníferas contiene combustibles en el suelo que van de escasos a densos. La precipitación media anual varía mucho, desde 50 a 200 cm, y generalmente depende de la altitud; las precipitaciones a mayor altitud están dominadas por la nieve. Los combustibles del suelo escasos y secos son característicos de los regímenes de precipitación más bajos, mientras que los regímenes de precipitación más altos producen combustibles del suelo más gruesos, húmedos y densos. Los combustibles del dosel también varían en gran medida por la precipitación y localmente por el aspecto (por ejemplo, las laderas orientadas al sur son generalmente secas y escasas). Los combustibles del suelo y del dosel también pueden variar si una perturbación reciente, como una enfermedad, un insecto o un evento de derribo, ha provocado una mortalidad generalizada de los árboles, o si se ha producido una perturbación en el pasado, como un aclareo o una tala.

Artemisa/pastizal: La artemisa/pastizal tiene escasos combustibles en el suelo debido al clima árido asociado a los pastizales. La precipitación media anual oscila entre 10 y 20 cm. Las copas de los árboles pueden ser densas, pero a menudo se mezclan con parches de hierba, hierbas nativas y no nativas, y suelo mineral expuesto. Aunque algunas de estas zonas no suelen presentar un riesgo elevado de aumento del suelo erosión después de los incendios forestales suelen tener un alto riesgo de invasión de malas hierbas o especies nocivas y pueden ser considerados para tratamientos de rehabilitación después de los incendios.

Más allá de la identificación de las características generales de densidad de la vegetación de una zona, hay que tener en cuenta la estructura espacial o la heterogeneidad/homogeneidad de la vegetación. Los grandes parches de vegetación densa (como una ladera) en una zona con poca vegetación pueden dar lugar a una zona de alta severidad de quemado del suelo que puede tener implicaciones hidrológicas en caso de

precipitaciones de alta intensidad. Los parches más pequeños de vegetación densa que crean una alta severidad del incendio en el suelo suelen tener menos potencial para aumentar la escorrentía o la erosión del suelo en una cuenca. La distribución y la densidad de la vegetación afectan al comportamiento del fuego y al tiempo de permanencia, lo que repercute directamente en los impactos posteriores en el suelo.

El tipo y la densidad de la vegetación antes del incendio son factores importantes para tener en cuenta a la hora de interpretar la capa BARC. Antes de un incendio forestal, las zonas de baja biomasa de vegetación superficial tendrán bajos valores de reflectancia en el infrarrojo cercano en las imágenes de teledetección. Cuando se produce un incendio forestal y quema zonas de baja biomasa, el cambio no es sustancial para el sensor del satélite y a menudo se clasifica como baja severidad del incendio en el suelo en la BARC. Esta puede ser una clasificación adecuada si el incendio tuvo realmente un bajo impacto en el suelo subyacente. Sin embargo, si sólo se utiliza la de la BARC (y su fuente de datos, el dNBR) para cartografiar los efectos sobre el suelo y la vegetación, puede subestimar la verdadera severidad del incendio en el suelo.

La siguiente serie de fotos pretende ser una guía general. Elija el modelo de densidad que más se aproxime a su emplazamiento y tenga en cuenta los indicadores de severidad de ese modelo. Tenga en cuenta las discrepancias localizadas y sus posibles implicaciones en las condiciones del suelo y del terreno tras el incendio. Es necesario que un especialista de campo interprete las condiciones del suelo en zonas de densidad de vegetación moderada.

La siguiente serie de fotos de consideraciones sobre la vegetación está ordenada por densidad, clase de vegetación y severidad del incendio. Véase la tabla 1 para una representación de la probabilidad de encontrar estas condiciones de severidad del incendio en el suelo.

Serie de fotos sobre la vegetación

A. Chaparral de baja densidad

Baja severidad del incendio en el suelo, chaparral de baja densidad - condición más común ya que los combustibles del suelo y del dosel son escasos, causando un mínimo calentamiento del suelo.



**Sustrato —
suelo/ hojarasca/ mantillo forestal**

Hojarasca superficial carbonizada o parcialmente consumida. Estructuras foliares carbonizadas pero reconocibles. Suelo mineral visible con manchas discretas de ceniza; la estructura del suelo y las raíces no han cambiado.



**Vegetación de superficie —
sotobosque/ arbustos/ maleza**

Combustibles finos (pastos y maleza) quemados o parcialmente consumidos. Tallos de arbustos más gruesos intactos.



**Vegetación del dosel—
factores auxiliares para obtener pistas
adicionales**

El follaje de las copas de los árboles se mantiene en su mayor parte inalterado. Los parches de hojas quemadas generalmente no son dominantes.

5-30% de dosel carbonizado

Severidad del incendio en el suelo moderada, chaparral de baja densidad: es poco probable que se produzca como polígonos cartografiables debido a la baja densidad de la vegetación. Estas condiciones pueden darse directamente debajo de arbustos individuales.

	<p>Sustrato — suelo/ hojarasca/ mantillo forestal</p> <p>La hojarasca de la superficie está en su mayor parte carbonizada o consumida; ceniza ennegrecida o gris en la superficie. Es poco probable que la estructura del suelo y las raíces se vean alteradas de forma significativa.</p>
	<p>Vegetación de superficie— sotobosque/ arbustos/ maleza</p> <p>Combustibles más finos (hierbas, maleza y tallos pequeños) consumidos en su mayoría. Tallos de arbustos carbonizados; coronas de raíces intactas.</p>
	<p>Vegetación del dosel— factores auxiliares para obtener pistas adicionales</p> <p>El follaje del dosel se consume en su mayor parte; quedan los esqueletos de los arbustos y los tallos más pequeños (< 0,5 pulgadas o 1 cm).</p> <p>30-100% de la cobertura carbonizada</p>

B. Chaparral de alta densidad

Baja severidad del incendio en el suelo, chaparral de alta densidad: incluso en el chaparral de alta densidad, el calentamiento del suelo suele ser de corta duración, causando efectos mínimos en el suelo.

	<p>Sustrato— suelo/ hojarasca/ maleza</p> <p>Hojarasca superficial carbonizada o parcialmente consumida. Estructuras foliares carbonizadas pero reconocibles. Suelo mineral visible con discretas manchas de ceniza. La estructura del suelo y las raíces no han cambiado.</p>
	<p>Vegetación de superficie— sotobosque/ arbustos/ maleza</p> <p>Combustibles finos (pastos y maleza) quemados o parcialmente consumidos; tallos de arbustos intactos.</p>
	<p>Vegetación del dosel— factores auxiliares para obtener pistas adicionales</p> <p>El follaje de las copas de los árboles se mantiene en su mayor parte inalterado. Los parches de hojas quemadas generalmente no son dominantes.</p> <p>5-30% de dosel carbonizado</p>

Severidad moderada del incendio en el suelo, condición más común **del chaparral de alta densidad**, el consumo del dosel puede ser parcial, de severidad mixta o bastante continuo; el suelo está moderadamente afectado.



**Sustrato—
suelo/ hojarasca/ mantillo forestal**

La hojarasca de la superficie está en su mayor parte carbonizada o consumida; ceniza ennegrecida o gris en la superficie. Es poco probable que se altere la estructura del suelo y las raíces.



**Vegetación de superficie—
sotobosque/ arbustos/ maleza**

Combustibles más finos (pastos, malezas y tallos pequeños) consumidos en su mayoría. Tallos de arbustos carbonizados; coronas de raíces intactas.



**Vegetación del dosel—
factores auxiliares para obtener pistas adicionales**

El follaje del dosel se consume en su mayor parte. Quedan los esqueletos de los arbustos y los tallos más pequeños (< 0,5 pulgadas o 1 cm).

30-100% de la cobertura carbonizada

Chaparral de alta densidad y severidad del incendio en el suelo: generalmente se encuentra sólo en rodales viejos, densos y decadentes, especialmente si se trata de parches grandes y continuos.



**Sustrato—
suelo/ hojarasca/ mantillo forestal**

Toda o la mayor parte de la materia orgánica de la superficie se consume, dejando una fina ceniza gris o blanca y un extenso suelo mineral carbonizado. La superficie del suelo es negra, marrón o rojiza por debajo de la ceniza. Las raíces finas y la materia orgánica se consumen, lo que provoca la pérdida de la estructura del suelo.



**Vegetación de superficie—
sotobosque/ arbustos/ maleza**

Combustibles más finos (pastos, malezas y tallos pequeños) consumidos, incluidos los combustibles < 1 pulgada o 2 cm.



**Vegetación del dosel—
factores auxiliares para obtener pistas adicionales**

El follaje del dosel se consume por completo. Sólo quedan los tallos de mayor diámetro (> 1 pulgada o 2 cm).

90-100% de la cobertura carbonizada

C. Bosque mixto de coníferas de baja densidad

Baja severidad del incendio en el suelo, bosque de baja densidad: es la condición más común ya que los combustibles del suelo y del dosel son escasos, causando un mínimo calentamiento del suelo.

	<p>Sustrato— suelo/ hojarasca/ mantillo forestal</p> <p>Hojarasca superficial carbonizada o parcialmente consumida. Estructuras de hojas o agujas carbonizadas pero reconocibles. Manto en gran parte intacto. La estructura del suelo y las raíces permanecen prácticamente inalteradas.</p>
	<p>Vegetación de superficie— sotobosque/ arbustos/ maleza</p> <p>Combustibles más finos (pastos, maleza y arbustos más pequeños) quemados o parcialmente consumidos.</p>
	<p>Vegetación del dosel— factores auxiliares para obtener pistas adicionales</p> <p>Las copas de los árboles se mantienen en su mayoría inalteradas. Pueden observarse ligeras áreas quemadas.</p> <p>5-10% de dosel de árboles carbonizados y < 3 pies o 1 m de altura de carbonización</p>

Severidad moderada del incendio en el suelo, bosque mixto de coníferas de baja densidad: es improbable que se produzca en sistemas forestales muy dispersos, excepto cuando hay un sotobosque importante y, en esos casos, la severidad del incendio en el suelo es una función del sistema de vegetación del sotobosque más que del bosque disperso.



**Sustrato—
suelo/ hojarasca/ mantillo forestal**

Hojarasca superficial carbonizada o parcialmente consumida. Estructuras de hojas o agujas carbonizadas pero reconocibles. Manto en gran parte intacto. La estructura del suelo y las raíces permanecen prácticamente inalteradas.



**Vegetación de superficie—
sotobosque/ arbustos/ maleza**

Los combustibles más finos (pastos maleza, arbustos, ramitas y ramas pequeñas) se consumen principalmente.



**Vegetación del dosel—
factores auxiliares para obtener pistas adicionales**

Las copas de los árboles se han quemado o consumido en su mayor parte.

D. Bosque mixto de coníferas de alta densidad

La severidad del incendio en el suelo, la alta densidad del bosque generalmente ocurre donde los combustibles superficiales son más ligeros.

	<p>Sustrato— suelo/ hojarasca/ mantillo forestal</p> <p>Hojarasca superficial carbonizada o parcialmente consumida. Estructuras de hojas o agujas carbonizadas pero reconocibles. Mantillo en gran parte intacto. La estructura del suelo y las raíces permanecen prácticamente inalteradas.</p>
	<p>Vegetación de superficie— sotobosque/ arbustos/ maleza</p> <p>Combustibles más finos (pastos, malezas y arbustos más pequeños) calcinados o parcialmente consumidos. También se pueden consumir ramitas y ramas pequeñas en el suelo.</p>
	<p>Vegetación del dosel— factores auxiliares para obtener pistas adicionales</p> <p>Las copas de los árboles se mantienen en su mayoría inalteradas. Pueden observarse ligeras áreas quemadas.</p> <p>5-10% de dosel de árboles carbonizados y < 3 pies o 1 m de altura de la carta</p>

Severidad moderada del incendio en el suelo, condición **más** común de **los bosques mixtos de alta densidad**; a menudo intercalados con parches localizados de baja y alta severidad del incendio en el suelo. El suelo está moderadamente afectado.



**Sustrato—
suelo/ hojarasca/ mantillo forestal**

La materia orgánica de la superficie puede estar carbonizada, pero la estructura de las hojas o agujas es reconocible. Si se consumen, las agujas u hojas carbonizadas de los árboles crearán rápidamente un mantillo. La ceniza gris o negra o la hojarasca carbonizada pueden cubrir gran parte de la superficie; la estructura del suelo y las raíces suelen estar intactas.



**Vegetación de superficie—
sotobosque/ arbustos/ maleza**

Se pueden consumir los combustibles superficiales y la vegetación del sotobosque. Todas las partes de la planta pueden ser consumidas, incluyendo los combustibles de más de 2 cm. Troncos grandes consumidos o profundamente carbonizados.



**Vegetación del dosel—
factores auxiliares para obtener pistas adicionales**

El follaje de las copas está quemado, pero generalmente no se consume por completo. Las agujas o las hojas permanecen en los árboles (un potencial importante de fundición de agujas para proporcionar mantillo).

10-80% de dosel carbonizado y 3-6 pies o 1-2 m de altura de carbonización

Alta severidad del incendio en el suelo, bosque de coníferas mixto de alta densidad - es más probable que ocurra donde los combustibles del suelo eran densos antes del incendio. También se puede encontrar en parches localizados junto a los tocones de los árboles o donde se quemaron grandes troncos derribados; el suelo está muy afectado.



Sustrato—

suelo/ hojarasca/ mantillo forestal

Se eliminan todos o la mayoría de los elementos orgánicos de la superficie, dejando una fina ceniza gris o blanca y un extenso suelo mineral carbonizado. La superficie del suelo es negra, marrón o rojiza por debajo de la ceniza. La estructura del suelo se ha debilitado debido al consumo de raíces finas y sustancias orgánicas. Evidencia de hojarasca o combustibles superficiales previamente significativos (ceniza profunda; líneas de mantillo en árboles y rocas).



Vegetación de superficie—

sotobosque/ arbustos/ maleza

Combustibles superficiales y vegetación del sotobosque consumidos. Todas las partes de la planta pueden ser consumidas, incluyendo los combustibles > 1 pulgada o 2 cm. La mayoría de los tallos de los árboles están carbonizados, y los troncos grandes se consumen o se carbonizan profundamente.



Vegetación del dosel—

factores auxiliares para obtener pistas adicionales

Follaje de la copa completamente consumido. Quedan pocas o ninguna aguja u hoja en los árboles (poco o nada de potencial para la formación de agujas para proporcionar mantillo).

90-100% de dosel carbonizado y > 6-12-ft o 2-4-m de altura de char

E. Densidad baja de arbustos/ pastizales

Baja severidad del incendio en el suelo, arbustos/ pastizales de baja densidad única condición común; áreas de hojarasca y vegetación quemada, parcialmente quemada y no quemada.



Sustrato—

suelo/ hojarasca/ mantillo forestal

Hojarasca superficial carbonizada o parcialmente consumida. Estructuras foliares carbonizadas pero reconocibles. El suelo mineral es visible con parches discretos de ceniza debajo de algunos arbustos. La estructura del suelo y las raíces permanecen inalteradas.



Vegetación de superficie—

sotobosque/ arbustos/ maleza

Combustibles más finos (pastos, malezas y tallos más pequeños) quemados o parcialmente consumidos. Tallos de arbustos grandes intactos.



Vegetación del dosel—

factores auxiliares para obtener pistas adicionales

Quemas en el follaje del dosel; puede ser consumido parcial o casi totalmente.

F. Artemisa/ pastizal de alta densidad

Baja severidad del incendio en el suelo, alta densidad de arbustos/ pastizales— áreas de hojarasca y vegetación quemada y parcialmente quemada.



Sustrato—

suelo/ hojarasca/ mantillo forestal

Hojarasca superficial carbonizada o parcialmente consumida. Estructuras foliares carbonizadas pero reconocibles. Suelo mineral visible con discretas manchas de ceniza. La estructura del suelo y las raíces no han cambiado.



Vegetación de superficie—

sotobosque/ arbustos/ maleza

Combustibles más finos (pastos, malezas y tallos más pequeños) calcinados o parcialmente consumidos; esqueletos de arbustos y tallos finos intactos.




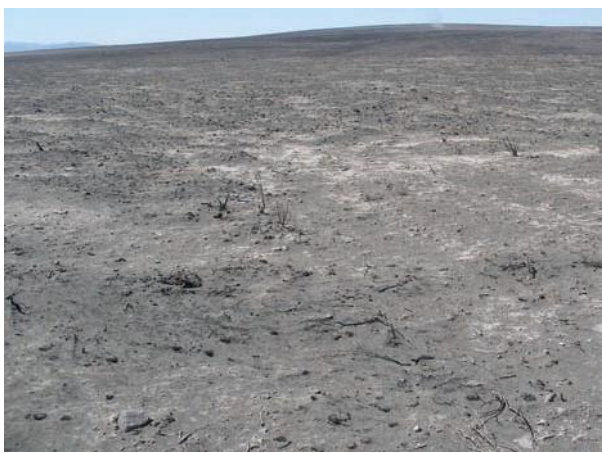
Vegetación del dosel—

factores auxiliares para obtener pistas adicionales

Follaje del dosel quemado o parcialmente consumido.

5-30% de dosel carbonizado.

Severidad moderada del incendio en el suelo, condición **más común de arbustos/ pastizales de alta densidad**; puede ser un parche, una severidad mixta o un dosel consumido bastante continuo; el suelo no está gravemente afectado.

	<p>Sustrato— suelo/ hojarasca/ mantillo forestal desechos</p> <p>La hojarasca de la superficie está en su mayor parte carbonizada o consumida. Ceniza ennegrecida en la superficie. Es poco probable que se altere la estructura del suelo y las raíces.</p>
	<p>Vegetación de superficie— sotobosque/ arbustos/ maleza</p> <p>Combustibles más finos (hierbas, maleza y tallos pequeños) consumidos. Tallos de artemisa carbonizados o consumidos; coronas de raíces intactas.</p>
	<p>Vegetación del dosel— factores auxiliares para obtener pistas adicionales</p> <p>Follaje del dosel consumido en su mayor parte. 30-90% del dosel consumido.</p>

Uso del mapa de severidad del incendio en el suelo en las evaluaciones posteriores al incendio

Uso del mapa de severidad del incendio en el suelo

Una vez verificado sobre el terreno, el mapa de severidad del incendio en el suelo se combina con información sobre la topografía, la vegetación anterior al incendio y las precipitaciones para determinar el potencial de respuesta hidrológica y de erosión de las cuencas quemadas. Este es uno de los objetivos más importantes del mapa de severidad del incendio en el suelo. Las predicciones de la respuesta hidrológica y de la erosión pueden hacerse con una variedad de modelos y técnicas. A continuación, se presenta un breve resumen de los modelos disponibles que se utilizan habitualmente en el entorno posterior al incendio. Los pros y los contras de algunos de estos modelos se discuten en detalle en Foltz y otros (2008). Los resultados de estos modelos se pueden mostrar en tablas, gráficos o capas de atributos del SIG.

Modelos comunes de predicción de la hidrología y la erosión tras el incendio

WEPP: El Proyecto de Predicción de la Erosión del Agua (WEPP) es un modelo basado en la física que predice la escorrentía, la erosión del suelo en las tierras altas y la entrega de sedimentos en las laderas (Flanagan y Livingston 1995). El archivo climático que impulsa el WEPP se genera estocásticamente a partir de 2.600 datos históricos de estaciones meteorológicas y se modifica mediante la interfaz *Rock Clime* para las regiones montañosas (Elliot 2004). Se han desarrollado varias interfaces específicamente para las evaluaciones posterior al incendio utilizando el modelo WEPP. Estos y otros modelos de erosión y escorrentía utilizados por los equipos de BAER se discuten a continuación. Se puede acceder al WEPP y a sus submodelos en línea en <https://forest.moscowfsl.wsu.edu/fswepp>.

ERMiT: La Herramienta de Gestión del Riesgo de Erosión (ERMiT) es una herramienta desarrollada específicamente para las evaluaciones posterior al incendio que predice la probabilidad asociada a una cantidad determinada de erosión del suelo de una sola tormenta en toneladas/acre (toneladas/ha) para una topografía de ladera determinada en cada uno de los cinco años siguientes a los incendios forestales, de chaparral y de arbustos de sabana (Robichaud y otros 2007). ERMiT también predice los beneficios de los tratamientos de mitigación durante el período de recuperación para la siembra, el acolchado y la instalación de barreras contra la erosión de troncos talados en contorno.

WEPP perturbado: El WEPP perturbado permite a los usuarios describir numerosas

condiciones de erosión de bosques y pastizales perturbados, incluidas las condiciones de baja y alta severidad del incendio en el suelo. El resultado ofrece la escorrentía media anual, las tasas de erosión y los rendimientos de sedimentos, así como un análisis del período de retorno y la probabilidad de que se produzca una determinada cantidad de erosión el año siguiente a una perturbación. Además, el usuario puede revisar el resumen del WEPP y los resultados ampliados.

WEPPcloud: WEPPcloud es una herramienta de simulación de computación en la nube basada en WEPP que estima la erosión del suelo en laderas, la escorrentía de las cuencas hidrográficas y el rendimiento de los sedimentos desde cualquier lugar de los Estados Unidos continentales. Es especialmente útil para las evaluaciones posteriores a los incendios forestales, la planificación del tratamiento del combustible y el análisis de los incendios prescritos. **WEPPcloud PEP** (Predicción posterior al incendio) estima la erosión del suelo tras un incendio forestal real o simulado a partir de mapas de severidad del incendio en el suelo cargados por el usuario. Los datos de elevación provienen del USGS Conjunto de Elevaciones Nacionales (*National Elevation Set*) y la cobertura del suelo se basa en el USGS Conjunto de datos nacionales sobre la cobertura vegetal (*National Landcover dataset*). Los suelos se construyen utilizando SURGO/STATSGO; los climas se generan a partir de las bases de datos CLIGEN; TOPAZ se utiliza para la delimitación de las cuencas hidrográficas. WEPPcloud y sus filiales están disponibles en (<https://forest.moscowfsl.wsu.edu/fswcpp/> o <https://wepp.cloud/weppcloud>).

Número de curva: El método del número de curva (CN) estima la profundidad del escurrimiento (Ponce y Hawkins 1996). Considera la precipitación, los suelos, el tipo de cobertura, las prácticas de tratamiento/conservación, las condiciones hidrológicas y la inclinación de la pendiente. Los usuarios eligen los CNs basados en el tipo de cobertura, tratamiento (en el caso de la modelación posterior al incendio, la severidad del incendio en el suelo), las condiciones hidrológicas, y el grupo hidrológico del suelo para estimar el escurrimiento y el flujo máximo; por lo tanto, el CN es el parámetro más importante en este método. Se suelen utilizar dos métodos de CN durante las evaluaciones posteriores a los incendios: WILDCAT4 (Hawkins y Greenberg 1990) y FIRE HYDRO (Cerrelli 2005).

TR-55: El modelo TR-55 utiliza la CN de escorrentía como parámetro de entrada. El TR-55 es un procedimiento simplificado para calcular el volumen de escorrentía de las tormentas, el caudal máximo, el hidrograma y el volumen de almacenamiento para las estructuras de gestión de las aguas pluviales en cuencas pequeñas (USDA NRCS 2005). Inicialmente asume una distribución de precipitaciones de tipo II del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) y posteriormente la mejora añadiendo otras tres distribuciones de precipitaciones (tipo I, IA y III). A continuación, el TR-55 programa los cálculos para estimar el tiempo de concentración.

WMS: El Sistema de Modelización de Cuencas Hidrográficas (WMS) (<https://www.aquaveo.com/software/wms-watershed-modeling-system-introduction>) ofrece una interfaz gráfica para el modelo TR-55 y utiliza CNs para predecir la escorrentía de las tormentas, el caudal máximo y el hidrograma de las cuencas hidrográficas. El usuario puede seleccionar las distintas distribuciones de precipitaciones descritas en el TR-55.

RUSLE: El modelo de la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE) fue desarrollado para aplicaciones en tierras de cultivo para predecir la erosión media anual (RUSLE 1993). Se ha aplicado a la modelización posterior al incendio utilizando técnicas de SIG tras el incendio de Cerro Grande en Nuevo México (Miller y otros 2003) y con otros incendios.

FERGI: El modelo FERGI (Fire Enhanced Runoff and Gully Initiation) es una descripción matemática basada en la física de la respuesta hidrológica y geomórfica de las laderas a un conjunto determinado de fenómenos meteorológicos (Luce 2001). El FERGI estima la probabilidad de exceso de precipitación, la cantidad de generación de escorrentía y las posiciones de iniciación de cárcavas en laderas con y sin mitigaciones.

Ecuaciones de regresión del USGS: Las ecuaciones de regresión del USGS se utilizan para estimar la magnitud y la frecuencia de las crecidas de los arroyos aforados y no aforados de las cuencas hidrográficas de más de 13 km² (Thomas y otros 1997). StreamStat, una herramienta basada en la web se ha utilizado recientemente para varias regiones hidrológicas basándose en sus registros de aforo de arroyos, en las características de las cuencas y en numerosos estudios en todo Estados Unidos (USGS 2007). La respuesta hidrológica previa al incendio se ajusta en función del porcentaje de la superficie de la cuenca que se quemó con una severidad moderada y alta en el suelo y de un modificador definido por el usuario.

Método racional: El método racional tradicional fue originalmente desarrollado para calcular el flujo máximo de la inundación bajo el supuesto de que las intensidades tanto de la lluvia como de la infiltración están distribuidas uniformemente en el tiempo y el espacio (Ponce 1989). El método racional modificado ajusta la precipitación a una distribución de tormentas de diseño.

La elección del modelo suele estar determinada por la experiencia del equipo de BAER, los datos disponibles, la zona geográfica y el resultado deseado. Es importante tener en cuenta que el mapa de severidad del incendio en el suelo no es un mapa del potencial de escorrentía o erosión, sino que es una entrada en los modelos hidrológicos o de erosión, ya que representa los cambios causados por el fuego en los parámetros que afectan a la escorrentía o al potencial de erosión, tales como la cobertura del suelo, la conductividad hidráulica, el grupo hidrológico del suelo, el factor K del suelo, el número de curva y el grado de erosión entre los surcos.

Visualización del potencial de escorrentía superficial en los mapas

Una vez ejecutados los modelos hidrológicos para las zonas quemadas de interés, los resultados pueden mostrarse en el SIG. Por ejemplo, un mapa de potencial de escorrentía podría representar las condiciones de respuesta de la cuenca tras el incendio que reflejan la escorrentía probable del primer año. Estas cantidades de escorrentía podrían dividirse en cuatro clases (sin cambios, baja, moderada y alta) que representan la escorrentía o el potencial de flujo máximo. Los productos de modelización post-hidrológica no suelen producir lo que parece un mapa de severidad del incendio en el suelo porque durante la modelización se utilizan otras características fisiográficas (pendiente, aspecto, tipo de suelo y precipitaciones previstas).

Visualización del potencial de erosión en los mapas

Utilizando el SIG, el mapa de severidad del incendio en el suelo puede superponerse con la pendiente, el tipo de suelo y la cantidad de suelo y roca expuestos. Estas combinaciones pueden agruparse adecuadamente para ayudar a la modelización de la erosión. Por ejemplo, puede calcularse una serie de ejecuciones del modelo ERMiT para los grupos dominantes de características y los valores resultantes pueden mostrarse en forma de tabla o añadirse a la tabla de atributos de la clase de característica combinada para mostrar un mapa del potencial de erosión del suelo tras el incendio. El mapa de potencial de erosión también puede tener un aspecto diferente al del mapa de severidad del incendio en el suelo. Una condición de alta severidad del incendio en el suelo en un terreno plano tendría un bajo potencial de erosión debido a la topografía.

Otros usos de un mapa de severidad del incendio en el suelo

Además, la "instantánea" espacial y temporal de la severidad del incendio en el suelo se convierte a menudo en una línea de base para el seguimiento de los cambios en las condiciones del suelo y del terreno y la recuperación de la vegetación. A partir de estos mapas y de las observaciones sobre el terreno pueden obtenerse otros productos del SIG, como la mortalidad de los árboles. La superposición del mapa de severidad del incendio en el suelo con las pendientes pronunciadas o los afloramientos rocosos puede utilizarse para identificar y modelar los problemas de estabilidad de los taludes tras el incendio. Estos mapas también pueden utilizarse para determinar la severidad del incendio en el suelo según la propiedad, las cuencas hidrográficas o la cobertura del suelo.

El análisis para la planificación de la implementación puede realizarse utilizando el SIG para desarrollar polígonos de alta severidad de quemado del suelo que puedan estar bajo consideración para el tratamiento como la siembra aérea o el acolchado. La

modelización puede utilizarse para determinar la probabilidad de resiembra natural en función del tamaño y la forma del polígono (efecto de borde), así como para trazar un mapa de la proximidad de las posibles zonas sembradas a los lugares de anidación, los recursos culturales y otros recursos en riesgo. En resumen, el mapa de severidad del incendio en el suelo lo pueden utilizar diversos especialistas en recursos para una serie de análisis.

Conclusión e implicaciones para la gestión

Es importante utilizar un conjunto común de indicadores y definiciones de la severidad del incendio en el suelo en la evaluación rápida posterior al incendio. Las directrices presentadas en este informe ayudarán a los usuarios a identificar los efectos de los incendios que están directamente relacionados con las condiciones del suelo tras el incendio, en lugar de con las condiciones de la cobertura vegetal o del ecosistema. La coherencia en las evaluaciones dará lugar a productos más creíbles que se utilizarán para evaluar el riesgo de escorrentía y erosión tras el incendio y conducirá a decisiones más informadas y económicamente prudentes en relación con los tratamientos de rehabilitación tras el incendio. Los métodos descritos en este informe también contribuirán a aumentar la eficacia y la rapidez de las evaluaciones y permitirán a los especialistas de diferentes regiones y disciplinas elaborar productos coherentes. El proceso de perfeccionamiento de la BARC para crear el mapa de severidad del incendio en el suelo debe estar claramente documentado con descripciones de todos los ajustes sistemáticos y locales de las clases de severidad del incendio en el suelo. Unas pocas frases y fotos que describan el aspecto de la severidad del incendio en el suelo baja, moderada y alta para cada tipo de vegetación es también una parte importante del registro de evaluación. Estos metadatos y las copias digitales e impresas de los mapas de severidad del incendio en el suelo del BAER, claramente etiquetadas, deben entregarse a los gestores, a otros organismos, a los especialistas en recursos, a los grupos comunitarios, a los medios de comunicación y a los particulares.

Agradecimientos

Agradecemos a toda la comunidad BAER su apoyo a este documento. Muchas personas aportaron excelentes comentarios de revisión, entre ellos (en orden alfabético por apellido): Craig Busskohl, Alex Janicki, Jason Jiminez, Tommy John, Peter Jordan y Dean Sirucek. Un gran agradecimiento a quienes proporcionaron las fotos que se utilizaron para la guía: Ashley Covert, Stefan Doerr, Andrew Hudak, Michael Pellant, Brad Rust y Dean Sirucek. También estamos muy agradecidos a las muchas otras personas que nos prestaron fotos que no se utilizaron.

Referencias

- Brewer, C. K.; Winne, J. C.; Redmond, R. L.; Opitz, D. W.; Magrich, M. V. 2005. Classifying and mapping wildfire severity: a comparison of methods. *Ingeniería fotogramétrica y teledetección*. 71: 1311–1320.
- Byram, G. M. 1959. La combustión de los combustibles forestales. En: Davis, K. P., ed. *Forest fire: control and use*. Nueva York, NY: McGraw-Hill: 61-89.
- Calkin, D. E.; Hyde, K. D.; Robichaud, P. R.; Jones, J. G.; Ashmun, L. E.; Loeffler, D. 2007. Evaluación de los valores en riesgo tras un incendio con una nueva herramienta de cálculo. *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-205*. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 32 p.
- Cerrelli, G. A. 2005. FIRE HYDRO, un método simplificado de predicción de picos de descarga para ayudar al diseño de medidas de protección contra las inundaciones en los incendios forestales del oeste. En: Moglen, Glenn E., ed. *Proceedings: 2005 watershed management conference-managing watersheds for human and natural impacts: engineering, ecological, and economic challenges; 19-22 July 2005; Williamsburg, VA*. Alexandria, VA: American Society of Civil Engineers: 935–941.
- Clark, J. T.; Bobbe, T. 2006. Utilización de la teledetección para cartografiar y supervisar los daños causados por los incendios en los ecosistemas forestales. En: Wulder, M. A.; Franklin, S. E., eds. *Understanding forest disturbance and spatial patterns: remote sensing and GIS approaches*. London: Taylor & Francis: Capítulo 5. Cocke, A. E.; Fulé, P. Z.; Crouse, J. E. 2005. Comparación de las evaluaciones de la severidad del incendio mediante el uso de datos normalizados diferenciados de la proporción de quemados y de los datos del terreno. *International Journal of Wildland Fire*. 14: 189–198.
- DeBano, L. F. 2000a. La repelencia al agua de los suelos: una visión histórica. *Journal of Hydrology*. 231–232: 4–32.
- DeBano, L. F. 2000b. Review: the role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology*. 231–232: 195–206.
- DeBano, L. F.; Neary, D.; Ffolliott, P. 1998. *Fire's effects on ecosystems*. New York: John Wiley and Sons, Inc. 333 p.
- Doerr, S. H.; Shakesby, R. A.; MacDonald, L. H. 2009. La repelencia al agua del suelo: un factor clave en la repelencia al agua después de un incendio. En: Cerda, A.; Robichaud, P. R., eds. *Fire effects on soils and restoration strategies*. Enfield, New Hampshire: Science Publishers: 197–224.
- Doerr, S. H.; Shakesby, R. A.; Walsh, R. P. D. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*. 51: 33–65.
- Elliot, W. J. 2004. Interfaces de Internet del WEPP para la predicción de la erosión forestal. *Journal of the American Water Resources Association*. 40(2): 299–309.
- Flanagan, D. C.; Livingston, S. J., eds. 1995. *WEPP user summary*. NSERL Report No. 11. West Lafayette, IN: U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, National Soil

- Foltz, R. B.; Robichaud, P. R.; Rhee, H. 2008. Una síntesis de los tratamientos de carreteras después de los incendios para los equipos de BAER: métodos, eficacia del tratamiento y herramientas de toma de decisiones para la rehabilitación. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-228. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 152 p.
- Hartford, R. A.; Frandsen, W. H. 1992. Cuando está caliente, está caliente... ¿o quizás no! (Las llamas en la superficie pueden no presagiar un gran calentamiento del suelo). *Revista Internacional de Incendios Forestales*. 2(3): 139–144.
- Hawkins, R. H.; Greenberg, R. J. 1990. Modelo de flujo WILDCAT4. [Esta edición mejora la versión de Moore] Tucson, AZ: School of Renewable Natural Resources, University of Arizona, Tucson, AZ.
- Hudak, A. T.; Robichaud, P.; Evans, J.; Clark, J.; Lannom, K.; Morgan, P.; Stone, C. 2004. Validación sobre el terreno de los productos de clasificación de la reflectancia del área quemada (BARC) para la evaluación posterior al incendio. En: *Proceedings of the tenth biennial Forest Service remote sensing applications conference [CD-ROM]*. Salt Lake City, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Remote Sensing Applications Center.
- Jain, T. B.; Pilliod, D. S.; Graham, R. T. 2004. La lengua se atasca. *Wildfire*. Julio-agosto: 22-26.
- Keeley, J. E. 2009. Intensidad del fuego, severidad del fuego y severidad de la quema: una breve revisión y uso sugerido. *Revista Internacional de Incendios Forestales*. 18: 116–126.
- Key, C. H.; Benson, N. C. 2005. Métodos de muestreo y análisis de la evaluación del terreno. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 52 p.
- Lentile, L. B.; Holden, Z. A.; Smith, A. M. S.; Falkowski, M. J.; Hudak, A. T.; Morgan, P.; Lewis, S. A.; Gessler, P. E.; Benson, N. C. 2006. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire*. 15: 319–345.
- Lewis, S. A.; Wu, J. Q.; Robichaud, P. R. 2006. Assessing burn severity and comparing soil water repellency, Hayman Fire, Colorado. *Hydrological Processes*. 20: 1–16.
- López-García, M. J.; Caselles, V. 1991. Cartografía de áreas quemadas y repoblaciones naturales mediante datos de mapas temáticos. *Geocarto Internacional*. 6(1): 31–37.
- Luce, C. H. 2001. FERGI: modelo de escorrentía e iniciación de barrancos mejorado por el fuego. Disponible: <http://fergi.boise.rmrs.fs.fed.us/fergi/> [2 de enero de 2008].
- MacDonald, L. H.; Huffman, E. L. 2004. Repelencia al agua del suelo tras un incendio: persistencia y umbrales de humedad del suelo. *Soil Science Society of America Journal*. 68(5): 1729–1734.
- Miller, J. D.; Nyhan, J. W.; Yool, S. R. 2003. Modelización de la erosión potencial debida al incendio de Cerro Grande con una implementación basada en el SIG de la ecuación universal revisada de pérdida de suelo. *Revista Internacional de Incendios Forestales*. 12: 85–100.
- Miller, J. D.; Yool, S. R. 2002. Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM data. *Remote Sensing of Environment*. 82: 481–496.
- Morgan, P.; Hardy, C. C.; Swetnam, T.; Rollins, M. G.; Long, L. G. 2001. Mapping fire regimes across time and space: understanding coarse and fine-scale patterns. *International Journal of*

- Wildland Fire. 10: 329–342.
- Napper, C. 2006. Catálogo de tratamientos de respuesta de emergencia en zonas quemadas. Gestión de cuencas hidrográficas, suelos y aire 0625 1801-STTDC. San Dimas, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, National Technology and Development Program. 254 p.
- Grupo Nacional de Coordinación de Incendios Forestales. Guía de efectos del fuego. 1996. Disponible: <http://www.nwcg.gov/pms/RxFire/FEG.pdf> [23 de agosto de 2010].
- Orlemann, A.; Saurer, M.; Parsons, A.; Jarvis, B., eds. 2002. Rapid delivery of satellite imagery for burned area emergency response (BAER); 8-12 April 2002; San Diego, CA. Proceedings remote sensing 2002 conference. Salt Lake City, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Remote Sensing Applications Center.
- Parsons, A. 2002. Mapping post-fire wildfire burn severity using remote sensing and GIS; 8-12 July 2002; San Diego, CA. Actas de la conferencia de usuarios de ESRI. 9 p.
- Ponce, V. M. 1989. Engineering hydrology, principles and practices. New Jersey: Prentice-Hall. 640 p.
- Ponce, V. M.; Hawkins, R. H. 1996. Número de la curva de escorrentía: ¿ha alcanzado la madurez? *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE. 1(1): 11–19.
- Renschler, C. S. 2008. GeoWEPP: la interfaz geoespacial para el proyecto de predicción de la erosión del agua. Disponible: <http://www.geog.buffalo.edu/~rensch/geowepp/> [6 de mayo de 2008].
- Robichaud, P.; Beyers, J.; Neary, D. G. 2000. Evaluación de la eficacia de los tratamientos de rehabilitación tras el incendio. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-63. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 85 p.
- Robichaud, P. R.; Hungerford, R. D. 2000. Repelencia al agua por combustión en laboratorio de cuatro suelos forestales del norte de las Montañas Rocosas. *Journal of Hydrology*. 231–232: 207–219.
- Robichaud, P. R.; Lewis, S. A.; Ashmun, L. E. 2008a. Nuevo procedimiento de muestreo de la infiltración para evaluar la repelencia al agua del suelo tras un incendio. Nota de investigación. RMRS-RN-33. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 14 p.
- Robichaud, P. R.; Elliot, W. J.; Pierson, F. B.; Hall, D. E.; Moffet, C. A.; Ashmun, L. E. 2007b. Erosion risk management tool (ERMiT) user manual, version 2006.01.18. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-188. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 25 p.
- Robichaud, P. R.; Wagenbrenner, J. W.; Brown, R. E.; Wohlgemuth, P. M.; Beyers, J. L. 2008b. Evaluación de la eficacia de las barreras contra la erosión de troncos talados en contorno como tratamiento de mitigación de la escorrentía y la erosión después de un incendio en el oeste de Estados Unidos. *International Journal of Wildland Fire*. 17: 255–273.
- RUSLE (Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo). 1993. RUSLE user's guide. Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society.
- Ryan, K. C.; Noste, N. V. 1985. Evaluación de los incendios prescritos; 15-18 de noviembre de 1983; Missoula, MT. En: Lotan, J. E.; Kilgore, B. M.; Fischer, W. C.; Mutch, R. W. eds. Proceedings of the symposium and workshop on wilderness fire. Gen. Tech. Rep. INT-GTR-182. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and

- Range Experiment Station: 230-238.
- Safford, H. D.; Miller, J.; Schmidt, D.; Roath, B.; Parsons, A. 2007. Los mapas de severidad del incendio en el suelo de BAER no miden los efectos del fuego en la vegetación: un comentario sobre Odion y Hanson (2006). *Ecosystems*. 11(1): 1–11.
- Scott, J. H.; Reinhardt, E. D. , comps. 2007. FireWords: fire science glossary, version 1.0 [Online]. Missoula, MT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Disponible: <http://www.firewords.net/> [11 de junio de 2009].
- Personal de la División de Estudios del Suelo. 1993. Manual de estudio de suelos. Servicio de Conservación de Suelos. U.S. Department of Agriculture Handbook 18 [en línea]. Disponible: <http://soils.usda.gov/technical/manual/> [11 de febrero de 2010].
- Thomas, B. E.; Hjalmarson, H. W.; Waltemeyer, S. D. 1997. Methods for estimating magnitude and frequency of floods in the southwestern United States. Water-Supply Paper 2433. Denver, CO: Geological Survey. 195 p.
- U.S. Departamento de Agricultura (USDA), Servicio Forestal. 1995. Manual de rehabilitación de áreas quemadas. Manual del Servicio Forestal 2509.13, Enmienda No. 2509-13-95-7. Washington D. C.: Servicio Forestal del USDA.
- U.S. Departamento de Agricultura (USDA), Servicio Forestal. 2004. Manual 2520 del Servicio Forestal, enmienda no. 2500-2004-1. Disponible: <http://www.fs.fed.us/im/directives/fsm/2500/2520.doc> [22 de mayo de 2008].
- U.S. Departamento del Interior (USDOI), Oficina de Gestión de Tierras (BLM). 2007. Burned area emergency stabilization and rehabilitation handbook (public). BLM Handbook H-1742-1. Denver, CO: Departamento del Interior, Oficina de Gestión de Tierras. 80 p.
- U.S. Departamento del Interior (USDOI), Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). 2007. Bienvenido a StreamStats (página de inicio), [en línea]. Disponible: <http://water.usgs.gov/osw/streamstats/> [31 de agosto de 2009].
- U.S. Departamento de Agricultura (USDA), Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS). 2005. Modelo WinTR-55 [en línea]. Disponible: http://www.wsi.nrcs.usda.gov/products/W2Q/H&H/Tools_Models/WinTR55.html [10 de noviembre de 2008].
- U.S. Departamento de Agricultura (USDA), Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS). 2009. National Soil Survey Handbook, título 430-VI, [en línea]. Disponible: <http://soils.usda.gov/technical/handbook/> [11 de febrero de 2010].
- van Wagtenonk, J. W.; Root, R. R.; Key, C. H. 2004. Comparación de las capacidades de detección de AVIRIS y Landsat ETM+ para la severidad de las áreas quemadas. *Remote Sensing of Environment*. 92: 397–408.
- White, P. S.; Pickett, S. T. A. 1985. Natural disturbance and patch dynamics: an introduction. En: Pickett, S. T. A.; White, P. S. , eds. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. San Francisco, CA: Academic Press. 472 p.

Apéndice A-Cómo trazar un mapa de la severidad del incendio en el suelo

Esta *Guía de Campo para Trazar Mapas de la Severidad del incendio en el suelo* pretende ser una guía estandarizada para ayudar a los usuarios a traducir las condiciones del suelo y del sitio observadas en el campo que representan las clases de severidad del incendio en el suelo bajas, moderadas y altas en polígonos de mapas para ser utilizados por los especialistas en recursos para predecir la escorrentía y la erosión.

Conceptos cartográficos

La cartografía, ya sea en SIG o a mano, es una habilidad que generalmente se encomienda a una persona con experiencia y conocimiento de los conceptos cartográficos y, a menudo, con conocimiento previo del área que se está cartografiando. Las siguientes fuentes son excelentes referencias para la cartografía y, aunque se centran en la cartografía de suelos, gran parte de la información y muchos de los conceptos se aplican a la cartografía de los recursos naturales en general. El National Soil Survey Handbook (USDA NRCS 2009) (<http://soils.usda.gov/technical/handbook/>) y los capítulos 1 y 2 del Soil Survey Manual (SSM) (Soil Survey Division Staff 1993) (<http://soils.usda.gov/technical/manual/>) están disponibles en línea.

La discusión de los factores de formación del suelo en el MSS, capítulo 1, destaca la necesidad de que el cartógrafo comprenda las relaciones suelo-terreno para poder delinear polígonos en un mapa:

"Los patrones regionales de clima, vegetación y material parental pueden utilizarse para predecir los tipos de suelo en grandes áreas. Los patrones locales de topografía o relieve, material parental y tiempo, y sus relaciones con la vegetación y el microclima, pueden utilizarse para predecir los tipos de suelo en áreas pequeñas. Los topógrafos aprenden a utilizar las características locales, especialmente la topografía y la vegetación asociada, como marcas de combinaciones únicas de los cinco factores. Estas características se utilizan para predecir los límites de los diferentes tipos de suelo y para predecir algunas de las propiedades del suelo dentro de esos límites." (Personal de la División de Estudios del Suelo, 1993)".

Extendiendo esta idea de los factores de formación del suelo a la severidad del incendio en el suelo, se podría argumentar que la severidad del incendio en el suelo es una función del tipo de vegetación previa al incendio, la densidad, la cantidad y el tipo de combustibles del suelo, la hojarasca y el terreno (ya que influye en el comportamiento y la frecuencia de los incendios). El clima es el elemento imprevisible. Podemos observar

directamente estos factores del lugar (aparte del clima) o al menos su evidencia después del incendio. Una zona con mucho combustible en el suelo puede experimentar una alta severidad de las áreas quemadas, mientras que una zona con poco o ningún combustible no lo hará. Los combustibles pesados proporcionan la oportunidad de un alto calor y largos tiempos de permanencia - los principales criterios que resultan en condiciones de alta severidad del incendio en el suelo. Por otro lado, un incendio puede pasar rápidamente por una zona con combustibles ligeros como la hierba. La vegetación puede ser consumida, pero el tiempo de residencia del calor es breve y las características del suelo permanecen inalteradas por el fuego.

El reconocimiento del terreno tras el incendio permite a los miembros del equipo examinar el estado del suelo y estimar las características anteriores al incendio en un lugar determinado. Es importante que el cartógrafo sea capaz de determinar las relaciones entre las características del lugar y la severidad del incendio en el suelo. Por ejemplo, es común observar una alta severidad del incendio en el suelo en un sistema de chaparral de California en laderas ennegrecidas y orientadas al norte que tenían una alta densidad de vegetación antes del incendio. Las laderas orientadas al sur, menos densas (más secas), también pueden aparecer negras después del incendio, pero suelen presentar una severidad del incendio en el suelo moderada o baja debido a que los combustibles son más ligeros. Observar y comprender esta relación puede ayudar a cartografiar, por extrapolación, aquellas zonas de los grandes incendios que un observador no tenga tiempo de visitar.

Otro elemento crucial para una cartografía eficaz es el diseño de las unidades cartográficas. Aunque esto puede ser mucho más complejo cuando se cartografían los suelos que cuando se cartografía la severidad del incendio en el suelo, el concepto básico es similar. El capítulo 2 del MSS ofrece una visión útil:

"Al estudiar los patrones del suelo en diferentes terrenos, el edafólogo debe tener en cuenta la mejor manera de relacionar los patrones observados con las unidades cartográficas adecuadas. ... Esto requiere muchos juicios. Cada unidad cartográfica que se identifica provisionalmente se evalúa mediante dos pruebas: 1) ¿Se puede cartografiar de forma coherente? 2) ¿Es necesaria para cumplir los objetivos del estudio?". (Personal de la División de Estudios del Suelo, 1993)".

Para aplicar esto a la cartografía de la severidad del incendio en el suelo, las unidades cartográficas deben ser significativas para el uso final (predicción de la escorrentía y la erosión) y no tan complejas o detalladas que no puedan ser cartografiadas en el corto plazo de una asignación de BAER. Los cartógrafos pueden, en parte, cumplir estos objetivos manteniendo la leyenda simple; utilizando clases simples de "bajo", "moderado", "alto" y "no quemado"; y describiendo las inclusiones (o exclusiones) del mapa en los metadatos del mapa. Esto lleva a los conceptos de pureza de la unidad

cartográfica, escala del mapa y tamaño de la delineación. El capítulo 2 del MSE ofrece esta orientación:

"Los estándares de *pureza* se ajustan en función de la precisión requerida por los objetivos de la encuesta. Probablemente todas las delineaciones contienen algunos tipos de suelo además del identificado en el nombre de la unidad cartográfica".

"La *escala del mapa* debe ser lo suficientemente grande como para permitir que las áreas de tamaño mínimo sean delineadas de manera legible.
... La elección de la escala del mapa también depende de la perspectiva del usuario".

"Sin embargo, los usuarios de mapas que desean tener una perspectiva amplia de grandes áreas suelen preocuparse por las comparaciones entre las delineaciones de todo el mapa, o de una gran parte de él. En consecuencia, las delineaciones en los mapas para tales usos son generalmente más grandes y menos numerosas. "(Personal de la División de Estudios del Suelo, 1993)".

Con la cartografía de la severidad del incendio en el suelo de BAER, la escala (y el detalle) de la cartografía es casi siempre más general. No hay tiempo suficiente durante una evaluación BAER para crear un mapa muy detallado de la severidad del incendio en el suelo, ni un mapa tan detallado satisfaría eficazmente las necesidades de los usuarios (predicción de la escorrentía y la erosión). El aumento del uso de la teledetección y de los mapas de BARC ha incrementado en gran medida tanto el nivel de detalle como la precisión de la cartografía de la severidad del incendio en el suelo, y la naturaleza digital de la BARC se presta a su uso en modelos espaciales para la escorrentía y la erosión. Es importante tener en cuenta, sin embargo, que los modelos utilizados no son particularmente sensibles a los pequeños cambios en la severidad del incendio en el suelo; por lo tanto, es más eficiente y más útil mantener las unidades del mapa (clases de severidad del incendio en el suelo) y las delineaciones bastante amplias, al tiempo que capturan con precisión la ubicación y la distribución de las clases de severidad del incendio en el suelo en las cuencas hidrográficas en toda el área quemada.

Puntos para tener en cuenta en el trazado de mapas de la severidad del incendio en el suelo:

El objetivo final del mapa de severidad del incendio en el suelo es predecir el aumento de la escorrentía y la erosión de la zona quemada, especialmente en las zonas con valores de recursos en riesgo. Recordar esto ayudará a los usuarios a mantener la perspectiva del nivel de detalle y a centrar sus esfuerzos en áreas específicas de riesgo.

- *Obtenga una visión general.* Un reconocimiento rápido (mediante helicóptero, miradores o recorridos rápidos en coche) ayuda a obtener una visión general de la

zona quemada y a desarrollar un sentido de la extensión, la ubicación y la distribución de las zonas "verdes", "marrones" y "negras". Estos son los indicadores visuales generales que guiarán las observaciones de campo del topógrafo y la delimitación de los mapas. Es una buena idea tomar notas en un mapa topográfico o en una imagen de satélite de la zona después del incendio. Para evitar sesgos, hay que evitar utilizar la BARC.

- *Recopile información sobre el terreno.* Se debe dedicar el mayor tiempo posible a la recopilación de información específica sobre el terreno. Este tiempo sobre el terreno puede comenzar visitando las zonas que se identificaron durante el reconocimiento como mayoritariamente "verdes", "marrones" o "negras". "Éstas se convierten en polígonos representativos de cada tipo y densidad de vegetación. Hay que tomar notas detalladas, registrar los datos en la hoja de datos de campo (Apéndice B) en el mayor número posible de puntos y recorridos del terreno, y recoger las coordenadas del GPS para esos puntos y recorridos. El cartógrafo puede ahora empezar a evaluar los tipos de vegetación, el terreno y otras características de estas áreas y las condiciones del suelo y puede desarrollar una comprensión de las relaciones entre la vegetación anterior al incendio, el terreno y la severidad del incendio en el suelo.
- *Empiece a formar conceptos de "unidad de mapa".* Por ejemplo, una gran zona parecía ennegrecida desde el aire. Durante la visita de campo, resulta que, aunque todo está negro, la mitad era bosque denso (antes del incendio) y la otra mitad era matorral. Las condiciones del terreno en estas zonas indican que las zonas boscosas densas presentan una preponderancia de las características del suelo que apuntan a una clasificación de severidad del área quemada elevada (por ejemplo, cenizas profundas, ausencia de combustibles finos o de cobertura del suelo, pérdida de la estructura del suelo, etc.). En las zonas de arbustos, sin embargo, las características del suelo apuntan a una clasificación moderada (por ejemplo, queda algo de hojarasca no quemada bajo la ceniza fina, la estructura está intacta, etc.). Se trata de una relación que probablemente pueda extrapolarse a otras partes de la quema. No habrá tiempo para visitar todos los polígonos, por lo que el cartógrafo debe aprender a desarrollar estas relaciones en mente y tomar buenas notas.
- *Concentre la mayor parte del tiempo de campo en lo "negro".* Las zonas "negras" y a veces "marrones" son las más propensas a ser fuentes de aumento de la escorrentía. Nunca habrá tiempo suficiente para visitar todos los lugares de riesgo identificados en el campo, por lo que el tiempo de campo debe emplearse con prudencia. Sin embargo, pasar algo de tiempo en las zonas "verdes" ayudará al cartógrafo a entender cómo eran las condiciones del suelo y de la tierra antes del incendio, de modo que se pueda determinar cuánto ha cambiado como

consecuencia del mismo.

- *Desarrolle un concepto de pureza.* Basándose en las investigaciones iniciales sobre el terreno, se podría estimar que las zonas negras que se cartografiaron como de severidad "alta" en los tipos de bosque son en un 80 por ciento altas, pero tienen inclusiones dispersas de moderadas y bajas. O las zonas negras de arbustos que se cartografiaron como "moderadas" son generalmente un 75 por ciento moderadas, pero tienen pequeñas manchas de "alta" o manchas más grandes de "baja" dispersas en ellas. Capture estos conceptos en las notas de campo y en los metadatos de los mapas. Es importante incluir estas descripciones de las clases de severidad del incendio en el suelo en el informe técnico cartográfico.
- *Dibuje polígonos en un mapa.* Si se dispone de una imagen de satélite posterior al incendio, se debe utilizar un mapa topográfico. Una imagen de satélite posterior al incendio ayuda a determinar exactamente dónde deben trazarse las delimitaciones de los polígonos; sin embargo, los límites entre las categorías no siempre son "negros y marrones", por así decirlo. Al trazar los límites de los polígonos, será necesario juzgar basándose en los datos de campo y en el reconocimiento. El uso final del mapa (predicción de la escorrentía y la erosión) debe tenerse en cuenta a la hora de crear las delimitaciones (polígonos), es decir, las áreas que probablemente se comporten de forma similar deben agruparse, y las áreas que se comporten de forma diferente deben dividirse.

Todos los pasos anteriores se facilitan en gran medida si la persona que traza el mapa tiene un BARC que se ajusta decentemente a las observaciones del terreno. Si la de la BARC es un buen comienzo, pero no es preciso, determine si se necesitan ediciones sistemáticas o localizadas (véase la página 5).

Apéndice B-Hoja de datos de campo sobre la severidad del incendio en el suelo y clave

Hoja de datos de campo para la evaluación de la severidad del incendio en el suelo			Nombre del fuego:					Observadores:		
La fecha:		ID del sitio:	Coordenadas GPS:					Clasificación BARC:		
Punto de observación	Cobertura de tierra (1)	Color de la superficie y profundidad de la ceniza (2)	Estructura del suelo (3)	Raíces (4)	Repelencia al agua del suelo (5)			Clase de severidad del incendio en el suelo observadas (6)	Foto #	Otros comentarios
EJEMPLO	<i>Del 20 al 50%</i>	<i>blanco, 1 mm</i>	<i>sin cambios</i>	<i>intacto</i>	<i>l</i>	<i>3 mL</i>	<i>surf</i>	<i>Mod</i>	<i>23</i>	<i>homogéneo</i>
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
Media/ mayoría para el sitio (7)										
Características del lugar:		Aspecto (deg):		Pendiente %:						
Longitud de la pendiente (pies o m):		Posición de la pendiente:		Baja	Medio	Arriba	Cresta	Otros		
Clase de textura del suelo: franco arcilloso, franco limoso, franco	Tipo de vegetación dominante antes del incendio Chaparral Bosque Arbustos /pastizales Otros	Densidad de la vegetación antes del incendio Bajo Alto Otros	Comentarios sobre la vegetación:	Otras notas:						
Roca superficial %:										
Comentarios sobre el suelo:										

Este formulario es una guía para 10 puntos de observación en una sola parada de campo. No siempre será necesario registrar 10 observaciones si la variabilidad del sitio es baja; sin embargo, si la variabilidad es alta, pueden ser necesarias más observaciones. El objetivo es registrar rápidamente la información para documentar las observaciones de la severidad del incendio en el suelo y proporcionar apoyo y justificación para los tratamientos posteriores al incendio. Este formulario también proporcionará metadatos para describir las condiciones del lugar. Los datos recogidos aquí pueden utilizarse como insumos para los modelos hidrológicos. Tendrá que utilizar su criterio profesional para estimar los cambios con respecto a las condiciones previas al incendio. Examine zonas de suelo y vegetación similares que no se hayan quemado y forme su opinión sobre el grado en que ha cambiado o no el fuego. Hay una copia electrónica de este formulario disponible en <https://forest.moscowfs.l.wsu.edu/BAERTOOLS/>.

Columnas del formulario de datos:

(1) **Capa vegetal:** registre un porcentaje estimado de cobertura (superior al 50%; del 20 al 50%; o inferior al 20%). La cobertura del suelo se refiere a la cobertura orgánica efectiva en lo que respecta a la mitigación de la escorrentía y la erosión, e incluye la hojarasca, el mantillo y los restos leñosos.

Ejemplo: "20 a 50%"

(2) **Color de la superficie y profundidad de la ceniza:** incluya una breve nota sobre el color y la profundidad de la ceniza (pulgadas o cm), si la hay.

Ejemplo: gris, 5 cm

(3) **Estructura del suelo:** ¿ha cambiado respecto a la estructura anterior al incendio? El cambio más común es pasar de una estructura granular en el horizonte superficial a un suelo de grano suelto o simple en las zonas donde el tiempo de residencia del calor fue largo y se consumió la materia orgánica.

Ejemplo: "cambiado (suelto)" o "sin cambios"

(4) **Raíces:** ¿han sido alteradas respecto al estado anterior al incendio?

Ejemplo: "chamuscado", "sin cambios", o "muy fino consumido"

(5) **Repelencia al agua del suelo:** utilice el método del infiltrómetro (I) o del tiempo de penetración de la gota de agua (W) y registre el volumen de infiltración o el tiempo que tarda el agua en infiltrarse, respectivamente. Si se observa repelencia, anote la profundidad comprobada (pulgadas o cm).

Ejemplo: "I/3mL/en la superficie" o "W/25 seg/a 1-2 cm"

(6) Clase de severidad del incendio en el suelo **observada:** registre la clase de severidad del incendio en el suelo en el punto de observación.

Ejemplo: "Sin quemar", "Bajo", "Moderado" o "Alto"

(7) **Media/Mayoría para el sitio:** estime la mayor frecuencia o la media de las 10 observaciones.

Apéndice C-Utilización de un minidisco infiltrómetro para evaluar la repelencia al agua del suelo tras un incendio forestal y la reducción de la infiltración

El infiltrómetro de minidisco (MDI) se ha adaptado para su uso como prueba de campo de la infiltración tras un incendio y de la repelencia al agua del suelo. Aunque la prueba del tiempo de penetración de la gota de agua (WDPT) ha sido la prueba de campo común para la repelencia al agua del suelo, la prueba MDI toma menos tiempo, es menos subjetiva y proporciona una tasa de infiltración relativa. La tasa de infiltración relativa indica el potencial de infiltración reducido que puede resultar de la repelencia al agua del suelo inducida por el fuego, el sellado del suelo y otros factores. Para cada prueba, se coloca la placa base porosa del MDI sobre el suelo y se mide la cantidad de agua que pasa al suelo en un minuto. La repelencia al agua del suelo tras el incendio se ha detectado con mayor frecuencia entre 0,2 y 1 pulgada (0,5 y 3 cm) por debajo de la superficie visible. En las zonas quemadas, las mediciones de la superficie del suelo donde se mezclan el suelo y la ceniza suelen indicar que el suelo no es repelente al agua, por lo que es necesario cepillar o "espolvorear" la ceniza antes de analizar la capa superior del suelo (fig.C1).

Pasos de la prueba (*versión abreviada, véase Robichaud y otros 2008a*):

- (1) Con un cepillo o una paleta (dependiendo de la profundidad de la prueba), exponga el suelo que se va a analizar eliminando el material que lo recubre (ceniza y materia orgánica).
- (2) Llene el MDI y ajuste la succión a 1 cm.
- (3) Registre el volumen inicial (mL).
- (4) Coloque el disco poroso MDI plano contra el suelo con el MDI sostenido perpendicularmente a la superficie. Inicie el temporizador cuando el disco MDI y el suelo entren en contacto.
- (5) Continúe sosteniendo el MDI contra la superficie del suelo para que todo el disco de infiltración está en contacto con el suelo durante un minuto.
- (6) Al cabo de un minuto, retire el MDI del suelo y registre el volumen final.

Materiales de prueba de campo:

- Infiltrómetro de minidisco
- agua
- paleta de mano
- cronómetro
- regla para medir la profundidad del suelo
- hojas de registro de datos
- botella de plástico para enjuagar el disco poroso



Figura C1. Uso del MDI en el campo.

Muestreo de una zona quemada

La evaluación de la repelencia al agua del suelo y la reducción de la infiltración tras el incendio es necesaria a los pocos días de la contención del mismo. Este corto plazo de tiempo para el muestreo requiere un plan de muestreo que 1) se centre en las zonas donde es más probable que se produzca la repelencia del agua del suelo y la reducción de la infiltración; y 2) proporcione un método lógico para la extrapolación de los resultados de las muestras a las zonas no muestreadas.

La zona quemada se divide en áreas de características similares basadas en los factores que se correlacionan fuertemente con la repelencia al agua del suelo tras el incendio: la severidad del área quemada y el aspecto de la ladera (que se utiliza como un simple sustituto del tipo y la densidad de la vegetación). Las pruebas MDI se realizan a lo largo de transectos situados en las posiciones superior e inferior de laderas seleccionadas de cada combinación de severidad del área quemada moderada y alta y de aspectos norte y sur. Los resultados de las laderas muestreadas se aplican a otras laderas quemadas, pero no muestreadas con la misma severidad del área quemada y el mismo aspecto. Como en la mayoría de los análisis estadísticos, cuantas más medidas se tomen, mayor será el nivel de confianza asignado a los resultados. Este esquema de muestreo, basado en la clasificación de la zona quemada, puede proporcionar una orientación práctica para aprovechar al máximo el limitado tiempo disponible para la evaluación posterior al incendio.

Una nota de investigación recientemente publicada (RMRS-RN-33), *New Procedure for Sampling Infiltration to Assess Post-Fire Soil Water Repellency* (Robichaud y otros, 2008a), proporciona instrucciones para utilizar el minidisco de infiltración, hojas de datos de campo, un esquema de muestreo detallado con tamaño de muestra y niveles de confianza predeterminados, y una herramienta de hoja de cálculo para el análisis de datos con formato. Se puede acceder a una copia electrónica de la nota de investigación y de la herramienta de hoja de cálculo en: <https://forest.moscowfsl.wsu.edu/BAERTOOLS/>.

Interpretación de los resultados

La prueba MDI mide el volumen de agua (mL) que pasa del infiltrómetro al suelo en un minuto. A través de las pruebas de campo, se ha demostrado que el intervalo de un minuto es lo suficientemente largo como para detectar las condiciones de repelencia al agua del suelo, pero lo suficientemente rápido como para ser un procedimiento de evaluación útil para los equipos de evaluación posterior al incendio. La prueba MDI proporciona una tasa de infiltración relativa que puede utilizarse para clasificar la repelencia al agua del suelo y comparar las capacidades de infiltración de los lugares probados. La media de tres lecturas individuales del MDI es el valor del MDI en ese lugar de la muestra. El valor MDI determina el grado de repelencia al agua del suelo (fuerte, débil o nulo) en cada profundidad muestreada en cada lugar. La proporción de valores de MDI (porcentaje) que indican fuerte, débil y ninguno se utiliza para describir el grado y la extensión de la repelencia al agua del suelo en la ladera evaluada.

Se identificaron tres clases de repelencia al agua del suelo basándose en la relación entre los valores de la prueba WDPT común y la prueba MDI realizada en el mismo lugar:

Prueba MDI Prueba WDPT

Fuerte ($0 < 3 \text{ mL min}^{-1}$) Valores WDPT > 40 seg

Débil ($3 < 8 \text{ mL min}^{-1}$) Valores WDPT de 11-40 seg

Ninguno ($> 8 \text{ mL min}^{-1}$) Valores WDPT de 0-10 seg

Los valores de WDPT indicados más arriba proceden de las directrices generalmente seguidas por la comunidad de BAER. Dado que la repelencia al agua moderada es difícil de definir y las implicaciones para la respuesta potencial de las cuencas hidrográficas pueden ser ambiguas, sugerimos utilizar las categorías de repelencia al agua fuerte, débil y ninguna. La repelencia al agua fuerte es indicativa de una infiltración significativamente reducida y un mayor potencial de respuesta de la cuenca. Una fuerte repelencia al agua indica una infiltración significativamente reducida y un mayor potencial de respuesta de la cuenca. Las zonas con suelos fuertemente repelentes al agua suelen ser objeto de medidas de mitigación de la erosión y la escorrentía tras el incendio. Los suelos clasificados como débiles (o ninguno) suelen tener un potencial de infiltración similar al de antes del incendio.

Los datos de repelencia al agua del suelo recogidos con este esquema de muestreo son específicos de una clase de severidad del incendio en el suelo y del aspecto de la ladera (moderado/norte, moderado/sur, alto/norte o alto/sur), y la evaluación de las laderas muestreadas se aplica a las laderas no muestreadas de la misma severidad del incendio en el suelo y del mismo aspecto. Esto puede ser útil para priorizar las áreas para los tratamientos de estabilización posterior al incendio. Otros factores para considerar cuando se prescriben tratamientos de estabilización son 1) la cobertura de agujas caídas (*needle-cast*) que puede proporcionar una protección natural sustancial contra la erosión; y 2) el tamaño de los parches (continuidad) de las áreas severamente quemadas porque los parches grandes también pueden aumentar la escorrentía y el potencial de erosión incluso si los suelos no fueron clasificados como fuertemente repelentes al agua.

Apéndice D-Ejemplo del proceso de cartografía de la severidad del incendio en el suelo, incendio de Derby de 2006

El incendio de Derby (45,6° N, 109,9° O) quemó aproximadamente 200.000 acres (81.000 ha) en el Bosque Nacional de Gallatin en Montana. El incendio quemó una variedad de tipos de vegetación (hierba, arbustos y bosque) y en cambios de altitud considerables (de 3900 a 7400 pies o de 1200 a 2250 m). El incendio comenzó el 22 de agosto de 2006 y ardió hasta el 15 de octubre de 2006. Debido a la magnitud del incendio y al largo periodo de combustión, el equipo de BAER se benefició de la teledetección para realizar su rápida evaluación.

Las siguientes figuras muestran las imágenes previas y posteriores al incendio (figs.D1 y D2), la capa BARC (fig.D3) y el mapa final de severidad del incendio en el suelo ajustado sobre el terreno creado por el equipo de BAER (fig.D4).

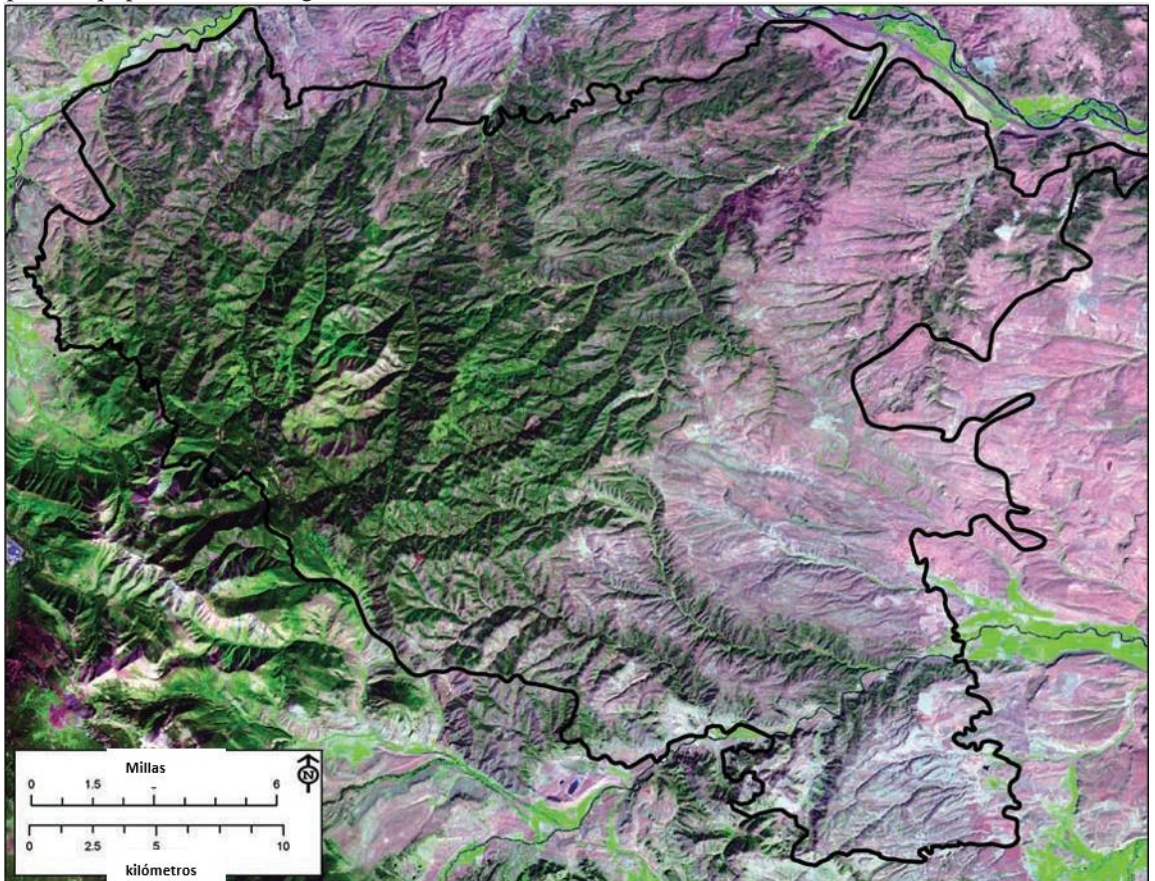


Figura D1. Imágenes Landsat previas al incendio de Derby adquiridas el 2 de septiembre de 2003. El perímetro del incendio es el contorno negro.

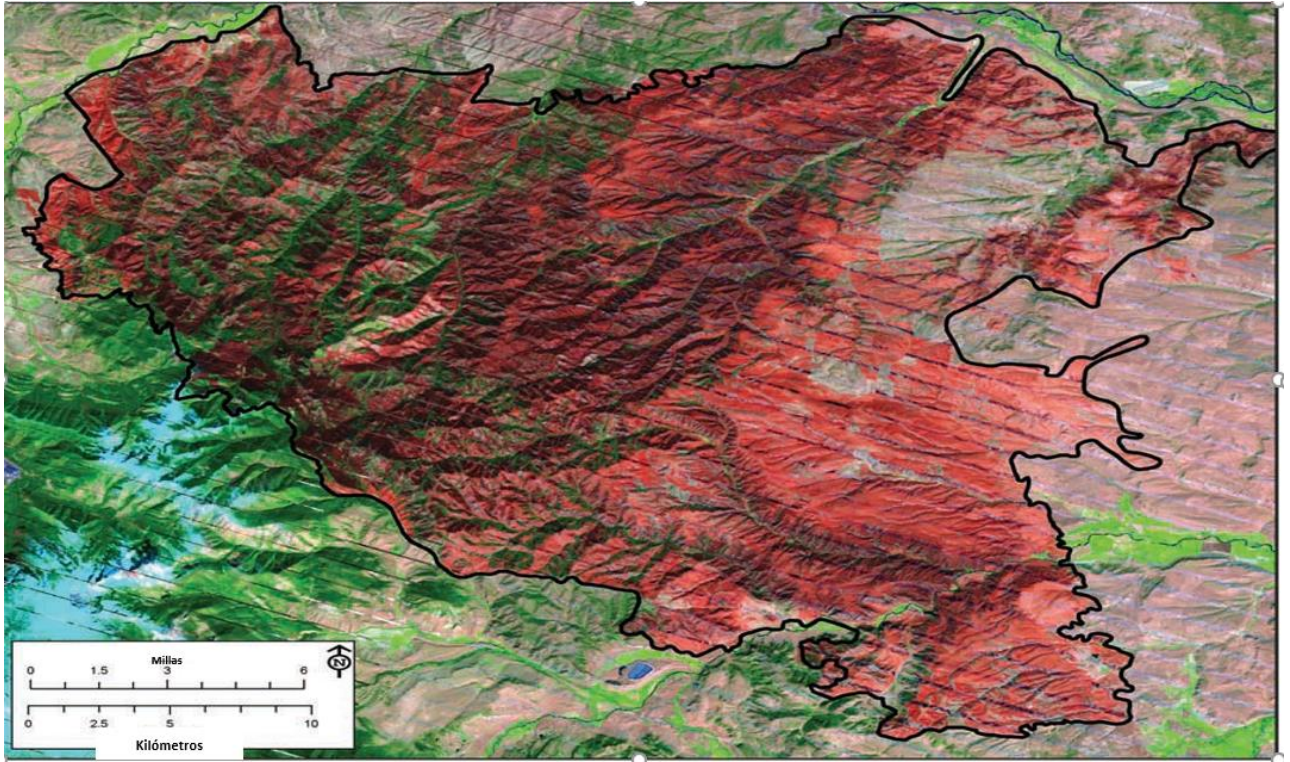


Figura D2. Imágenes Landsat posteriores al incendio de Derby adquiridas el 18 de septiembre de 2006. El perímetro del incendio es el contorno negro.

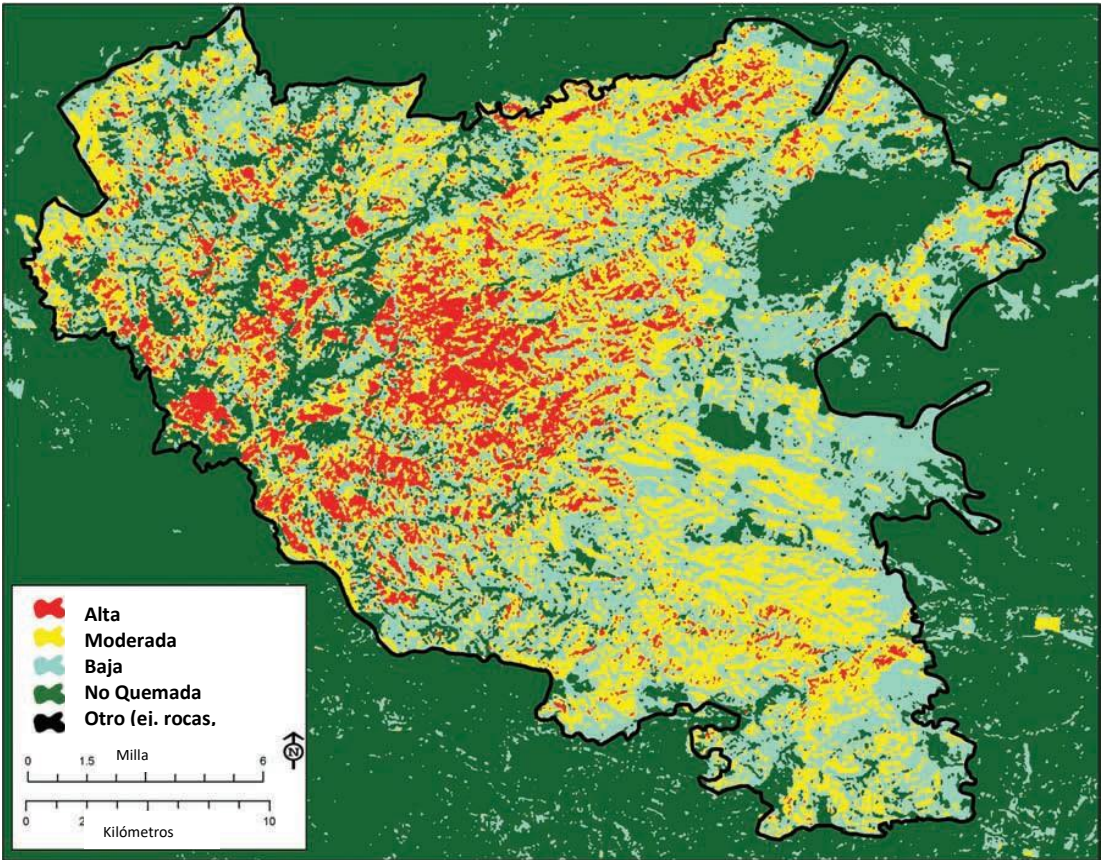


Figura D3. Mapa inicial de BARC del incendio de Derby. Los umbrales preliminares de BARC fueron 0-75 (sin quemar / muy bajo); 76-130 (bajo); 131-187 (moderado); y 188-255 (alto). El perímetro del incendio es el contorno negro.

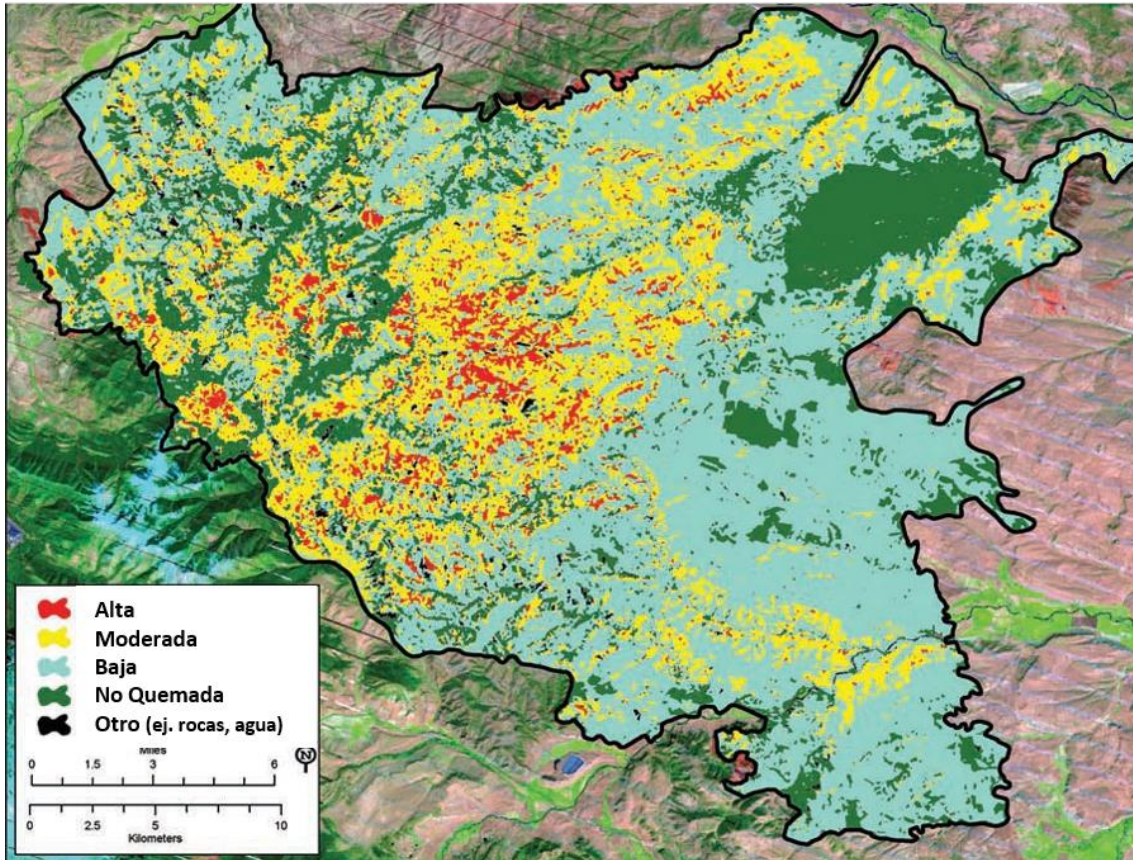


Figura D4. Mapa final de la severidad de las áreas quemadas en el suelo del incendio de Derby, ajustado sobre el terreno. Para conseguir una imagen clasificada aceptable, el equipo de BAER tuvo que separar los terrenos forestales de los pastizales y clasificar cada tipo de vegetación por separado. Las observaciones de campo indicaron que la BARC sobrestimaba la severidad de las áreas quemadas de suelo altas y moderadas. Los umbrales finales de la BARC utilizados por el equipo de BAER fueron 0-75 (sin quemar/muy bajo); 76-160 (bajo); 161-214 (moderado); y 215-255 (alto). El mapa de severidad final muestra parches más pequeños de severidad alta y moderada, mientras que aumenta la severidad baja. El equipo de BAER recortó la capa de severidad del incendio en el perímetro del incendio.

Apéndice E-Resumen de los factores de la clase de severidad del incendio en el suelo

Adaptado del Manual BAER (USDA 1995) por Alex Janicki.

Factor considerado	Clase de severidad del incendio en el suelo		
	Bajo	Moderado	Alto
Vista aérea del dosel	El dosel de los árboles no se ha alterado en gran medida. Las copas de los arbustos están intactas y no predominan las manchas de hojas quemadas. La ceniza está a parches.	Las copas de los árboles están quemadas en el 50% de la superficie. La mayoría de los arbustos están carbonizados, pero es difícil evaluar los combustibles desde el aire. El fresno negro es visualmente dominante. Las cenizas grises o blancas pueden estar a parches	Las copas de los árboles se han consumido en gran medida en más del 50% de la superficie. Los arbustos están completamente carbonizados, pero es difícil evaluar los combustibles desde el aire. Las cenizas grises y blancas son las que predominan visualmente.
Vegetación Árboles	Casi toda la copa permanece "verde". Algunas quemaduras en los árboles del sotobosque	Altura de quemado alta. Generalmente, > 50% de la corona está chamuscada. Coronas mayoritariamente "marrones" con agujas intactas.	No quedan agujas ni hojas. Pueden consumirse algunas o muchas ramas. Vegetación restante mayoritariamente "negra".
Arbustos	Quemado en el dosel, pero las hojas permanecen mayormente verdes. Corridas de fuego limitadas con mayor abrasión. 5 a 30% de dosel carbonizado	Dosel carbonizado del 30 al 100%. Las ramas más pequeñas < 0,5 pulgadas (1 cm). La densidad de los arbustos era moderada o alta.	Dosel carbonizado del 90 al 100%. La mayoría de las ramas se han consumido, incluyendo los combustibles de menos de 2,5 cm. Quedan esqueletos o coronas de raíces. La densidad de los arbustos era moderada o alta. A menudo se trata de un arbusto viejo.
Combustibles finos (pastizales)	Quemado o parcialmente consumido.	Se consume en su mayor parte. Parece negro desde el aire. Las pequeñas raíces y el banco de semillas permanecen intactos y viables.	No se califica como alta a menos que se sospeche la pérdida del banco de semillas o que la estructura del suelo esté muy alterada.
Capa vegetal	Por lo general, se mantiene una cobertura de hojarasca de más del 50% bajo los árboles, excepto bajo la comunidad de arbustos o cuando la cobertura anterior al incendio es escasa.	Por lo general, se mantiene una cobertura de entre el 20 y el 50% o se contribuye con la caída de hojas quemadas de los árboles. La hojarasca de los arbustos se consumirá en su mayor parte.	Entre el 0 y el 20% de la cobertura permanece como hojarasca quemada y restos leñosos bajo los árboles. Se consume la hojarasca de los arbustos,
Repelencia al agua	Los suelos pueden ser naturalmente repelentes al agua bajo el chaparral no quemado. Otros suelos infiltrarán las gotas de agua en menos de 10 segundos; más de 8 mL min ⁻¹ con el MDI	La superficie del suelo mineral por debajo de la capa de ceniza puede ser moderadamente repelente al agua, pero el agua se infiltrará en un plazo de 10 a 40 segundos; de 3 a 8 mL min ⁻¹ con el MDI	Los suelos fuertemente hidrófugos (repelen las gotas de agua durante > 40 segundos; menos de 3 mL min ⁻¹ con el MDI) pueden estar presentes en la superficie o a mayor profundidad

Suelo

Estructura original del suelo: las raíces finas y los poros no se han alterado.

Estructura original del suelo: raíces y poros ligeramente alterados o inalterados. Color del suelo oscurecido o carbonizado sólo en la superficie o justo debajo de la superficie.

La estructura del suelo hasta 1 pulgada se degrada hasta convertirse en polvoriento, de un solo grano o suelto. Las raíces finas están carbonizadas. Los poros están destruidos.

El color negro del suelo carbonizado es común debajo de la capa gruesa de ceniza. Compárese con el no quemado.



La Estación de Investigación de las Montañas Rocosas desarrolla información científica y tecnología para mejorar la gestión, la protección y el uso de los bosques y los pastizales. La investigación está diseñada para satisfacer las necesidades de los gestores de los bosques nacionales, las agencias federales y estatales, las organizaciones públicas y privadas, las instituciones académicas, la industria y los particulares. Los estudios aceleran las soluciones a los problemas relacionados con los ecosistemas, los pastizales, los bosques, el agua, las actividades recreativas, los incendios, el inventario de recursos, la recuperación de tierras, la sostenibilidad de las comunidades, la tecnología de ingeniería forestal, la economía de los usos múltiples, el hábitat de la fauna y la flora, y los insectos y las enfermedades forestales. Los estudios se llevan a cabo en cooperación, y las aplicaciones pueden encontrarse en todo el mundo.

Sede de la estación

Estación de Investigación de las
Montañas Rocosas 240 W
Prospect Road
Fort Collins, CO 80526
(970) 498-1100

Lugares de investigación

Flagstaff, Arizona	Reno, Nevada
Fort Collins, Colorado	Albuquerque, Nuevo México
Boise, Idaho	Rapid City, Dakota del Sur
Moscow, Idaho	Logan, Utah
Bozeman, Montana	Ogden, Utah
Missoula, Montana	Provo, Utah

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) prohíbe la discriminación en todos sus programas y actividades por motivos de raza, color, origen nacional, edad, discapacidad y, en su caso, sexo, estado civil, situación familiar, situación parental, religión, orientación sexual, información genética, creencias políticas, represalias o porque la totalidad o parte de los ingresos de una persona procedan de cualquier programa de asistencia pública. (No todos los motivos prohibidos se aplican a todos los programas.) Las personas con discapacidad que necesiten medios alternativos para la comunicación de la información del programa (Braille, letra grande, cinta de audio, etc.) deben ponerse en contacto con el Centro TARGET del USDA en el (202) 720-2600 (voz y TDD). Para presentar una queja por discriminación, escriba a USDA, Director, Office of Civil Rights, 1400 Independence Avenue, S.W., Washington, DC 20250-9410, o llame al (800) 795-3272 (voz) o al (202) 720-6382 (TDD). USDA es un proveedor y empleador que ofrece igualdad de oportunidades.