

EL FUEGO:

UNA HERRAMIENTA DE MANEJO O UN ARMA CONTRA EL SUELO.

Ana Maria Lupi
Ing. Forestal M. SC. Instituto de Suelos INTA Castelar.
E- Mail: amlupi@cnia.inta.gov.ar

Introducción

El fuego fue históricamente usado como una herramienta de manejo muy eficiente y de costos bajos entre los productores agrícolas, ganaderos y forestales de diferentes países del mundo. Constituye una práctica muy simple para eliminar los residuos de cosecha de cultivos agrícolas y así facilitar las posteriores tareas de preparación del terreno. Es utilizada para eliminar las plagas que pueden hospedarse en los residuos y controlar las malezas que se desarrollan en el sitio. También es utilizado para rejuvenecer pasturas en sistemas ganaderos. En plantaciones forestales es una herramienta para la eliminación de los residuos de la cosecha previo a la plantación, y en edades intermedias y avanzadas se utiliza para reducir los residuos y la vegetación del sotobosque para evitar incendios.

En climas fríos, donde la descomposición es muy lenta las quemadas controladas se aplican para provocar un incremento en la disponibilidad de nutrientes.



Frente de avance de un fuego en una forestación joven. Foto: gentileza de Juan Inurritegui.

En regiones tropicales, con la agricultura migratoria, el fuego es utilizado para eliminar pequeñas superficies de bosque que luego serán destinadas a uso agrícola.

A pesar de los beneficios prácticos que se deducen de manera inmediata de la aplicación de las quemadas, es importante indicar que también existen una serie de impactos negativos directos o indirectos, que en mayor o en menor medida se desarrollan en función de la intensidad de la quema y de la sensibilidad del ambiente en que se utilice.

Probablemente los efectos negativos del uso del fuego no sean advertidos en el corto plazo dado que no se observa una manifestación visible de ello, es mas, muchas veces provoca un efecto positivo en este periodo. En estos últimos años no se ha analizado solo el efecto del fuego sobre las características físicas, químicas y biológicas y sus consecuencias indirectas, sino también su impacto sobre el calentamiento global debido a la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.

- 1) La acción directa de calentamiento sobre las plantas y el suelo,
- 2) La eliminación de la cubierta de restos orgánicos (capa de residuos) sobre el suelo, creando un nuevo microclima, y
- 3) La redistribución y cambio en la disponibilidad de los nutrientes.

La transferencia de calor hacia los horizontes orgánicos y minerales del suelo puede producir cambios muy profundos sobre los procesos físicos, químicos y biológicos que determinan el funcionamiento sostenible del suelo.

¿Qué es el fuego?

Es la manifestación visual de un proceso físico-químico conocido como combustión. Para que este fenómeno se desarrolle debe existir una fuente de energía química (biomasa combustible), energía térmica (calor desde una fuente de ignición) y O_2 (para que la reacción ocurra).

Durante el desarrollo del fuego, el calor es transmitido al suelo mediante los procesos de radiación, convección, conducción, transporte de masa y vaporización/condensación. La radiación es el movimiento del calor mediante ondas electromagnéticas, la convección es el proceso de transferencia de calor de un lugar a otro por mezclas de masas de aire. La transferencia de calor por conducción ocurre por el contacto físico entre la fuente de calor y el combustible o el cuerpo mineral. Este es el principal mecanismo de transferencia en grandes acumulaciones de combustible o residuos, principalmente cuando son de gran tamaño. El transporte de masa ocurre cuando el material en combustión se mueve debido al transporte por columnas de aire o se mueve en pendientes por la gravedad. Este proceso afecta más la dispersión de fuego que el calentamiento del

Transferencia del calor generado por el fuego.

El fuego tiene tres efectos básicos:

suelo. La vaporización y la condensación cumplen un rol importante para el rápido movimiento del calor hacia el suelo y en profundidad en el mismo. Involucra el cambio de fases del agua y de compuestos orgánicos destilados por el proceso de combustión.

Los impactos negativos, directos o indirectos del fuego, dependen de la intensidad de la quema y de la sensibilidad del ambiente en que se realiza.

La transferencia de calor desde los residuos en combustión está en función de un complejo número de variables:

- *Características del material combustible:* cantidad, tamaño, disposición, contenido de humedad.
- *Condiciones climáticas:* temperatura, viento, humedad.
- *Características del fuego:* velocidad de avance, longitud de la llama, intensidad, duración.

En términos generales, suelos secos o con el horizonte orgánico con poca humedad retardan el calentamiento del suelo mineral, mientras que los suelos más húmedos pueden calentarse más rápidamente.

Si la velocidad del viento es alta, la velocidad de avance del fuego es mayor y el impacto del calentamiento en un determinado

punto es menor. Cuanto mayor es la cantidad y el tamaño del material combustible, mayor es la transferencia de calor hacia el suelo. A igualdad en la cantidad de material combustible, si este se encuentra disperso el efecto de transferencia al suelo es menor si se compara con el material concentrado en un punto.

Efecto de la temperatura.

Los organismos de suelo y los procesos relacionados a ellos están fuertemente condicionados al régimen térmico e hidrológico del medio en que habitan. El mayor impacto del fuego es la transferencia de calor desde la biomasa en combustión al sistema suelo. La cantidad y duración de esta transferencia de calor determina la severidad del impacto al sistema físico y a los componentes químicos y biológicos del suelo.

Cuando se queman grandes acumulaciones de material (más de 400 t/ha) y de gran tamaño, las temperaturas máximas en la superficie del suelo pueden ser del orden de los 400-700 °C. La quema de vegetación del tipo arbustiva se produce a temperaturas más bajas, pero también tienen un rango amplio de variación. Los fuegos en pastizales con cargas de combustibles menores a 1 t/ha usualmente alcanzan una temperatura a nivel del suelo menor a 225 °C.

Las alteraciones biológicas se inician a un rango de 40-70 °C con la degradación de las proteínas y la muerte de los tejidos de las

plantas. La muerte de las semillas puede ocurrir en un rango de 70-90 °C. Dependiendo del tipo de organismos, la muerte generalmente ocurre entre temperaturas de 50-120 °C siendo los hongos menos resistentes que las bacterias.



Quema controlada de residuos forestales en preparación de sitio. Misiones. Gentileza

Rodolfo Martiarena

Estos valores nos muestran que muchas veces no es necesario que se suceda el fuego para inicial la alteración de algún proceso biológico. En regiones cálidas, en verano y con el suelo desnudo, es frecuente medir temperaturas del orden de los 45-50 °C a nivel del suelo.

Las alteraciones físico-químicas ocurren a temperaturas más altas que las biológicas. La materia orgánica (MO) comienza a destilarse en un rango de 200- 310 °C, pero ya se puede consumir algo a temperaturas más bajas. Por ejemplo, el chamuscado del mantillo en bosques y la destilación de compuestos orgánicos volátiles ocurre a temperaturas de 180-200 °C. A

temperatura mayores a 300 °C se consume casi todo el mantillo y a los 450 °C la MO o humus del suelo.

La temperatura que va tomando el suelo en profundidad depende de la intensidad del fuego, de la carga de combustible, de la duración del fuego y de la humedad del suelo. Suelos que se calientan con fuegos de severidad baja, la temperatura del suelo no supera los 130 °C en superficie y 50 °C a los 5 cm. Sin embargo cuando ocurre un calentamiento severo del suelo (cuando hay grandes acumulaciones de residuos, fuegos que se mueven lentamente) la temperatura puede ser cercana a los 700 °C en la superficie, algo mayores a los 250 °C a los 10 cm y puede exceder los 100 °C a los 20 cm de profundidad. Estos últimos fuegos sin duda resultan en la muerte de los organismos del suelo, raíces, alteración en los procesos físicos y cambios importantes en el ciclo de los nutrientes.



Quema intensa de residuos forestales.

Misiones. Gentileza Rodolfo Martiarena

Efecto sobre las características físicas

Propiedades como la estructura, la porosidad, la infiltración, el régimen térmico, el almacenamiento de agua, son claves para mantener la calidad del suelo y sin embargo pueden ser profundamente afectadas por los disturbios ocasionados por el fuego.

A menos que las quemadas sean intensas, las quemadas leves no tienen un fuerte impacto sobre las condiciones físicas.

El efecto puede ser indirecto dado que con la quema de la vegetación, del mantillo o de la capa de residuos superficiales se expone al suelo a las condiciones que favorecen su degradación: mayor exposición a condiciones climáticas extremas, aumento en la tasa de mineralización del humus y pérdida de la estabilidad de los agregados, aumento en el escurrimiento superficial, aumento en la susceptibilidad a la erosión y a la compactación, disminución en la capacidad de almacenaje de agua, entre otras cosas.

Con fuegos severos, la estructura del suelo puede ser afectada por la alteración que sufren las arcillas a temperaturas elevadas y por la combustión del humus. Es importante recordar, que a excepción de suelos con arcillas del tipo expandente, la degradación de la estructura es un proceso de difícil recuperación.

Otro efecto que se le induce al suelo es la repelencia del agua. Esto se da en fuegos severos con ciertos tipos de mantillos, donde compuestos orgánicos hidrofóbicos revisten los agregados del suelo disminuyendo su capacidad de humectación. Esta repelencia al agua puede significar una disminución de la infiltración, menor capacidad de almacenamiento de agua, desecamiento del suelo y en consecuencia menor disponibilidad y abastecimiento de agua y nutrientes para las plantas.

Efecto sobre la MO y los nutrientes.

El mantillo o la capa superficial de residuos en sistemas de manejo conservacionistas es un componente crítico para la sustentabilidad de los ecosistemas. Protege el suelo contra la erosión favoreciendo la infiltración, regula la temperatura disminuyendo las amplitudes térmicas, es el hábitat y sustrato para ciertas comunidades de microorganismos encargados de la fragmentación e incorporación del material al suelo (invertebrados epigeos), es la mayor fuente de nutrientes rápidamente mineralizable y la fuente de C para la formación del humus.

El efecto del fuego sobre el suelo está en función de la cantidad de calor liberado en la combustión.....y de la duración de la combustión.

Por otro lado, el humus del suelo es fundamental para mantener un adecuado suministro de nutrientes, colabora aumentando la capacidad de intercambio catiónico, regula el pH del suelo y afecta de manera positiva a numerosas propiedades físicas del suelo como la formación de agregados estables, la distribución y tamaño de poros y la capacidad de almacenamiento de agua.

Si se compara la cantidad de C contenido en la biomasa del suelo (raíces) y en la biomasa aérea se tiene que, aquellos ecosistemas con mayores reservas de MO dentro del suelo pueden ser menos susceptibles a la pérdida de productividad como consecuencia del fuego. Los bosques tropicales húmedos son más sensibles a las pérdidas de nutrientes por efecto del fuego ya que solo el 45 % de la cantidad total de C está debajo del suelo. Pastizales y sabanas son ecosistemas más adaptados a los fuegos ya que tienen alrededor del 80 % del C por debajo de la superficie.

Los fuegos severos inducen a importantes reducciones en las cantidades y alteraciones en las fracciones de la MO humificada o humus. Sin embargo, en quemadas leves puede suceder que no se alteren las cantidades totales pero las fracciones del humus aumentan su grado de estabilidad, transformándolo en un humus con propiedades que lo hacen más difícil de degradar por los microorganismos. Esto podría suponer

dos efectos, uno relacionado al aumento en la estabilidad y secuestro de C en el suelo, el otro, como consecuencia una disminución en la disponibilidad de nutrientes como consecuencia de dicha estabilización.

Si las quemadas se aplican periódicamente, *independientemente de la intensidad*, se reduce o elimina los ingresos de material vegetal que contribuirá a la formación del humus del suelo. Cambios en los aportes de MO fresca produce un desequilibrio en las entradas y salidas de MO del sistema. Esto culmina invariablemente, con una caída en los niveles de MO del suelo y la pérdida de fertilidad física y química.

La pérdida de nutrientes está en función de la severidad del fuego. Los procesos claves durante e inmediatamente después de fenómeno son la convección de cenizas, la volatilización, mineralización, erosión, escurrimiento y lixiviación.

La quemada puede definirse como un proceso químico de mineralización y puede alterar rápidamente la *forma*, la *cantidad* y la *distribución* de los nutrientes. Comparado con un proceso de descomposición biológico, la quemada libera una gran parte de los nutrientes contenidos en los residuos orgánicos de una forma rápida o instantánea, donde probablemente las plantas no estén en condiciones de tomarlas dado que no se encuentran en el sitio, no los necesita o no tiene

sistemas radicales extensos que permitan su captación.

De aquí se tiene que una parte de los nutrientes que son puestos a disponibilidad de manera brusca, puedan perderse por el movimiento descendente en el perfil del suelo, a profundidades que no pueden ser alcanzadas por las raíces (lixiviación).

Luego de la quema, cuando el terreno se ha quedado sin cobertura, con precipitaciones de intensidad suficiente como para generar escorrentía superficial se puede producir el transporte de las cenizas, y por lo tanto los nutrientes contenidos en ellas, a las partes bajas de los relieves ondulados e inclusive a cursos de agua.

Independientemente de la cantidad y del tipo de material en combustión, las columnas de humo que se generan por corrientes convectivas o simplemente por los vientos, también pueden ser un mecanismo de transporte de cenizas de un sitio a otro.

Pero existen otros tipos de pérdidas de nutrientes que están en función de la severidad del fuego y dependiente de la temperatura. La alteración y transferencia a la atmósfera por volatilización¹ es un mecanismo frecuente. El N es el elemento más susceptible ya que inicia su volatilización a los 200-400 °C. A temperaturas mayores a 500 °C, más de la mitad del N de la

MO puede ser volatilizado. Para las pérdidas de K ya son necesarias temperaturas más altas de 760 °C, más de 740 °C para el P, más de 800 °C para el S, más de 880 °C para el Na, más de 1107 Mg y más de 1240 °C el Ca.

Sin lugar a duda, desde el inicio del fuego ya se inicia la pérdida del C orgánico de los restos en combustión hacia la atmósfera en forma de CO₂. Por ejemplo, se ha estimado que la quema de los residuos de la cosecha y el sotobosque de una plantación de *Pinus radiata* en Nueva Zelanda produjo la pérdida de 27 t/ha de C a la atmósfera.

El aumento en el pH del suelo y la alta disponibilidad de los nutrientes que se suceden después de una quema es una consecuencia inmediata del fuego y es atribuida a un aumento en las cenizas. Si los cambios en el pH del suelo son grandes (se han indicado aumentos de hasta tres puntos) se puede afectar la disponibilidad de los nutrientes para las plantas. También, las alteraciones en el pH cambia bruscamente el hábitat de los microorganismos que estaban adaptados a las condiciones previas a la quema.

Si bien pueden producirse pérdidas de N hacia la atmósfera, también sucede que el N del suelo puede tornarse más disponible luego de un fuego de baja intensidad, debido a la conversión de N de formas orgánicas a formas inorgánicas como amonio y nitrato. Sin embargo las quemaduras muy intensas causan pérdidas de N directamente

¹ Proceso de cambio de estado pasando de sólido a gas.

por su consumo o la volatilización del amonio. El nitrato que fue convertido luego del fuego puede ser perdido por desnitrificación o lixiviación por ejemplo.

También el Ca, el P y el Mg pueden presentar mayor disponibilidad. Esto es lo que comúnmente puede atribuirse como efecto positivo de la quema ya que el cultivo que se establezca inmediatamente posterior al fuego presentará una mayor disponibilidad de nutrientes, con lo cual las necesidades de fertilizantes podrían verse reducida.

El P, un elemento crítico para la nutrición de las plantas y las formas orgánicas del P en el mantillo son las más disponibles para las plantas. Por lo tanto, la eliminación del mantillo o capas de residuos puede tener un impacto severo sobre el ciclo de este elemento. El P en suelos con altos niveles de Ca o donde el pH del suelo fue elevado a niveles superiores a 7 u 8, puede ser complejo a formas no disponibles.



Efecto sobre los microorganismos.

La disponibilidad de nutrientes para las plantas es una propiedad que resulta de la actividad de los microorganismos con el sustrato. Por lo tanto, la sustentabilidad en este sentido, depende de la sincronía entre la demanda de nutrientes de las plantas y los procesos microbianos que regulan el almacenamiento y el flujo de los nutrientes.

Hay estudios que demuestran que el fuego puede afectar a las poblaciones de microorganismos del suelo y la composición de las especies, dependiendo esto de la intensidad del fuego, las temperaturas máximas, la humedad, la duración del calentamiento y la profundidad a la que alcanza.

Fuegos de baja intensidad, o sea aquellos que se mueven rápidamente como la quema de pastizales o la quema de baja cantidad de combustible, no tienen un efecto mayor sobre las poblaciones. En cambio, fuegos de alta intensidad, con una gran carga de combustible, tienen un efecto contrario, provocando un efecto de esterilización en el suelo. La profundidad del suelo a la que se afecte dependerá de la temperatura que alcance la quema.

Si los fuegos no son intensos o severos, se puede afectar el número y tipo de organismos pero en un periodo corto luego de la que se regenera rápidamente la población estimulada por la alta disponibilidad de nutrientes y por el C disponible que proviene de raíces u otros microorganismos muertos.

El efecto del fuego sobre los microorganismos es más pronunciado en los mantillos o capas de residuos (si está presente) o en los primeros 1-2 cm del suelo, donde las poblaciones son más abundantes dado que hay mayor contenido de humus.

Dependiendo del tipo de organismo, el calentamiento del suelo puede ser letal (50-210 °C) o puede alterar sus capacidades reproductoras. Temperaturas del orden de los 210 °C son necesarias para matar a grupos específicos de bacterias en suelos secos, pero un aumento en la humedad del suelo puede reducir este nivel letal a los 110 °C.

Luego de un fuego de moderada a alta intensidad, la tendencia general es que los organismos heterotróficos disminuyan. El efecto puede darse por el calentamiento provocando la muerte, por el consumo de C de la vegetación o los residuos, o la reducción del C del humus dentro del suelo. Las raíces muertas por debajo de la capa que afectó el fuego puede ser la fuente primaria de C para los organismos heterotróficos, aumentando la respiración y la pérdida de C del sistema.

Con quemas que producen temperaturas del orden de los 50-70 C en los 3 cm superficiales de suelo pueden eliminar a organismos nitrificadores y reducir fuertemente la microflora total, mientras que en quemas controladas anuales, el número de bacterias fijadoras de N como *Azotobacter* y *Clostridium* pueden aumentar después del fuego.

Las micorrizas pueden verse afectadas de manera moderada cuando la temperatura del suelo es de alrededor de los 50 °C y severamente

afectadas y reducidas con temperaturas de 90 °C. Se ha encontrado que la colonización de micorrizas disminuye notablemente luego del fuego pero este proceso se ve revertido luego de varios meses.

Los invertebrados también tienen un rol importante en la descomposición de restos orgánicos, en la mineralización de los nutrientes y en las propiedades físicas del suelo.

Alteraciones en la cantidad de sustrato disponible para la descomposición producen cambios en el número y densidad de especies. Los efectos son particularmente más importantes en aquellos invertebrados que no son móviles y que residen en el mantillo, capa de residuos, o en los primeros cm del suelo.

En ecosistemas con pastizales, los fuegos raramente alcanzan una severidad como para afectar las poblaciones de invertebrados. Para aquellos invertebrados que pueden moverse, el efecto del fuego es mínimo ya que pueden escapar o esconderse dentro del suelo. El impacto más fuerte se presenta en la pérdida de su hábitat o la exposición de su hábitat a predadores. Esto puede tener un impacto muy grande, reduciendo la diversidad y abundancia por un período relativamente grande, luego del fuego.

Efecto de la severidad del fuego sobre diferentes parámetros en un suelo

	Severidad del fuego		
	Leve	Moderado	Alto
Temperatura en superficie	250 °C	400 °C	675 °C
Temperatura a los 50 mm	< 50 °C	50 °C	75 °C
Mantillo	Parcialmente chamuscado	Mayoritariamente consumido	Totalmente consumido
MO del suelo 25 mm	Inicia la destilación	Parcialmente chamuscada	Consumida/ chamuscada
MO del suelo 50 mm	No afectada	Inicia la destilación	Inicia la destilación
Raíces superficiales	Muertas	Muertas	Muertas
Raíces a 50 mm	Vivas	Vivas	Muertas
Microorganismos superficiales	Muertos	Muertos	Muertos
Microorganismos a 25 mm	Vivos	Algunos vivos y otros muertos según el tipo	Muertos
Microorganismos a 50 mm	Vivos	Algunos vivos y otros muertos según el tipo	Algunos vivos y otros muertos según el tipo
Nutrientes en superficie volatilizados	N	N y P orgánico	N, P, K y S
Nutrientes volatilizados a 25 y 50 mm	Ninguno	Ninguno	Ninguno