

ECOLOGÍA DEL FUEGO

D. Granados-Sánchez; G. F. López-Ríos

División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. C.P. 56230.

RESUMEN

El fuego es un factor ambiental, regulador de las comunidades vegetales. Su frecuencia depende de la acumulación de biomasa combustible y de las condiciones meteorológicas como altas temperaturas y baja humedad. Se presenta como fuego de copa o corona, de superficie y subterráneo. El fuego afecta a todo el ecosistema en su totalidad. Las especies vegetales que habitan los ecosistemas donde hay frecuencia de fuego, tienen características adaptativas en respuesta a este factor, como son: rápido crecimiento juvenil, conos serotinos, regeneración por yemas, ralees profundas, entre otras. En el manejo de ecosistemas el hombre ha empleado el fuego, como es el caso de la renovación de pastizales, en la agricultura migratoria y en el saneamiento del hábitat de la fauna silvestre.

PALABRAS CLAVE: Adaptación al fuego, combustible, comunidades firolímax, sucesión ecológica.

ECOLOGY OF FIRE

SUMMARY

Fire is an environmental factor, a regulator of plant communities. Its frequency depends on the accumulation of combustible biomass and meteorological conditions such as high temperatures and low humidity. Fire can appear in the tree crown, on the surface, or underground.

Fire affects the entire ecosystem. Plant species that inhabit the ecosystems where fire is frequent often have adaptive characteristics as a response to this factor: fast young growth, serotinous cones, vegetative bud regeneration, and deep roots, among others.

In the management of ecosystems, man has used fire, as in the case of renovation of pastures, shifting agriculture, and sanitation of wildlife habitats.

KEY WORDS: Adaptation to fire, combustible, pyro-climacteric communities, ecological succession.

INTRODUCCIÓN

El fuego es un factor ecológico natural tan importante como el viento, la temperatura, el suelo o la precipitación, pues determina la estructura y funcionalidad de muchos de los ecosistemas del mundo. El fuego es generalmente un factor ambiental de baja frecuencia, pero de considerable efecto; la frecuencia de incendios en el tiempo ha sido suficiente para mantener una condición ambiental muy diferente de aquella que se desarrollaría en ausencia de fuego.

El fuego es uno de los factores principales de destrucción de comunidades y también de la renovación de éstas, lo que conduce a una sucesión ecológica; es también un factor importante en el mantenimiento de clases particulares de vegetación, tales como las comunidades de arbustos, pastizales, algunos bosques de coníferas, así mismo es un factor importante en el mantenimiento de la división general entre bosque y pradera.

Los incendios son fenómenos que forman parches y contribuyen significativamente a la heterogeneidad temporal y espacial de los ecosistemas (Figura 1).



FIGURA 1. El triángulo del fuego es la conexión básica de la reacción en cadena: combustible-oxígeno-temperatura.

DETERMINANTES EN EL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

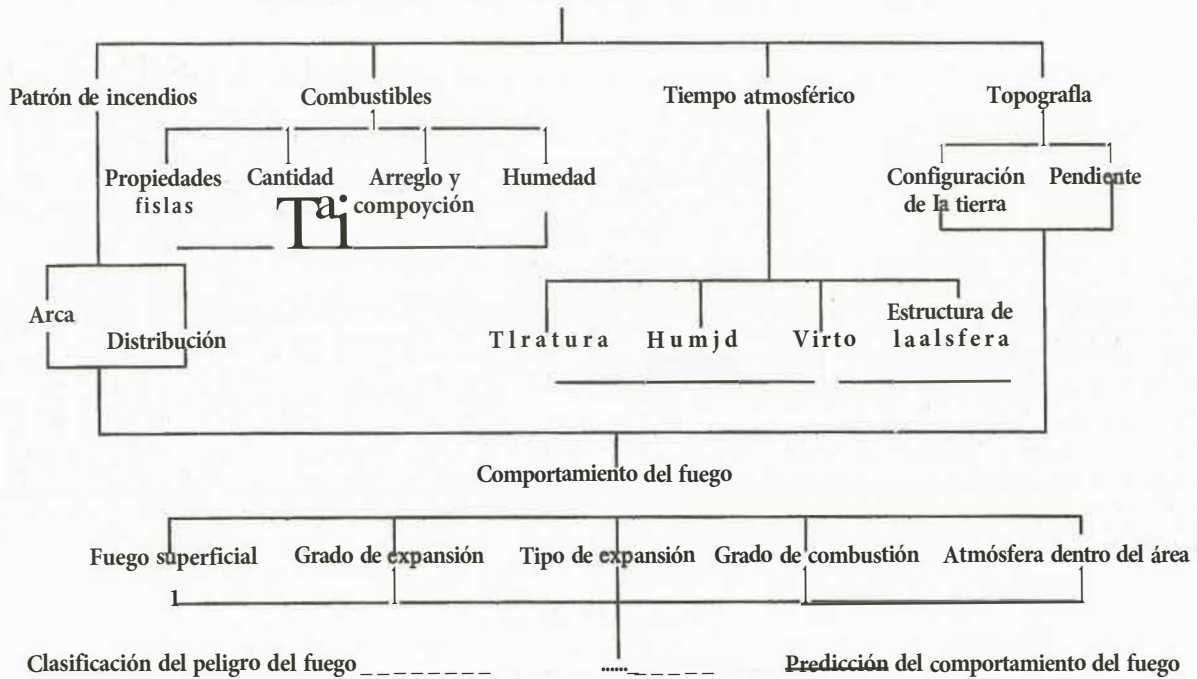


Figura 2. Determinantes del comportamiento del fuego.

El fuego es un factor ambiental que es casi parte del clima para moldear el ciclo de vida de la vegetación en la mayor parte de los ambientes terrestres del mundo. Es especialmente importante en bosques y pastizales de la zona templada, y en regiones tropicales con temporadas secas. En casi todo el territorio es difícil encontrar una zona más o menos extensa de bosque o pastizal que no muestre indicios de que ha experimentado algún incendio en los últimos 50 a 100 años.

En épocas pasadas, el hombre quemaba regularmente bosques y praderas para cazar animales o abrir zonas para la agricultura y el pastoreo. Contra la opinión popular, el fuego en tiempos modernos no es necesariamente perjudicial. La quema controlada o quema prescrita, puede ser una herramienta muy útil en el manejo de ciertos tipos de bosques y pastizales (Pyne, 1982). (Figura 2).

COMBUSTIBLE

Puede considerarse que el efecto directo que tiene el fuego en un ecosistema, es la conversión de parte o toda la materia orgánica (biomasa) y el detritus en cenizas inorgánicas y productos de combustión. La cantidad de materia orgánica que sea convertida en material inorgánico dependerá de la duración y la intensidad del incendio, que a su vez es función del complejo de combustibles, el tiempo atmosférico y la topografía. Las variacio-

nes en esos tres componentes implican diferencias en el comportamiento y magnitud del impacto en la comunidad biótica.

Los combustibles de acuerdo a su posición vertical se clasifican como:

- Combustibles aéreos. Todos los combustibles más altos de 1.83 metros sobre la superficie del suelo.
- Combustibles superficiales. Los que se encuentran entre la materia orgánica muerta en el piso del bosque y 1.83 m aproximadamente.
- Combustibles subterráneos. Toda la materia orgánica bajo los detritus superficiales, incluyendo humus y raíces. (Figura 3).

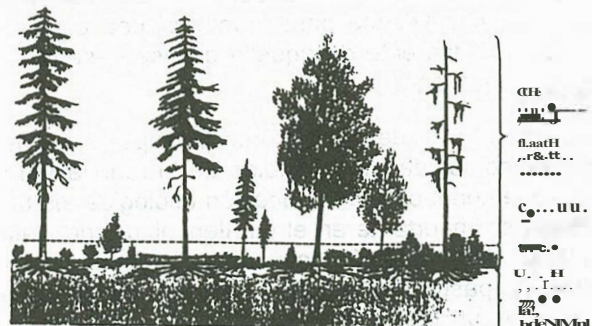


Figura 3. Perfil del bosque donde se muestra la localización y clasificación del combustible.

Otro tipo de clasificación considera a los combustibles como: vivos y muertos; continuos y discontinuos ; pesados y ligeros.

Las características de los combustibles que afectan la intensidad calorífica y el comportamiento del incendio son las siguientes: cantidad, tamaño y forma, compactación, continuidad horizontal y vertical, densidad, sustancias químicas y contenido de humedad.

La frecuencia de incendios varía enormemente de una región a otra y de un tipo de ecosistema a otro de la misma región. En las zonas altas de un bosque, así como en las cimas de una montaña, por su condición más seca, habrá una mayor frecuencia de incendios, que en partes bajas de los valles más húmedos.

Los efectos de los incendios varían de acuerdo con la severidad del mismo, la naturaleza de la comunidad vegetal y el hábitat. Un incendio severo en un bosque puede destruir toda la comunidad biótica, y si el suelo es posteriormente lavado (en términos de tiempo humano) es posible que el área nunca pueda recuperarse. En otras circunstancias algunos individuos (o semillas) pueden sobrevivir, y el incendio favorece a algunos elementos de la comunidad a expensas de otros.

Causas del fuego

La periodicidad de los incendios forestales naturales depende de:

- a) La acumulación de elementos susceptibles de ser quemados.
- b) La ocurrencia del incendio.
- c) La renovación del bosque por crecimiento de nuevos árboles.

Los incendios ocurren principalmente en la estación seca, la cual se presenta en diferentes épocas del año, en diferentes partes del mundo. Los incendios pueden ocurrir en el inicio, a mediados o final de la estación seca, con muy diferentes efectos ecológicos. Después de un incendio en primavera, las plantas volverán a germinar y habrá relativamente poco cambio en la vegetación del próximo año. En contraste, un incendio a finales del verano, o inicios del invierno, dejará el suelo sin vegetación durante el siguiente invierno (Pyne, 1995).

Por las altas temperaturas que se presentan durante los incendios algunos de los nutrientes del suelo y materia orgánica puede perderse, la capacidad de retención del

agua y la hidratación del mismo se modifica y las poblaciones de microbios del suelo se alteran.

Por otro lado, el impacto que el fuego tiene en el suelo influye en sus propiedades físicas y químicas y en sus componentes bióticos.

La constitución química y las características físicas del combustible influyen en la producción de calor. La repercusión que éste pueda tener en el sistema dependerá de su intensidad. Esta última es función de la producción de calor, la disponibilidad de combustible y la proporción de expansión del fuego. Esta relación puede ser simbolizada por la siguiente expresión:

$$I = (0.007) H \times W \times R$$

Donde: I Intensidad calorífica en la línea de fuego (kw-m)

H Calor de combustión del combustible (cal x gr⁻¹)

W Carga del combustible disponible (ton/ha)

R Velocidad de propagación (m x seg⁻¹)

Por su disponibilidad, de acuerdo a Cristensen (1981) podemos separar a los combustibles en:

- Disponible. El que por su bajo contenido de humedad puede arder (Ej. 15% en zacate y 30% en madera).
- Residual. El que por su elevado contenido de humedad no fue consumido por el fuego.
- Total. Es todo el combustible que está en el lugar y es igual a la suma de los anteriores.

TIPOS DE INCENDIOS Y SU OCURRENCIA

Los efectos del fuego, varían enormemente de acuerdo a la época del año, la cantidad, condición y distribución del combustible, las condiciones climáticas prevalecientes, la duración e intensidad del fuego debido a la acumulación de residuos vegetales y de plantas, el declive, aspecto y elevación del terreno, el tipo de vegetación que en algún momento del año se hacen combustibles y suelo.

Los incendios pueden ser divididos en tres tipos principales:

1. Incendios subterráneos. Se desarrollan sin llama, y arden lentamente a lo largo de una superficie espesa por la acumulación de materia orgánica. Este tipo de incendios son nombrados como "agentes retrogresivos, no sólo de raleas, tubérculos y rizomas, sino que también de la materia orgánica del suelo, afectando a las comunidades de organismos que forman la cadena simbiótica del piso forestal. Son muy difíciles de extinguir.

Su mayor frecuencia se da en los trópicos y en zonas de malpaís donde se acumula materia orgánica en los intersticios de la roca.

Los incendios subterráneos tienden a ser los más destructivos por el hecho de que consumen todas las raíces, con lo cual generalmente se impide la germinación a partir de órganos subterráneos. Este tipo de incendios puede matar muchos árboles de esta manera, mientras los troncos y copas permanecen intactas.

2 Incendios superficiales. Se expanden rápidamente consumiendo desechos y porciones sobre la superficie del terreno de hierbas y arbustos. En este tipo de incendios el fuego superficial generalmente es de menor intensidad calorífica que el de copas tiene un movimiento rápido; se presenta en el dosel inferior del bosque y como consecuencia de él, los conos pueden ser gastados, la corteza superficial es quemada, las plantas de semilla de bajo porte y los retoños sobrevivientes son resecaos. Los árboles maduros pueden ser dañados en su base y su follaje se deshidrata.

Los fuegos de superficie ejercen un efecto selectivo: son más limitativos para ciertos organismos que para otros y favoreciendo así el desarrollo de organismos de alta tolerancia frente a este factor. Por otra parte los incendios superficiales ligeros, ayudan a las bacterias a descomponer los cuerpos de las plantas y en hacer que los elementos o nutrimentos minerales estén más prontamente disponibles para el desarrollo de éstas. Las legumbres nitrificantes prosperan a menudo después de un ligero incendio. En regiones especialmente expuestas a incendios, este tipo de fuegos cuando son regulares reducen considerablemente el peligro de siniestros de copa o corona al reducir la carga de combustibles superficiales (Lewis y Ferguson, 1988).

Los incendios de superficie generalmente queman sólo la capa superficial del suelo y partes superficiales de hierbas y arbustos; esta vegetación es frecuentemente capaz de germinar a partir de sus órganos perennes que se encuentran debajo del suelo. Los árboles pueden o no ser destruidos, dependiendo del espesor de sus cortezas (Figura 4).

Los fuegos de superficie ligeros ayudan a las bacterias a descomponer los cuerpos de las plantas y en hacer que los elementos nutritivos minerales estén disponibles para el desarrollo de éstas.

3. Incendios de copa o corona. Resultan de las tormentas eléctricas o incendios superficiales en áreas con combustibles de continuidad vertical. Los árboles arden a lo largo de las copas de la vegetación leñosa, frecuentemente

dejando la mayoría de los troncos y el suelo del bosque relativamente intactos (Rothermel, 1991).

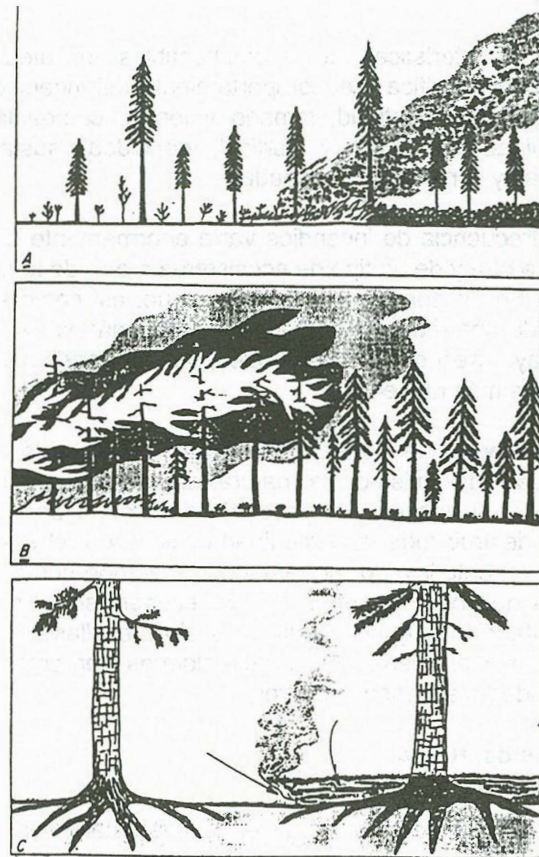


Figura 4. Clases de fuego: a) de superficie, b) de corona y c) subterráneo.

Este tipo de fuego es desastroso y consume a los árboles maduros al extenderse por las ramas.

Los fuegos de copa o corona son limitantes para la mayoría de los organismos; la comunidad biótica tiene que empezar a desarrollarse totalmente, a partir de cero y podrían transcurrir años antes de que el área vuelva a ser productiva desde el punto de vista del hombre.

EFFECTOS DEL FUEGO EN EL SUELO

El grado en que las propiedades del suelo son alteradas por el fuego depende de la intensidad de éste y el monto de materia orgánica que es consumido. El fuego causará un gran efecto si toda la vegetación es destruida debido a que la pérdida de sombra, presión de raíz y transpiración provoca cambios significativos en la temperatura del suelo, su estabilidad y humedad. Los efectos del fuego pueden ser divididos en físicos, químicos y biológicos.

El calentamiento del suelo por las llamas es menos significativo que la acción que tiene sobre la materia orgánica. La quema muy intensa puede destruir toda la materia orgánica de la superficie del suelo. A una temperatura de 200 a 300 °C, el 85% de las sustancias orgánicas son destruidas y el nitrógeno es liberado por volatilización; el Ca, el Na y el Mg, también se liberan. Una consecuencia de la combustión de la materia orgánica es la pérdida de la capacidad de intercambio catiónico que modifica substancialmente el hábitat para las plantas.

En general, el pH del suelo puede ser alto después del fuego, el grado en que cambia depende de la liberación natural de cationes por la quema. La actividad de la vida libre y la fijación de nitrógeno por bacterias mejoran por dos causas; adición de nutrientes y el alto pH debido a la liberación de bases minerales solubles en cenizas.

La energía calorífica puede ser transferida hacia abajo por conducción y flujo de vapor. La proporción de ésta transferencia afecta en casi todos los niveles de humedad del suelo.

El efecto del fuego sobre el suelo depende de las propiedades del mismo, la intensidad y duración del incendio, la topografía y el clima. Al respecto pueden ubicarse tres niveles de efectos sobre el suelo:

- **Bajo.** La capa de materia orgánica se quema superficialmente.
- **Moderado.** La capa de materia orgánica se quema, pero la estructura del suelo no se altera visiblemente.
- **Alto.** La materia orgánica se reduce a cenizas. El color y la estructura del suelo mineral se alteran visiblemente.

Los efectos de una quema prescrita son menores que los de un incendio en relación a las propiedades del suelo, como son temperatura, propiedades físico químicas, microflora y fauna del suelo.

Los cambios asociados en varias características del suelo son causados por la desaparición de la materia orgánica, la liberación de cationes y la pérdida de material volátil. Como resultado de la quema, en lo concerniente a las características químicas, los suelos permanecen intactos para la mayor parte de la capa de raíces (Carlton y Picisfor, 1979).

Luego de un incendio se incrementa la tasa de evaporación del suelo y aumenta la temperatura superficial bajo las cenizas. Estas pueden infiltrarse en los suelos arenosos, hasta la zona mineral cuando el incendio es severo. Así se pueden formar capas impermeables entre 2.5

y 23 cm de profundidad que reducen la cantidad de agua disponible para las plantas.

El fuego favorece el proceso normal de mineralización de la materia orgánica, reduce la transpiración debido a la reducción del follaje, incrementando la pérdida de agua por evaporación si toda la materia orgánica del suelo del bosque es quemado. También son destruidos los micelios y esporas de hongos micorrizicos, así como organismos invertebrados, vertebrados y esporas de hongos que la producen.

El mayor efecto del fuego es el convertir los nutrientes minerales no disponibles que se encuentran en la materia orgánica, es una forma soluble aprovechable por las plantas. De todos los macronutrientes, el nitrógeno es el más aceptable de perderse durante un incendio, sin embargo, si el fuego solamente quema las capas superficiales, la disponibilidad de nitrógeno después del incendio, puede aumentar a través de la inducción de un pH y temperatura determinados, que incrementan la mineralización de los materiales residuales. Cuando el fuego quema todo el suelo del bosque, la disponibilidad de nitrógeno decrece significativamente hasta que ocurra la invasión de organismos libres o simbióticos fijadores de nitrógeno.

Típicamente el fuego produce una reducción inicial en las poblaciones de microflora, seguida en muchos casos por un incremento de éstas, que frecuentemente ocurre después de la primera lluvia. La abundancia de estas poblaciones después de un incendio posiblemente exceda los niveles anteriores a la quema, debido a un incremento del pH, reducción de la competencia microbial y aumento en la disponibilidad de nutrientes. Algunas veces el fuego puede provocar esterilidad en un área, permitiendo el reemplazamiento de la microfauna original por población en especies diferentes.

El calentamiento intenso durante las quemas anuales provoca difusión hacia el suelo de materiales orgánicos volátiles. Estos materiales se condensan inmediatamente bajo la superficie del suelo por los pronunciados gradientes térmicos generados.

El efecto del calentamiento con respecto a la humedad del suelo es menor mientras mayor es la profundidad. Las quemas de baja intensidad calórica incrementan la repelencia al agua de la parte superficial del suelo, y cuando la temperatura es muy alta la hidrofobicidad se establece en el subsuelo hasta 5 cm de profundidad (Migren, 1974).

La materia orgánica mejora la estructura del suelo, la cual permite una mejor infiltración del agua de lluvia.

El impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desprotegido implica la compactación de la superficie del mismo. La textura del suelo puede verse modificada por la elevación extrema de la temperatura.

Como resultado de incendios la combustión es una oxidación muy rápida, en la que se liberan los nutrimentos de importancia del total de materia orgánica del sistema suelo-cubierta forestal.

Se ha observado que conforme aumenta la intensidad del incendio el nitrógeno total disminuye. Además de que el pH del suelo aumenta después de la quema, aunque el efecto es temporal.

La duración del incendio, así como la intensidad, son factores que provocan cambios en algunas poblaciones microbianas, el efecto varía dependiendo de la humedad y textura del suelo y de la profundidad en la que residen los organismos.

Las quemaduras severas inhiben el desarrollo de micorrizas en plántulas de árboles y reportan que los microorganismos del suelo no sobreviven a temperaturas mayores a los 200 °C. El efecto del fuego sobre los hongos asociados a raíces llegan a profundidades mayores que los efectos sobre la química del suelo y dado que estos organismos tienen una importante participación en los procesos de reciclaje de nutrimentos, se considera que los cambios en la microbiología del suelo son más significativos que los químicos (Ahlgren, 1974).

Las propiedades físicas del suelo en los ecosistemas tropicales están influenciados por la actividad de la fauna del suelo, tal como los gusanos de tierra, termitas, etc. Es de esperar que existen efectos directos adversos sobre estas poblaciones por las altas temperaturas. Los efectos indirectos incluyen el decremento en la cantidad y diversidad del alimento, mayor depredación, y deterioro general del ambiente. En forma proporcional la mesofauna y la macrofauna disminuyen su tamaño después de un incendio (Pyne, 1996).

ORGANISMOS Y FUEGO

Un ecosistema dependiente del fuego frecuentemente contiene organismos cuya supervivencia y continuidad está determinada por el fuego, el cual se convierte en un componente esencial del ambiente. Las plantas presentan adaptaciones evolutivas relacionadas con el fuego. Se consideran tres clases de adaptaciones según se presentan como estructuras, mecanismos o funciones.

Como ejemplo, de esto tenemos las adaptaciones a cambios en el pH y contenido de minerales del sustrato para el establecimiento del renuevo, la producción de

compuestos alelopáticos, las condiciones de suelo semisterilizado por calentamiento y algunas relaciones suelo-agua alteradas.

El cambio en la vegetación que es considerada clímax en un momento dado es un ejemplo del efecto a largo plazo del fuego sobre un ecosistema. El darlo que produce el fuego a las plantas varía conforme a las características propias de la forma de vida de las mismas y de las condiciones del incendio.

Se han descrito los siguientes mecanismos de supervivencia de las plantas al fuego:

- Desarrollo de cortezas gruesas alrededor del tronco y ramas.
- Protección de yemas apicales por catáfilos densamente cubiertos de pelo o escudos imbricados.
- Presencia de yemas latentes bajo tierra.
- Sistemas subterráneos muy extensos penetrando profundamente en el subsuelo.
- Dosel elevado y copas separadas.
- Desarrollo de rizomas y chupones radiculares.

El fuego afecta a la comunidad vegetal a través de su efecto sobre la productividad primaria y en los distintos estados de desarrollo de cada especie en particular como puede verse enseguida (Cooper, 1961):

1. **Estado vegetativo.** Algunas plantas obtienen resistencia protegiéndose del darlo, mientras otras son capaces de tolerarlo; algunos árboles desarrollan una corteza muy gruesa cuando maduran, lo que los hace resistentes al fuego. Las especies con gran contenido de humedad en el follaje y bajo contenido de resina y aceite son generalmente más resistentes al fuego que aquellas especies de coníferas ricas en resina y aceite. Las yemas protegidas confiere a las plantas la capacidad de continuar creciendo y de recuperarse de la pérdida de ramas, follaje o incluso del tallo completo. Las plantas que desarrollan tubérculos son capaces de producir nuevos tallos más rápidamente que aquellas que no lo poseen debido a la reserva alimenticia que implica esta estructura.

2. **Fase reproductiva.** La floración precoz y dispersión de las semillas, puede ser el resultado de cambios en la temperatura o solamente reflejo de una reducción en la competencia por luz, humedad y nutrimento o puede ser también un efecto del humo.

Debido a que el fuego es un factor natural en determinados ecosistemas, éste ha sido adaptado a una frecuencia e intensidad particular. Las actividades humanas han alterado frecuentemente estas dos características; el fuego ha sido introducido a ecosistemas que han sido históricamente raros. Los incendios de poca intensidad como son los de superficie, generalmente tienen un efecto neto benéfico en la funcionalidad de un ecosistema; cuando el fuego es exclusivo del ecosistema forestal el combustible del suelo es acumulado, ocasionando eventualmente incendios intensos de superficie.

Fuego y ecosistema forestal

Se cree que muchas áreas de pastizal han sido originadas y mantenidas gracias al fuego; esto obedece a que las plantas anuales o hierbas tienen más capacidad adaptativa que los arbustos, un ejemplo de ello es que las primeras cuando las ataca el fuego normalmente ya están secas, además de que si las daña sólo afecta al crecimiento de un año, por el contrario, las segundas todavía tienen tejido vegetativo y la destrucción que le causa es de muchos años.

En la actualidad grandes zonas de pastizales del Desierto del Norte de México están siendo invadidas por materiales tales como el enebro (*Juniperus*) el mezquite (*Prosopis*), las artemisas (*Artemisia*) y los encinos chaparros (*Quercus*). Tan sólo el mezquite se ha extendido desde su área original por los canales de sequía y en algunas regiones de altura hasta ocupar más de 30 millones de hectáreas de lo que anteriormente eran praderas de hierba. Algunos ecólogos señalan como único causante de la invasión de matorrales, al ganado doméstico; aseguran que el sobrepastoreo ha debilitado selectivamente las hierbas permitiendo a los matorrales menos palatables el proliferar. Estas explicaciones, no son suficientes puesto que incluso, en lugares que tienen valles para protegerlos de los animales, los matorrales siguen prosperando, casi con toda certeza, la causa principal de la invasión de los matorrales es la disminución en la frecuencia de los incendios (Cooper, 1961).

El fuego ha jugado un papel igualmente crucial en los bosques, un magnífico ejemplo de ello lo aporta el bosque de *Pinus banksiana*, que en la actualidad se extiende por una ancha franja en los estados de Michigan, Wisconsin y Minnesota. Cuando los madereros llegaron por primera vez a esas regiones, los pinos rojos eran de pequeño tamaño, mientras que los principales árboles eran los pinos blancos (*Pinus strobus*) y las secuoyas (*Sequoia*) que se elevan por encima de las demás copas del bosque. Aquellos hombres seleccionaron los pinos blancos por considerar a esta especie la más adecuada para sus fines; sus actividades eran frecuentemente seguidas de fuegos, intencionados o accidentales, que encontraban terreno

propicio en las ramas y virutas abandonadas al limpiar los troncos y que se convirtieron en holocaustos que extinguieron cualquier vestigio de vegetación. El bosque mixto no se regeneró porque en muchos casos hasta las semillas fueron destruidas, sin embargo, las del pino sobrevivieron Countrymon, 1981; (Perry y Loton, 1979).

Al contrario de lo que sucede con la mayoría de las piñas que caen y esparcen sus semillas en el otoño, las del pino triste (*Pinus patula*) permanecen cerradas y adheridas al árbol y las semillas siguen viables en el interior de las piñas durante varios años. Cuando son calentadas como sucede en un incendio, las piñas se abren lentamente y liberan los piñones.

Así los incendios eliminaron las semillas de las especies competidoras favoreciendo al mismo tiempo la eclosión de las piñas de pino triste, con la siguiente lluvia de semillas sobre un lecho de cenizas, abono ideal para la germinación. El resultado de estos procesos es la producción de un bosque enteramente dominado por dichos pinos. (Figura 5).

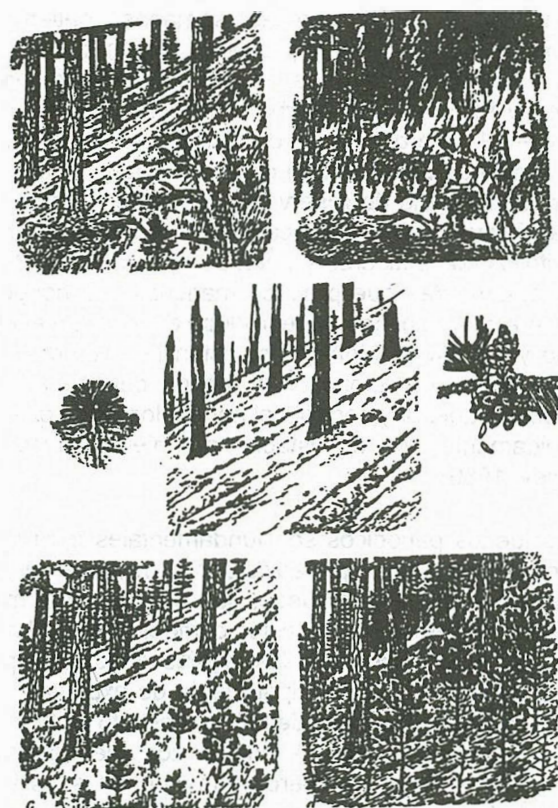


Figura 5. El efecto del fuego en la regeneración de un bosque de coníferas. a) Bosque con abundante combustible (ramas viejas-secas y hojarasca). b) Incendio forestal. c) Bosque quemado con briznales de rafees profundas arrosados con catáfilas protegiendo las yemas y conos serotinos que abren por el fuego. d) y e) Bosque en etapas tempranas de regeneración.

Los bosques de *Pinus hartewii* de las partes altas de la Sierra Nevada de México, también deben su origen al fuego. Esta especie necesita mucha luz, por lo que no pueden crecer a la sombra de un bosque maduro, sólo hasta que los viejos pinos mueren, son reemplazados por árboles más jóvenes de su especie, que constituyen el estadio clímax de vegetación en esas regiones (firoclímax). Los incendios forestales detienen la sucesión produciendo claros en medio del bosque inundados de luz de sol, a donde llegan fácilmente los retoños favorecidos por la luz, crecen más rápidamente que sus competidores y los sobrepasan; terminando por convertirse en un planta! de árboles adultos de edad uniforme. Los pinos dependen del fuego para establecerse pero resisten los incendios frecuentes una vez asentados.

Una especie que está casi en condiciones para el fuego frecuente, es el pino de aguja larga que habita en el sureste de los Estados Unidos. Al contrario de la mayoría de los pinos, los de aguja larga no tienen un crecimiento uniforme después de germinar: los retoños crecen algunos centímetros en unas cuantas semanas, detienen su crecimiento hacia arriba y producen un anillo de agujas largas y colgantes que rodean el tallo y la yema terminal en lo que se llama estadio hierba, que dura de tres a siete años y en él los procesos de crecimiento se concentran en la formación de un sistema profundo y extensivo de raíces y en el almacenaje de reservas alimenticias. Estos pinos quedan frecuentemente colocados a la sombra de árboles caducifolios competidores y además son muy susceptibles a una enfermedad que produce manchas. El hongo que produce estas manchas se reproduce durante la sequía de verano y las lluvias otoñales aplastan las esporas contra las agujas de los retoños. A menos que se aclare la vegetación superior y controle el hongo, los pinos quedarán indefinidamente en el estadio de hierba (Fischer y Brandley, 1986).

Los fuegos periódicos son fundamentales para la vida del pino de aguja larga; protegida por su dosel de agujas, el retoño puede soportar el fuego, que en cambio sí mata a las partes aéreas de las especies competidoras. Al mismo tiempo, el fuego consume las agujas infectadas por el hongo, destruyendo la principal fuente de expansión de la especie parásita. Después de salir del estado de hierba, su extraordinario crecimiento - uno o dos metros anuales durante los dos o tres primeros años, ponen a las yemas fuera del alcance de los fuegos superficiales en muy poco tiempo. La corteza del árbol joven es muy espesa y llena de corcho, con lo cual el tejido de crecimiento, sensible al calor, queda protegido. A medida que el árbol crece, la corteza se va engrosando hasta ser resistente a todos los incendios, exceptuando a los extraordinariamente intensos.

En los bosques del género *Pinus*, el fuego ha jugado un papel importante, ya que sus conos tienen la capacidad de soportarlo más que otras especies, aún más, cuando el calor del fuego los calienta se abren liberando las semillas, además las cenizas que dejan los incendios son un abono ideal para la plántula nueva. En otros casos cuando las plantas son intolerantes y llegan a la madurez y mueren, el proceso de sucesión hace que estos desaparezcan para dar lugar a la vegetación siguiente según las escalas de la sucesión, en este caso el fuego permite que existan claros en los cuales las plantas que fueron desplazadas puedan tener la suficiente luz para emerger y aventajar a sus competidores (Cooper, 1961).

Además de la intensidad del incendio, la mortalidad de árboles depende de las especies, edad y hábito de enraizamiento.

De lo anterior, podemos citar otros tipos de adaptaciones: el grosor de la corteza aislante de *Pinus hartwegii* y el pino triste; capacidad de brotamiento de muchas especies, como antes se mencionó el carácter serotino del cono, rápido crecimiento juvenil y floración temprana.

Las características de especies forestales, que tienen la capacidad para competir en comunidades dependientes de incendios para prevenir el daño, para recuperarse del daño, para colonizar después del incendio y para promover el incendio en su hábitat, se pueden enmarcar como sigue.

1.- Características para prevenir el daño producido por los incendios.

Corteza aislante gruesa (muchos pinos y encinos, alerce del oeste, secuoya gigante, palo rojo).

La "etapa herbácea" en el pino de hoja larga.

Enraizamiento profundo de la raíz primaria en las plantas jóvenes (nogales y encinos de montaña).

Rápido crecimiento juvenil. Las coronas crecen sobre la zona de incendio superficial y se forman cortezas resistentes al calor (pino).

Curva basal. Las yemas en estado latente de los troncos más bajos están protegidos del incendio por una curvatura del tallo que pone a las yemas en contacto con el suelo mineral (pinos de brea, de hoja corta y otros pinos duros).

Hábito de enraizamiento con capacidad de autopodamiento. La rápida autopoda de las ramas disminuye la probabilidad de un incendio de corona, mientras que un hábito bajo o sesgado de enraizamiento y una pobre capacidad de autopoda incrementan la probabilidad de incendios de corona. Alerces, pinos y abetos Douglas se autopodan bien bajo condiciones de verticalidad, mientras que los abetos verdaderos y los pinabetes retienen sus ramas y a menudo exhiben ramas inclinadas. (Figura 6).

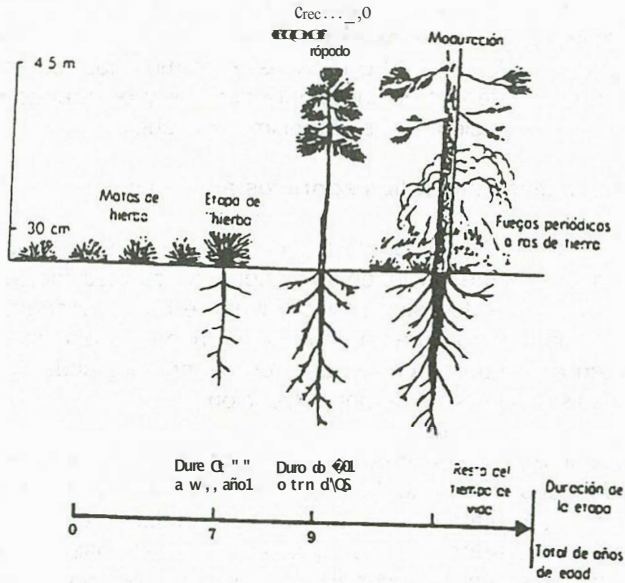


Figura 6. Etapas de desarrollo del pino de hoja larga.

Hábitos de localización de crecimiento abierto. Disminuyen la probabilidad de incendios de corona y también proporcionan menos combustible (alerce del oeste, pino ponderosa, pino de hoja larga).

Follaje vivo resistente a los incendios. Los árboles de madera dura son mucho menos inflamables que las coníferas, por ejemplo, los arces, el tilo americano, las hayas; entre las coníferas los alerces tienen un follaje menos inflamable que los pinos, abetos Douglas y verdaderos abetos.

Rápida descomposición del follaje que retarda la acumulación del combustible y reduce la oportunidad para ignición y extensión del fuego, (arce azucarero, tilo americano).

2.- Formas para recuperarse del daño producido por los incendios.

Brotación de nuevos brotes que se originan en diversas porciones de las plantas:

En el cuello de la raíz o tocón (encinos, abedul papadero, cerezo negro, especies del chaparral, palo rojo). La brotación es rara en las coníferas pero en los pinos duros (de hoja corta, de brea, de hoja larga, Virginia, Monterrey, etc.) los brotes pueden originarse de las yemas que se encuentran en estado latente ubicadas en las axilas de las agujas primarias en la base del tallo.

Los rizomas son un mecanismo de recuperación en muchas plantas herbáceas y algunos arbustos.

Las ramas yacentes son presionadas contra el piso por medio de la acción de la nieve o mantillo acumulado y producen raíces.

Las yemas que se encuentran en estado latente a lo largo del tronco inician nuevos brotes una vez que el árbol se muere (Ej. pino de brea, abeto Douglas de conos grandes y algunas especies de eucalipto).

Raíz primaria o un sistema bien desarrollada de raíces profundas. Un sistema de raíces que no se encuentra dañado provee reservas alimenticias para la rápida regeneración de los nuevos brotes (Ej. encino y nogal de la montaña).

3.- Colonización de áreas quemadas.

Producción temprana de semillas. Capacita a ciertas especies a reproducirse sexualmente donde existen cortos intervalos entre los incendios.

Semillas livianas arrastradas por el viento. Capacita a las especies a crecer a cierta distancia de donde ocurre un incendio. Por ejemplo, el álamo puede concentrarse a lo largo de los cursos de agua y lugares pantanosos, excepto cuando se producen incendios en los bosques de pino y árboles de madera dura de las tierras elevadas. La producción de muchas semillas ligeras, de aspecto algodónoso, les da acceso a lugares donde, de otra manera, no estarían disponibles para la colonización.

Conos serotinos. Conos cerrados conteniendo semillas viables y persistiendo sobre las ramas, son típicos de muchos árboles de diversas especies de pino. El pinabete negro exhibe conos serotinos, las brácteas de los conos se abren cuando están secas y se cierran con la humedad. Por tanto, la dispersión de las semillas se presenta periódicamente; algunas veces se produce en un período de dos años.

Germinación inducida por el calor. Las semillas que tienen cubiertas duras de determinadas especies de *Arctostaphylos*, *Ceanothus* y *Rhus* tienden a permanecer en estado latente en el suelo (por ejemplo el *Ceanothus* de

palo rojo puede permanecer así por más de 150 años). La germinación se ve favorecida por los incendios, ya que rompen la cubierta de la semilla y generan el calor necesario para estimular la germinación (Axelrod, 1973).

4.- Condiciones que incrementan la probabilidad de la ocurrencia de incendios.

Follaje y corteza inflamables. Las agujas de los pinos y muchas coníferas son altamente inflamables; se descomponen muy despacio y forman una buena fuente de combustible para los incendios superficiales. La corteza de determinadas especies, tales como el abedul papelera y algunas especies de eucaliptos son inflamables.

Retención del follaje. Promueve incendios de corona (Ej. abeto, cedro blanco del norte y cedro rojo del oeste, encinos juveniles).

Altura escasa. Brinda un follaje cercano a la tierra donde el incendio superficial puede extenderse a la corona {árboles jóvenes o de crecimiento lento con follaje inflamable, pino rojo (Kilgore, 1973).

EFFECTOS INDIRECTOS DEL FUEGO

Después de un fuego intenso que matará a la mayor parte o a toda la vida vegetal que se encuentra en la superficie del suelo, la vegetación que crezca posteriormente tendrá que tener estrategias de evasión del mismo, tales como semillas ligeras que puedan trasladarse fuera del área quemada, especies con sistemas radiculares perennes capaces de brindar nuevos brotes y semilla en estado latente estimuladas en su germinación por el calor. Algunas especies como helechos, encinos y enebros achaparrados de monte, se transforman en dominantes después de fuertes y repetidos incendios. Así también, los incendios regulan la acumulación de materia seca, controlando, por tanto, la aparición de nuevos y frecuentes incendios protegiendo el área de éstos.

Se observa también la disminución de flora y fauna del suelo, en contraparte de esto la población de microorganismos aumenta.

En regiones secas o cálidas, el fuego actúa como descomponedor, liberando nutrientes minerales de antiguos detritus acumulados, tan secos que no pueden actuar sobre ellos bacterias y hongos descomponedores. En tales casos el suelo realmente puede incrementar la productividad al acelerar la recirculación. Además los incendios ligeros periódicos impiden el inicio de incendios graves al mantener los detritus combustibles en una cantidad mínima. Después de varios decenios de apagar a una política de supresión estricta de los

incendios en sus bosques nacionales, las autoridades forestales de Estados Unidos están experimentando con quemas controladas como una forma de prevenir desastrosos incendios incontrolados.

También en lugares pantanosos el fuego tiene efectos provechosos, esto se debe a que cambia las propiedades físicas del suelo, o sea, incrementa el grado de infiltración siempre y cuando éste sea leve (Cautinno, 1990).

Un efecto antagónico al anterior es que los agregados del suelo pueden romperse primero por el calor y luego por las gotas de lluvia dando como resultado la pérdida de estructura del suelo. En casos extremos los suelos arcillosos pueden estar duramente cocidos y ocurriendo a la par la destrucción de los organismos del suelo.

Efectos de los incendios sobre los animales

No se ha podido determinar si mueren muchos animales durante un incendio. Algunos reportes indican que gran parte de éstos son capaces de huir o encontrar un refugio seguro durante el incendio, mientras que otros afirman que mueren cantidades relativamente grandes de animales, principalmente por sofocación.

En ambos casos se reportan índices de mortalidad y se puede considerar que los incendios matan parte de la fauna, particularmente cuando se produce un gran incendio. Además, se puede suponer diferencias estacionales en la mortalidad, así por ejemplo, los incendios primaverales son más letales porque los pájaros se encuentran incubando y los mamíferos recién nacidos no son capaces de moverse rápidamente (Bendell, 1974).

Los incendios tienen profundos efectos sobre todos los factores del hábitat. Como resultado del quemado, un área se encuentra sujeta a temperatura extrema, vientos más veloces y condiciones estivales más secas. Se produce una reducción de los lugares de anidamiento para los pájaros y las ardillas, junto con una diseminación en el alimento para los ciervos, los venados, los alces, los osos y los pájaros y roedores que se alimentan de sustancias encontradas en el piso forestal. En contraposición, un argumento a favor del uso de los incendios es el hecho de que el fuego mantiene y mejora el hábitat para las perdices. Por otro lado, los incendios periódicos permiten a los pavos establecer sus áreas de erra en bosques de sucesión temprana. Estos sitios pueden ser generadas por talas a matarasa y por regeneración natural del pino, después de un incendio. Bendell (1974) demostró que había un incremento neto del 7% en el número de especies avícolas y del 2% en la cantidad de especies de mamíferos después de un incendio. Parecería que los incendios no son responsables del incremento del número de especies

animales que utilizan un área forestal quemada pero sí son principalmente responsables de cambiar y regular la estructura de la comunidad.

Fuego y erosión

El desmonte de la vegetación en las cuencas hidrológicas permite considerar que, al disminuir la interceptación y alterar la capacidad de infiltración, provoca un aumento en la escorrentía y por tanto, un incremento en la erosión y lixiviación de nutrimentos.

A consecuencia de un incendio, el riesgo de erosión estará en función de la intensidad de arrastre del agua y viento, la tendencia inherente del suelo a erosionarse, la pendiente del terreno, la reducción infringida a la cobertura vegetal y la intensidad del incendio.

Los efectos de una quema en el periodo de lluvias, son más drásticos porque el suelo expuesto está sujeto a las lluvias torrenciales poco tiempo después del desmonte, la repelencia al agua incrementa la escorrentía, y con la falta de cobertura vegetal que sigue al incendio, se acelera el proceso erosivo.

Fuego, ciclo hidrológico y atmósfera

Las cantidades de los gases emitidos a la atmósfera como resultado de la combustión de biomasa, pueden ser magnitudes comparables a las producidas por la actividad de la industria en todo el planeta.

Menciona Brichett que en 1968, en los EE.UU., el humo de los incendios forestales y quemas prescritas contribuyeron con un 8 % a la contaminación ambiental. Sostiene también que los humos de las quemas prescritas pueden reducirse dando uso comercial a los combustibles grandes tales como troncos, a fin de que se reduzcan las emisiones al quemar menos material. En particular, a nivel regional, las quemas en selvas tropicales secas son fuentes significativas de emisiones de gases a la atmósfera (González, 1992).

Al quedar descubierto el suelo por remoción de la cubierta vegetal y el lecho orgánico del suelo, se alteran también las propiedades físicas del suelo, los incendios forestales severos producen serias alteraciones en el ciclo hidrológico. En cuencas grandes superficiales quemadas los escurrimientos pueden incrementarse debido a la falta de absorción (González, 1992).

EL FUEGO COMO HERRAMIENTA DE MANEJO

Los incendios naturales debidos a relámpagos, combustión espontánea, vulcanismo, etc., y los incendios

provocados por el hombre, han tenido una profunda y prolongada influencia en la vegetación de muchos sitios tropicales.

Buena parte de la espectacular fauna silvestre y de la gran densidad de ungulados que se ven en las sabanas tropicales, son consecuencia de los incendios. El fuego evita la regeneración de selvas y mantiene pastizales abiertos, y los ungulados se alimentan de pastos frescos.

Los fuegos que se originan por causas naturales son generalmente raros y de aparición irregular. Muchos hábitats que muestran los efectos de incendios son, o han sido en el pasado, modificados fundamentalmente por el hombre. Las sabanas del sureste asiático son, por ejemplo, creación humana. Esa vegetación clímax debida al fuego y los mosaicos moldeados por incendios, es de un gran interés biológico, pero su mantenimiento requiere de quemas regulares (Biswell, 1974).

En ocasiones el fuego puede ser usado deliberadamente en un área protegida para mantener algunas áreas de pastizales artificiales en lugares que de otro modo serían forestales; estos terrenos soportan una densidad algo mayor de ungulados y son más accesibles para la observación de fauna silvestre (Lyon, 1978).

El fuego tiene muchos usos, entre los que se pueden destacar los siguientes:

- Es una manera rápida de aclarar matorrales antes de resembrar, las quemas tempranas de pastizales son un procedimiento común para reducir el riesgo de fuegos más peligrosos y destructivos en estaciones posteriores del año.
- Las fajas quemadas actúan como corta-fuegos para reducir la expansión potencial de incendios.

El fuego es una poderosa herramienta de manejo, pero también es muy peligroso. Debe ser usado con gran cuidado y por expertos. Las quemas demasiado frecuentes, especialmente si no se hacen en el tiempo adecuado del año en áreas de baja precipitación pluvial y de suelos pobres, pueden tener un efecto contrario al deseado al suprimir pastos perennes y favorecer la incrustación de matorrales. Los efectos relativos del fuego varían con el clima, la fertilidad y humedad edáficas, otros factores locales, la estación en que se quema, su frecuencia y las condiciones del tiempo, incluyendo la temperatura ambiental y la velocidad del viento. Las quemas demasiado frecuentes pueden conducir a una dominancia florística de especies de pastos no apropiadas, como el rugoso. *Imperata cylindrica* de Asia, que es un gran problema en la actualidad. Un régimen de quemas

que en una parte del país puede conducir a la eliminación de la vegetación leñosa en favor de los pastizales perennes, en otro sitio del mismo país puede suprimir los pastos, favoreciendo el establecimiento de plantas leñosas, el enraizamiento de arbustos y la acelerada erosión del suelo (Goldammer y Seibert, 1990).

El estudio cuidadoso de los efectos del fuego bajo condiciones conocidas y la observancia de prácticas de quema regulares, proporcionarán información sobre los efectos generales de diferentes estrategias de quema en varios tipos de hábitat.

Algunas indicaciones generales sobre el uso del fuego como herramienta de manejo en un área protegida son:

- No quemar en períodos de sequía extrema.
- No quemar en condiciones de mucho viento.
- El fuego puede escaparse de control o extenderse hacia hábitats no previstos.
- Asegurar que la fauna silvestre no quede atrapada por el fuego.
- Quemar áreas pequeñas cada vez. No iniciar líneas de fuego más largas de lo que pueda controlarse.
- Cortar en lugar de quemar siempre que sea posible.
- Conocer la ecología del fuego y la historia de incendios del área. Registrar el desarrollo de todos los incendios.

En regiones donde son frecuentes incendios estacionales o periódicos menores, encontramos vegetación adaptada al fuego cuya prosperidad o incluso su supervivencia misma dependen de éste. El chaparral (bosque de arbustos enanos perennes) del sur de California y el noroeste de México, los bosques de pinos de acícula larga del sudeste de Estados Unidos; y las planicies del este de África donde vagan las grandes manadas de antílopes, son tres ejemplos bien estudiados de vegetación adaptada al fuego. En este caso el pasto no sólo está adaptado al fuego, sino que es más valioso para el pastoreo que los arbustos que tienden a aumentar en ausencia del fuego. La quema controlada puede ayudar a mantener el pastizal contra la proliferación excesiva de arbustos (Pyne, 1996).

EL FUEGO EN EL MANEJO DE LA SELVA

El grado de perturbación corte y quema en una selva del trópico seco depende de la cantidad de nutrientes

perdidos por lixiviación de la zona de raíces, de la erosión por escorrentía, de la erosión eólica y de la volatilización.

El pastoreo y la quema remueven nutrientes, de tal forma que ayudan a controlar la sucesión, restringiendo el desarrollo de los arbustos y árboles (González, 1992).

Otros factores que afectan la restauración de un bosque tras una perturbación por roza, tumba y quema son la duración de la fase de cultivo en la parcela y del período de descanso antes de repetir el ciclo de cultivo. La práctica tradicional de cultivar la parcela por dos o tres años después del aclareo, tiene como objeto aprovechar la existencia temporal de altos niveles de nutrientes en el suelo, agua y/o el complejo de intercambio de los suelos. (Figura 7).

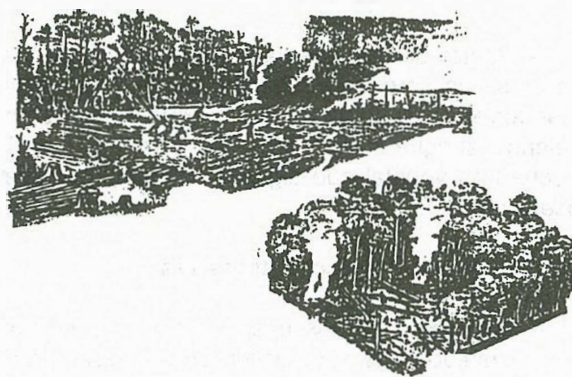


Figura 7. Sistema rosa-tumba uema utilizado en sociedades agrícolas tradicionales, utilizando el fuego como herramienta básica en el manejo del agroecosistema.

La explotación del período de alta fertilidad que resulta de la quema para producir cosechas de alimentos, sin permitir la regeneración natural en el terreno, puede inducir eventualmente a la pérdida de nutrientes y reducir el rendimiento de los cultivos. Tal situación está asociada al incremento de la presión humana sobre la tierra, que demanda el período de cultivo sea mayor y el de descanso disminuye.

La situación extrema consiste en cultivo continuo y degradación de la tierra. Antes de que ésta etapa se alcance, es necesario que se desarrollen prácticas de manejo alternativo con técnicas y equipamiento agrícola apropiado, para asegurar la productividad sostenida.

EL FUEGO Y LA CONSERVACIÓN

El fuego es una herramienta útil y accesible con fines de manejo. Por medio de la aplicación de las quemas prescritas en zonas protegidas o en tierras destinadas a recuperación pueden encontrarse como el reciclaje de

nutrimentos, la producción de biomasa o la acumulación de mantillo, con el objetivo de mantener al ecosistema estacionado en una fase sucesional determinada por conservar. (Figura 8).

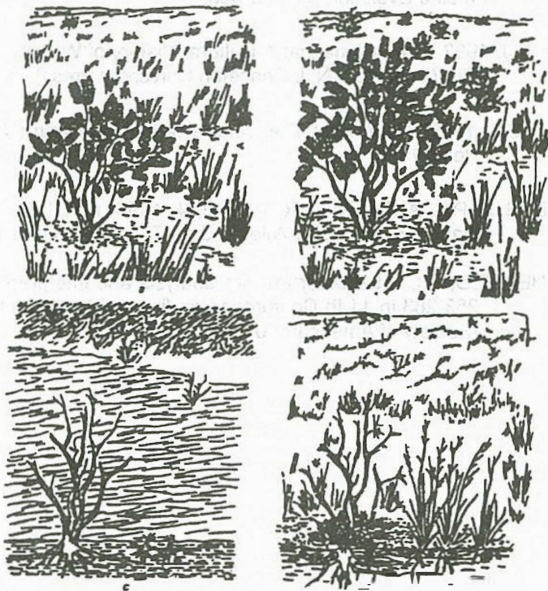


Figura 8. Los fuegos mantienen las praderas impidiendo la proliferación del mezquite y otros arbustos que constituyen una etapa avanzada de la sucesión. a) Pastizal con matorral incipiente. b) Pastizal con abundancia de matorral. c) Quema del pastizal. d) Regeneración del pastizal con aumento en el vigor del ecosistema.

Bajo sistemas de cultivo de subsistencia en los ecosistemas forestales, la productividad agrícola decae rápidamente, la tierra es abandonada lo que permite se desarrolle la vegetación secundaria. La composición de especies de tal composición varía, dependiendo del grado y frecuencia de las quemaduras y de la vegetación circundante. Si la quema es recurrente, los pastos reemplazan a la vegetación arbórea. Ello implica pérdida en la biodiversidad de ecosistemas forestales difícilmente recuperable. Al desarrollarse la sucesión vegetal comúnmente se acumulan algunos nutrientes en las fases de arbustos, cuando se presenta invasión de leguminosas que fijan nitrógeno, de tal manera que las condiciones de contenido de nutrientes se modifican y la competencia con especies invasoras impide a los organismos que ocupaban originalmente la zona el permanecer en ella (González, 1992; Nodvin, 1991).

En tanto la agricultura moderna está ocupada en maximizar la producción, aumentando la fertilidad de la tierra, sus objetivos son opuestos a los que pretende manejar los recursos con fines de conservación, quien deseará maximizar la diversidad del ecosistema o manejar la existencia de especies características aun cuando ello significa una baja fertilidad.

Definir las posibilidades de encontrar un equilibrio entre ambos propósitos, conforme a las necesidades de productividad y las exigencias de la conservación, es un reto a corto plazo para los ecólogos. Sin embargo, la pretensión de manejar el factor fuego puede ser arriesgado si se carece de la infraestructura material y de conocimientos sobre varios aspectos de este elemento y sus efectos a corto y largo plazo sobre un ecosistema.

LITERATURA CITADA

- AHLGREN, I.F. 1974. The effects of fire on soil organisms. *In*: T.T. Kozlowski and e.E. Ahlgren, eds.. *Fire and Ecosystems*. Academic, New York, p.p. 67-72
- AXELROD, D.I. 1973. History of the mediterranean ecosystems in California. *In*: F. d Costry and H.A. Mooney, Eds., *Ecological Studies 7. Mediterranean type Ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 225-277.
- BENDELL. J.F. 1974. Effects of fire on birds and mammals, *In*: T.T. Kozlowski and C.E. Ahlgren (eds.), *Fire and Ecosystems* (New York: Academic).
- BISWELL, H.H. 1974. Effects of fire. *Natl. Parks* 35: 11-14.
- CARLTON, D.W.; S.G. PICKFORD. 1982. Fuelbed changes with aging of slash from ponderosa pine thinnings. *Journal of Forestry* 80: 91-93, 107.
- CHRISTENSEN, P.E.; P.C. KIMBER. 1975. Effect of prescribed burning on the flora and fauna of Southwest Australian forests. *Proc. Ecol. Soc. Aust.* 9:85-106.
- CHRISTENSEN, N.L. 1981. Fire regimen in Southeastern ecosystems. pp. 112-136 *In*: H.A. Mooney and others (tech. Coords) *Proceedings of the Conference on fire Regimes and Ecosystem properties*, Gen. Tech. Repp. WO-26 (U.S. Forest Service).
- COOPER, CHARLES F. 1961. The ecology of fire. *Sci. American* 204 (4): 150-160.
- Coutinho, L.M. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado, pp. 82-105, in J.G. Goldammer (ed.) *Fire in the tropical Biota*, *Ecological Studies* 84 (Springer).
- COUNTRYMON C.M. 1972. The fire environment Concept (Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. U.S. Forest Service).
- FISCHER, W.C.; A.F. BRADLEY. 1986. Fire ecology of Western Montana forest habitat types. Gen. Tech. Rep. NT-141 (U.S. Forest Service).
- GOLDAMMER, J.G. (ed.), B. SEIBERT 1990. The impact of droughts and Forest fires on tropical lowland rain forest of East Kalimantan, pp. 11-31 in J.C. Goldammer (ed) *Fire in the tropical Biota* (Springer).
- GONZÁLEZ, F.P. 1992. El Manejo del Fuego en el Sistema de Roza. Tumba y Quema en la Selva Baja Caducifolia de Chamela, Jalisco. Tesis de Licenciatura: Biología. UNAM Facultad de Ciencias.
- HOUGH, W. 1926. Fire as an Agent of Human Culture Natural Museum

- Bulletin 139 (Washington, D.C.: Government Printing office)
- KILGORE, BRUCE M. 1973. The ecological role of fire in sierran conifer forests: its application to national park management. *Quaternary Res.* 3:496-513.
- KILGORE, B.M.; D D. TAYLOR. 1979. Fire history of a Sequoia Mixed Conifer forest. *Ecology* 60(1): 129-142.
- LEWIS, H.T.; T.A. FERGUSON. 1988. Yards, Corridors, and Mosaics: how to burn a boreal forest. *Human Ecology* 16 (1) 57-77.
- LYON, L.J., *et al.* 1978. Effects of fire on fauna: a state of knowledge review. National Fire Effects Workshop. Gen. Tech. Rep. No-6 (US.) Forest Service).
- MADANY, M.D.; T.W. SWETNAM; N.E. WEST. 1983. Comparison of two approaches for determining fire dates from tree scars. *Forest Science* 28 (4): 856-861.
- NODVIN, S.C.; T.A. WALDROP (eds.). 1991. *Fire and the Environment. Ecological and Cultural Perspectives* (U.S. Forest Service).
- PERRY, D.A.; J.E. LOTAN 1979. A model for fire selection for serotiny in pine *Evolution* 33: 958-968.
- Pyne, S.J. 1982. *Fire in America: A Cultural History of Wildland and Rural Fire* (Princeton, N.J: Princeton University Press)
- PYNE, S.J. 1995. *World Fire: The Culture of Fire on Earth* (New York: Henry Holt).
- PYNE, S.J.; P.L. ANDREWS; R.D. LAVEN. 1996. *Introduction to Wildland Fire*. De. John Wiley & Son. Toronto Canada. pp. 769.
- ROTHERMED, R.C. 1991b. Crown fire analysis and interpretation, pp. 253-263 in 11th Conference on fire and forest Meteorology (Society of American Foresters).