

Costes y Beneficios de la Reducción de la Producción de Sedimentos Procedentes de los Incendios Forestales Mediante la Quema Prescrita: Estudio del Caso del Incendio de Kinneloa¹

Armando González-Cabán,² Peter Wohlgemuth,³ John B. Loomis,⁴
David R. Weise³

Resumen

Los Bosques Nacionales del sur de California contienen ecosistemas susceptibles a sufrir incendios y cuencas propensas a sufrir la erosión que sigue al fuego. Tomando como estudio de caso el incendio de Kinneloa, cerca de Pasadena CA, de 2.348 hectáreas y de las cuencas asociadas de basura y rastrojos, encontramos que un incendio forestal tras un largo intervalo de tiempo dio como resultado 2,5 millones de dólares de gestión de sedimentos y costes de recuperación de cuenca para varias Agencias de condados, estados y agencias federales. Los costes de la extinción del incendio alcanzaron 7.000.000 de dólares. Se perdieron 26 millones de Dólares en pérdidas de actividades de ocio debido al cierre forzoso de la zona abierta a la pública. El coste total del incendio de Kinneloa ascendió a 9.721 millones. Un análisis de la regresión múltiple del intervalo del incendio y la producción de sedimentos que provocó, indicó que la reducción del intervalo del incendio que pasó de una media de 22 años a una intervalo de quema prescrita de cinco años, reduciría la producción de sedimentos en 2 millones de metros cúbicos en los 86,2 kilómetros cuadrados de la cuenca y del adyacente Bosque Nacional de Ángeles. El ahorro consiste en la disminución del transporte de sedimentos a los depósitos de basura y rastrojos redujeron la necesidad de estructuras de emergencia para la protección de las infraestructuras. También se disminuyen el día de ocio perdidos a causa de los cierres de emergencia por incendio en las zonas de recreo de la cuenca. El importe de los ahorros directos en las Obras Públicas del Condado de los Ángeles en términos de la disminución de recogida de basura y rastrojos de la cuenca ascendería a 24 millones de dólares. No se han incluido en este análisis los efectos ecológicos de una quema prescrita a intervalos de cinco años.

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el segundo simposio internacional sobre políticas, planificación, y economía de los programas de protección contra incendios forestales: una visión global, 19–22 Abril, 2004; Córdoba, España.

² Economist with the Fire Management in the Wildland/Urban Interface Research and Development Program at the Forest Fire Laboratory, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, 4955 Canyon Crest Drive, Riverside, CA 92507; Phone: 909.680.1525; email: agonzalezcaban@fs.ed.us.

³ Hydrologist and Research Forester respectively with the Prescribed Fire and Fire Effects Research Work Unit at the Forest Fire Laboratory, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, 4955 Canyon Crest Drive, Riverside, CA 92507; email: pwohlgemuth@fs.ed.us; email: dweise@fs.fed.us.

⁴ Professor, Department of Agricultural and Resource Economics, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523; email: John.Loomis@colostate.edu.

Introducción

Los incendios forestales constituyen una de las principales causas de la aceleración de la erosión en las cuencas municipales de las zonas abruptas de entorno forestal del área urbana de la zona situada entre montañas y suroeste de los Estados Unidos. Un ejemplo claro es el sur de California. Varios cientos de miles de residente llaman hogar a las montañas del sur de California. Son varios los millones de personas en busca de actividades de ocio todos los años. Estos dos grupos, valoran las estéticas de las montañas y los bosques. Sin embargo, estos bosques contienen ecosistemas expuestos a los incendios y muchas cuencas que pueden sufrir la erosión después de los incendios. Esta ponencia presenta una metodología de estimación de los costes y beneficios que representa utilizar la quema prescrita para reducir los sedimentos de la erosión ocasionada por los incendios forestales en estas cuencas y ecosistemas asociados expuestos al fuego.

El ahorro en del coste es el resultado de una disminución en el transporte de sedimentos a los depósitos de basura y rastros y a una menor necesidad de estructuras de emergencia para la protección de las infraestructuras tales como barreras de contención de sedimentos o construcción de canales. También se economiza con una menor protección de las cuencas y una recuperación por hidro cultivo y reduciendo la pérdida de días de visita de los excursionistas dado los cierres obligados de emergencia por incendios de los servicios de recreo.

Esta ponencia facilita estimaciones cuantitativas de la reducción de sedimentos y del ahorro en los costes asociados para la compañía. Mediante la quema prescrita para lograr un régimen de incendios más frecuentes y de menor intensidad en la interfase forestal y urbana de las montañas de San Gabriel. Se recurre el incendio de Kinneloa (1993) para demostrar la aplicación de la metodología para analizar la gestión ordenada del fuego para sí determinar los costes que se evitaría si se utilizara la quema prescrita.

Revisión de la literatura

Durante décadas, el fuego y la erosión han constituido un tema espinoso de preocupación para la gestión ordenada del fuego.

En el Bosque Nacional Ángeles la erosión tras los incendios en las Montañas San Gabriel ha constituido una gran preocupación desde la Segunda Guerra Mundial cuando se investigaron los daños potenciales causados por una mayor escorrentía y erosión después de un incendio forestal (Buck et al. 1948). Algunos años más tarde Row et al. (1954) realizaron un análisis hidrológico de los efectos del fuego sobre las descargas procedentes de las cumbres en las Montañas de San Gabriel del sur de California. Encontraron que la erosión tras un año después del incendio alcanzaba una media de 35 veces los niveles de la superficie no quemada.

Durante los últimos 50 años, estas preocupaciones se han incrementado drásticamente al mismo tiempo que crecía el desarrollo de la interfase forestal y urbana. El riesgo de incendio no es el único riesgo al que tienen que enfrentarse cada vez más viviendas y sus bienes en la interfase forestal y urbana, pero los que sobreviven al fuego, se enfrentan a los riegos que siguen a los incendios en forma de flujos de basuras, rastros y sedimentos. Wells y al. (1987) demostraron que los

incendios al sur de California aumentaron la sedimentación en más de un orden de magnitud comparado con las zonas no quemadas.

En ciertas cuencas, el coste de la erosión después del incendio y de las basuras y rastrojos es mayor y viene añadirse al del sistema de suministro de agua. Se ha visto cada vez más que después de los incendios las basuras y rastrojos acaban en los depósitos de agua, tal como ha ocurrido últimamente después del incendio de Buffalo Creek a las afueras de Denver, Colorado. El exceso de sedimentos dio lugar a una disminución de la capacidad de almacenamiento de agua en el depósito y un aumento de los gastos de tratamiento (Martín y Moody 2001; Holmes 1988; Moore y McCarl 1987). Todos estos costes han llevado a la búsqueda de formulas para reducir esta sedimentación esporádica y las basuras y rastrojos que se producen después de un incendio forestal. Después de los incendios se aplican diversos tratamientos para reducir estos incidentes (Robichaud et al. 2003). Wohlgemuth et al. (1999) se encontraban entre los primeros que sugirieron que uno de los muchos beneficios de la quema prescrita sería el de constituir una herramienta de gestión de los sedimentos. Se hizo un cálculo de la reducción de sedimentos en zonas ya previamente objeto de una quema prescrita antes de sufrir un incendio. Se observó la existencia de entre una décima y una veintena parte de sedimentos procedentes de zonas en donde e había llevado a cabo una quema prescrita en comparación con zonas que no habían sido objeto de quema prescrita antes del incendio forestal. Los objetivos de la investigación aquí presentada son: (1) probar la hipótesis de que varios incendios seguidos llevarían a una reducción estadísticamente significativa de la producción de sedimentos en una mayor serie de cuencas a lo largo de las Montañas de San Gabriel; (2) cuantificar en términos monetarios el ahorro que puede resultar de la quema prescrita en la cuenca de Kinneloa.

Zona Estudiada y Valores en Riesgo

La zona estudiada comprende las cuencas del pie de la Montañas del condado de los Ángeles abarcando el Bosque Nacional de los Ángeles y las tierras privadas adyacentes (86 km²), popularmente conocidas como Montañas de San Gabriel. En su conjunto, la zona tiene 57.227 casa, con un valor medio de 241.300\$. La zona estudiada se eligió por ser típica de la zona de interfase forestal y urbana donde existen casas situadas en ecosistemas expuestos al fuego y terrenos privados junto a fincas públicas. Estas cadenas montañosas y cañones son bastante escarpados con gradientes de elevación de 150 a 850 pies por milla. El Chaparral, un matorral compuesto por múltiples especies de la zona, es un conjunto de variedades vegetativas inflamables (Moreno y Oechel 1994). La zona está sometida a fuertes vientos (20 m s⁻¹) en otoño que a menudo provocan periódicamente incendios devastadores en una o más zonas del sur de California, seguidos de lluvias invernales que rápidamente llenan los depósitos de basuras y rastrojos con sedimentos. Este modelo puede alterarse por el uso de quemas prescritas a intervalos regulares. Es probable que la cantidad adicional de basuras y rastrojos de una quema prescrita fuera bastante pequeña como para poder eliminarse a través de desagüe normal des depósito de basuras y rastrojos, evitando así la necesidad de limpiezas de emergencia. Y más importante aún, la frecuente quema prescrita podría reducir la intensidad de cualquier incendio que se produjera en la cuenca, reduciendo así los combustibles disponibles. De erosión a causa de la lluvia. Los incendios de menor intensidad dejaron en pie algunos de los arbustos más grandes y a los árboles y junto con el

sistema radicular intacto reducirán la erosión provocada por la lluvia. Por lo tanto, la cantidad de material producida después de un incendio forestal se reduciría enormemente, evitando los costes de las limpiezas de emergencia.

Para poder demostrar estas ideas, hemos realizado un análisis a la vez hidrológico y económico. El primer paso de este análisis era determinar estadísticamente si los sedimentos y los flujos de las basuras y rastrojos podían reducirse mediante fuegos repetidos. Si encontramos una relación estadísticamente significativa, se puede conocer la disminución de los gastos de una limpieza más reducida de los sedimentos y de la urgente recuperación de la cuenca.

Análisis Estadístico de la Relación entre la Frecuencia de los incendios y la Formación de sedimentos

Datos Hidrológicos

Se recogieron datos de la acumulación de sedimentos en los depósitos de basuras y rastrojos de 41 cuencas en la vertiente sur de las Montañas de san Gabriel en el condado de los Ángeles. Se registraron las características topográficas, los historiales de los incendios, las precipitaciones y la formación de sedimentos en los depósitos de basuras y rastrojos en la cuenca en un periodo entre 30 y 60 años dependiendo de la edad del depósito de basuras y rastrojos. Sin embargo, conviene señalar que ninguno de los incendios recogidos en la base de datos son quemas prescritas. Utilizamos los incendios forestales como experimentos naturales para simular lo que sucedería con la quema prescrita. Reconocemos que los incendios forestales normalmente arden con mayor intensidad que las quemas prescritas, por ello las disminuciones de sedimentos asociadas a los incendios forestales repetidos pueden variar si se las compara con las secuencias de las quemas prescritas. No obstante, pensamos que es muy interesante utilizar los datos de este experimento natural y es muy representativa para valorar un régimen equivalente de quemas prescritas.

Modelo de Formación de Sedimentos

Al sur de California la cantidad de sedimentos producida por una cuenca es el resultado de una compleja serie de interacciones entre el lugar físico y las características del incendio lo que equivale a una respuesta dada. Las características de un incendio están integradas por el porcentaje de la zona quemada, la intensidad del incendio y la época del año. En esta zona, La intensidad del incendio es alta y muy alta. Mientras que la época del año es verano u otoño por lo que existe poca diferencia entre las dos variables. Sin embargo, existe una variación respecto al porcentaje de la cuenca quemada. Una forma de modelar la interacción entre factores físicos, hidrológicos y del incendio, es utilizar un doble enfoque de la cuenca. De forma específica, en las cuencas sometidas repetidamente a incendios, se puede hacer una comparación de la situación antes y después del fuego para asegurar el efecto del periodo sin incendios, registrando el valor de las precipitaciones y demás influencias. Este enfoque nos permite determinar el efecto sobre las formaciones de sedimentos procedentes de fuegos anteriores sobre las superficies quemadas con el fin de estimar la disminución de sedimentos como una función del tiempo transcurrido desde el incendio, porcentaje de la zona quemada, características de la cuenca y frecuencia y tipo de las precipitaciones. Dado que existen muy buenas comparaciones entre

formación de sedimentos en zonas quemadas y no quemadas para cerca de 41 cuencas, se estima la formación de sedimentos con una regresión múltiple, en tal caso la ecuación se utiliza posteriormente para calcular las respuestas del sedimento para diversos escenarios de los periodos sin incendios. La disminución resultante del sedimento puede utilizarse en el análisis económico de la bajada de los costes en la reducción de sedimento en comparación con el coste de la quema prescrita.

Métodos Estadísticos de Análisis

Se utilizó un análisis de regresión múltiple para estimar la acumulación de sedimentos como función de control de los periodos sin incendios para otras variables. Específicamente la ecuación estimada es:

$$\ln(S) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{FireInterval}) + \beta_2 \ln(\text{RainLag}) + \beta_3 \ln(\text{TotalRain}) + \beta_4 \ln(\text{ReliefRatio}) + \beta_5 \ln(\text{Burned}\%)$$

donde S es igual al sedimento depositado pro km², *Periodo sin fuego (FIRE intervalo)* es igual al número de años sin incendios; *Retraso Pluvial (RainLag)* es igual al numero de días que hay entre el incendio y la primera lluvia importante (definida como 12,5 mm (0,5 pulgadas) o más); *Lluvia Total (TotalRain)* es igual a la cantidad total en mm de las 5 lluvias más importantes caídas en el año siguiente al incendio; *Índice de Descarga (ReliefRatio)* es igual al índice de inclinación de la cuenca; *%de superficie quemada (Burned%)* es igual al porcentaje de la Cuenca quemada.

Resultados Estadísticos de la Regresión

Los resultados del modelo de regresión múltiple son bastantes significativos. Algo más del 50 por ciento de la variación en los sedimentos a partir de 66 observaciones se puede explicar por las 5 variables independientes (*tabla 1*). Cuanto más largo es el periodo sin incendios que precede a un fuego, mayores serán los sedimentos que se acumulen en el depósito de basuras y rastros durante el año del incendio. Dado que las variables dependientes se expresan en forma de logaritmos naturales, los coeficientes pueden interpretarse como elasticidades. Así pues, una disminución del 1 por ciento en el número de años entre incendios (p.e., periodo sin incendios) lleva a una disminución de 0,577 de sedimentos por año. Pueden existir signos de otras variables, i.e., cuanto más alto es el porcentaje de cuenca quemada (*Burned%*) y mayor haya sido la lluvia caída ese invierno (*TotalRain*) mayor será el flujo anual de sedimentos acumulados en el depósito de basuras y rastros.

Tabla 1— Resultados de la regresión en el modelo de sedimento incluyendo el sedimento inferido para el sedimento reportado cero.

Variable	Coficiente	Error estándar.	MediaVarL VarL	Pr > t
Constante	6.6611	1.0901	1.0000	0.0000
Ln(<i>Periodo sin Incendios</i>)	0.5772	0.1847	3.1113	0.0027
Ln(<i>RetrPuvial</i>)	-0.3372	0.1477	3.6376	0.0260
Ln(<i>índice de descarga</i>)	0.8237	0.5499	-1.1793	0.1394
Ln(<i>LluviaTotal</i>)	1.3852	0.2715	3.2958	0.0000
Ln(%)	0.6141	0.1749	-0.3355	0.0009
R-cuadrada	0.5551	Variable dependiente media		8.5566
R-cuadrada-ajustada	0.5180	S.E. de regresión		1.0447
F-estadística	14.9720	Prob. (F-estadística)		0.0000

Utilizando la Ecuación de Regresión como Modelo de Simulación de Sedimento para la Quema Prescrita

Se utilizó la ecuación de regresión para pronosticar la reducción de los sedimentos por km² en caso de disminución del periodo sin incendios pasando de la media actual de periodo sin incendio de 22,45 años para acortar los periodos sin incendios a 5, 10, y 15 años. Esto se hace cambiando el nivel de la variable Ln(*Periodo sin Incendio*). Utilizamos la ecuación de regresión de la tabla 1 manteniendo las demás variables en sus respectivas medias, para llevar a cabo una simulación del efecto de distintos periodos sin incendios sobre la producción anual de sedimentos (tabla 2).

Tabla 2—Sedimento anual por km² con Periodos sin Incendios de más de Cinco Años

Periodo sin incendios (Años)	Producción de sedimentos (m ³ km ⁻²)	
	Después del incendio	ΔS
5	17166	
10	25614	8448
15	32367	15471
Actual (22)	40843	23677

La Tabla 2 puede leerse de una de las dos maneras. Primero, hay aumentos manuales importantes de sedimento si el periodo sin incendio supera los cinco años (tabla 2). Dado que el problema proviene de la cantidad de sedimento descargado en un momento dado, podría disminuirse el coste reduciendo las cantidades máximas de sedimento que se acumulan. Esto puede lograrse con un periodo sin incendios de cinco en cinco años más que de 22 años – que es la media en la serie de datos. Con un periodo sin incendios de 5 años en vez de 22 años, la reducción anual de sedimentos es de 23.677 m³ utilizando la regresión ajustada del sedimento de la tabla 1. En toda la zona estudiada (86 km²), un periodo sin incendios de 5 años, reduciría la descarga anual de sedimentos en los depósitos de basura y rastros de Loa Ángeles en 2 millones de m³ cada año. Alternativamente se puede utilizar la información de

la tabla 2 para calcular la reducción de sedimentos con un periodo de 10 años sin incendios, comparado con la media actual de 22 años de periodo sin incendio. Un periodo sin incendios de 10 años, daría como resultado, una reducción de sedimentos de 15.229 m³ por año. Alternativamente puede utilizarse la información de la tabla 2 para calcular la reducción de los sedimentos con un periodo sin incendios de 10 años comparado con la media actual de 22 años de periodo sin incendios. Un periodo sin incendios de 10 años, daría como resultado una disminución de los sedimentos de 15,229 m³ km⁻². Teniendo en cuenta otras consideraciones de uso múltiple como plantas autóctonas y viabilidad animal, un periodo sin incendios de 10 años puede ser el óptimo.

Disminución de los costes por reducción de sedimentos

Costes de Limpieza del depósito de basuras y rastrojos de Condado de Los Ángeles

El principal ahorro en los costes por una menor acumulación de sedimentos se atribuye a una reducción de los gastos de limpieza del depósito de basuras y rastrojos del Departamento de Fomento del Condado de los Ángeles. Los gastos de limpieza de los 41 depósitos de basuras fueron abonados por el Departamento de Obras Públicas desde los años 1969 a 1995. Debido a la inflación, estos gastos se actualizaron a dolores del 2000 \$. El coste medio en los 41 depósitos y todos los años se aproximaba a 12 dólares por yarda cúbica, con unos costes que oscilan entre 2,48 \$por yarda cúbica (1 m³ = 1.308 yd³). Parte de esta variación en los costes puede depender de la distancia que tienen que recorrer los sedimentos extraídos. Esto va de un mínimo de media milla hasta un máximo de siete millas. Parte de esta variación del coste se debe la humedad del sedimento en el momento de su transporte (comunicación personal con Loreto Soriano, Departamento de Obras Públicas del Condado de Los Ángeles; 1 de agosto 2002). Si justo después de los incendios cae una lluvia intensa, ésta puede arrastrar grandes cantidades de material a los depósitos de basuras y rastrojos y llenar así los depósitos. Si esto sucede al principio de la estación las lluvias, este material deberá extraerse con rapidez para dejar espacio libre. La extracción de este material cuando está húmedo obliga a cargar los camiones sólo hasta la mitad por su peso. Lamentablemente, no se dispone de datos sobre el contenido acuoso del sedimento.

Utilizando el coste medio de \$11.87 por yarda cúbica, el ahorro en costes directos para el Departamento de Obras Públicas del Condado de los Ángeles de una reducción anual de 2 millones de yardas cúbicas de sedimento asociada a un periodo sin incendios de cinco años, sería de 23.74 millones de \$.

Actividades de Recreo en Zonas Forestales en riegos

Las zonas residenciales privadas de la cuenca están rodeadas por los Montes Naciones de los Ángeles. En su conjunto, este Monte Nacional recibe una cantidad estimada de 3.5 a 4 millón de visitante al año, siendo unos de los Montes Naciones más visitados de California (Servicio Forestal de Usa, 2001) las visitas en calidad de recreo al Monte Nacional de Los Ángeles representan 15 por ciento de todas las visitas a los Montes Nacionales de California (Servicio Forestal de USDA 2001). En nuestra zona de estudio hay cinco zonas de camping y 21 destinada a zona de merienda. Estos lugares están provistos de mesas para comer, de aseos y fuentes de

agua. Hay también 15 campamentos de senderismo por el interior equipados con mesas y parrillas para hacer barbacoas. Es zona tiene además de 20 senderos para excursiones a pie. Contando con todos estos servicios, no sorprende que las actividades más comunes sean el senderismo y los picnics.

Para poder estimar el uso en actividades de ocio que se hace de estos servicios en la zona en cuestión, se han extraído datos del Seguimiento del Uso de los Visitantes al Servicios Forestal Nacional (NVUM). Se ha hecho un muestreo específico por día en los puntos de acceso a la Zona Forestal General (GFA's), Lugares acondicionados para uso Diurno (DUDS) y Nocturno (OUDS) en los que El Servicio Forestal USDA ha realizado un muestreo dentro de la zona estudiada. La duración media de las vistas, oscila entre un día para los lugares de uso diurno para actividades de recreo en la zona forestal y de algo más de un día (1,14) para aquellos lugares de uso nocturno. Teniendo en cuenta el factor de la duración de las estancias, las 1.038.381 visitas estimadas a nuestra zona estudiada, representan 1.049.315 días de visita.

Utilizamos un informe del Servicio Forestal de USDA que refleja la clara disposición de los visitantes de pagar por días, haciendo un cálculo de TCM y estudios evaluación del contingente por cada tipo de actividades que se ofrecen en la zona objeto del estudio (Rosenberger y Loomis, 2001). La tabla 3 de Rosenberger y Loomis (2001: 13) nos facilita el precio de la entrada por días a la zona geográfica estudiada, Los Estados de Costa del Pacífico de California, Oregon y Washington. El precio diario según los estudios de que se supone son, 28,95\$ para hacer Picnic, 22,87 \$ por hacer senderismo y 77,27 \$ para acampar. Estos precios son muy similares a los que se cobran a nivel nacional por las mismas actividades (Rosenberger y Loomis, 2001: 4). En la situación utilizada como punto de referencia, tiene los días visita divididos por lugares (p. e., lugares para uso diurno y lugares para uso nocturno) y actividades generales de recreo en las zonas forestales. Teniendo en cuenta los datos de nuestro estudio anteriormente citados, aproximadamente el 10% de los visitantes a los lugares de Uso Nocturno acamparon, 30 % fueron de Picnic y 60% hicieron senderismo, utilizamos esta mezcla de actividades para evaluar los días de visita en los lugares de Uso Nocturno. La media ponderada del precio de hacer senderismo, picnic y camping se utilizó para calcular el número total de días de visitantes al año y el precio total anual de las actividades de recreo en la zona estudiada. (Tabla 3. El valor ponderado es el porcentaje de usuarios para cada una de las tres actividades de recreo.

Tabla 3—Estudio existente sobre la zona de visita y su precio

Tipo de Centro	Visitas totales al año	Días de visitas al Año	Precio por Día	Ingresos Totales de la Zona de Recreo
Lugar de utilización nocturna	78,100	89,034	\$30.13	\$2,682,944
Lugar de uso diurno	362,113	362,113	\$28.95	\$10,483,159
Zonas forestales de recreo.	598,169	598,169	\$22.87	\$13,680,120
TOTAL	1,038,381	1,049,315		\$26,846,223

Los ingresos de la zona recreativa que están en peligro de incendios son de 26.8\$ millones. Esto es bastante considerable, y nos sugiere la posibilidad de evitar los cierres de las zonas de recreo debido a incendios o inundaciones después de éstos, pues es un beneficio potencial suficientemente importante para evitar los incendios devastadores en la zona estudiada.

Comparación de Beneficios con respecto al Coste entre Períodos de Cinco y Diez años sin incendios

Mientras que la tabla 2 indica que un periodo sin incendios de 5 años tuvo como resultado una mayor redacción del sedimento anual que el periodo de 10 años, esto no consideraba otros recursos de utilización múltiple ni otros costes. Quizá un periodo sin incendios de cinco años sea demasiado corto para que tengan una regeneración suficiente de especies de vegetación críticas para mantener la integridad y biodiversidad ecológica los bosques de chaparral en el Sur de California. Los cambios potenciales de vegetación que se alcanzan con un periodo sin incendios de cinco años y los cambios asociados de producción de sedimentos que se consiguen no han sido incluidos en este estudio. Esto podría afectar negativamente la fauna que depende de una vegetación más madura. Además, la quema prescrita resulta cara. Dada la acumulación de combustibles durante una media de 20 años sin incendios, la quema prescrita inicial requiere recursos significativos para tomar muchas precauciones. Los costes de los bosques nacionales en el sur de California alcanzan una media 250\$ por acre para estas quemas iniciales (Walker, 2001) Las quemas siguientes a los 5 ó 10 años serían menos costosas, quizá un 50%. Además de los ahorros relativos a la cuenca, la quema prescrita reduciría la necesidad de cierres prolongados en las zonas de recreo después de los incendios forestales.

En la sección siguiente calculamos los beneficios de las zonas de recreo que se han perdido a causa de un incendio forestal en el Sur de California. La tabla 4 presenta los resultados de un análisis del valor actual neto de la reducción de costes relativos a la cuenca y las zonas de recreo en un periodo sin incendios de 5 y 10 años, a lo largo de 20 años. Seleccionamos 20 años porque esta es aproximadamente la media de tiempo que transcurre entre los incendios forestales en un lugar de nuestra base de datos. Este análisis comprara los beneficios de reducción de sedimentos de un incendio al vigésimo año con y sin quema prescrita anterior cada 5 y 10 años. (Por supuesto es posible que la quema prescrita anterior reduciría la posibilidad de un incendio o reduciría el alcance de la zona quemada por un incendio forestal –no podemos cuantificar estos beneficios) Utilizando las reducciones de sedimentos de la tabla 2 y el coste por yarda cúbica, calculamos la cantidad de sedimentos que se acumularían al vigésimo año después de un incendio forestal sin ninguna quema prescrita previa comparada con el sedimento en el vigésimo año incluyendo un programa de quema prescrita al cabo de diez años y al cabo de cinco. Los beneficios al vigésimo año después de un periodo sin incendios de cinco años serían de 281,046\$ y con un periodo sin incendio de 10 años sería de 180,768\$. Utilizando el índice de descuento del Servicio Forestal USDA de 4%, esto produce una disminución del coste al vigésimo año después de un periodo sin incendios de cinco años de 128,266\$, y de 82.500\$ para un periodo sin incendios de diez años. A esto añadimos el valor actual de evitar el cierre de la zona de recreo por KM2 calculando los datos de utilización de la zona y los precios por día descritos en la tabla 3 y en el estudio de caso en la sección siguiente. En términos de los costes iniciales de la quema prescrita, utilizamos la multiplicación de 200\$ por acre y 247 acres por KM2.

Las quemas prescritas utilizaron un 50% de este coste por acre y luego hubo un descuento del 4% durante el año en el que volvió a ver un incendio; los resultados se muestran en la tabla 4.

Considerando solamente la disminución de costes de la cuenca y del cierre de la zona de recreo que se evita, el periodo sin incendios de 10 años ofrece el valor neto actual más alto. Esto significa que el valor actual de los beneficios de 1 quema prescrita rebasa el valor actual de los costes. Un periodo sin incendios de 5 años tiene un valor actual neto negativo bajo. Si existen otros costes de utilización múltiples asociados con un periodo sin incendios más corto, el periodo sin incendios de cinco años podría tener un valor actual neto negativo a un mayor. Dados los datos de que disponemos, parece ser que un periodo sin incendios de diez años sería más eficaz con respecto al coste.

Tabla 4—Valor Actual Neto de Periodos entre quemas prescritas de 5 y 10 años

Periodos sin incendios (años)	<i>Valor Actual de Reducción de coste por km²</i>		PV de quemas prescrita coste/km ²	Valor actual neto/km ²
	Ahorro en la Cuenca	Zonas de Recreo		
5	\$128,266	\$8,802	\$138,679	-\$1,611
10	\$82,500	\$8,802	\$82,608	\$8,694

Estudio de la Disminución de Costes Evitados por la Quema Prescrita en el Caso del Incendio Forestal Kinneloa

A fin de demostrar cómo se podría utilizar este enfoque para el análisis de gestión de incendios, lo aplicamos a un estudio de caso de un incendio, a fin de determinar los costes que se podrían haber evitado potencialmente si se hubiera realizado un programa de quema prescrita. Dado que no podemos determinar el tamaño ni las pérdidas de un incendio potencial en la zona tratada, vamos a suponer que todos los costes de extinción asociados a este incendio podían haberse evitado. En este análisis, esto sería la disminución de costes asociado con este incendio que podría haberse evitado con el programa de quema prescrita. El incendio Kinneloa quemó alrededor de 2.348 Ha (5.800 acres) en la zona estudiada (1429 de bosque nacional y 919 de terreno privado y del condado) en octubre 1993. Dado que la zona del incendio corresponde directamente a la Cuenca Kinneloa y los dos contenedores de basura, resulta muy útil para utilizarlo como estudio de caso. Lo utilizamos para examinar cuáles han sido los costes a nivel federa, estatal, regional y de dos ciudades para realizar un control de sedimento después del incendio y de rehabilitación de cuenca. Estos son costes que podían haberse evitado posiblemente si se hubiera reducido el largo periodo sin incendio (63 años) a un periodo de cinco años.

La disminución de los costes o beneficios de estas reducciones de sedimento fueron cuantificada recogiendo datos sobre: a) Coste de a Agencia Federal de Gestión de Emergencias (160.000\$); b) Coste del Servicio de Conservación de Recursos Naturales USDA, obras públicas del condado de Los Ángeles así como de las ciudades Pasadena y Sierra Madre para las zonas residenciales, otros terrenos probados, la protección del agua potable, las calles y otras infraestructuras (Servicio

de Conservación de la Tierra USDA, 1994), evitando la necesidad de la hidro-siembra barreras para contener la basura, y la construcción de canales para las inundaciones (1.700.00\$); Coste del Servicio Forestal de USDA para el bosque nacional de LA en cuanto a la rehabilitación de la zona de la Cuenca quemada (USDA Servicio Forestal, 1995) por evitar la siembra aérea (600.00\$); y las pérdidas en las zonas de recreo.

El incendio Kinneloa tuvo como resultado el cierre de 6 itinerarios de senderismo desde el 27 de octubre hasta la primavera siguiente cuando terminó la temporada de lluvias. Estos seis itinerarios eran clasificados como zona forestal general aunque contenían varios campamentos de senderismo (MT. LOWE, HOEGEE'S, Idlehour) La mayor parte de los itinerarios de senderismo se encuentran en el entorno forestal del área urbana y están a escasa distancia de las carreteras principales (I-210) y a varias millas de las zonas residenciales. Por lo tanto, durante los fines de semana utilizamos las estimaciones de la media de visitantes por día para el "nivel de uso moderado" pero, a fin de utilizar un cálculo conservador, utilizamos el nivel bajo de utilización" para los días entre semana. Es decir, que alrededor de 210 días de visita se calculan para los fines de semana y las vacaciones, y 20 en los días laborables. El período de cierre empezó el 27 de octubre de 1993 y se amplió hasta el final de la temporada de lluvia de marzo, por razones de seguridad dada la preocupación de peligro de inundaciones en las zonas quemadas. Los resultados, aplicando el índice de visitas diarias al número de días laborables, fines de semana y vacaciones durante este periodo, dan como resultado una pérdida estimada de 11.339 días de visita. Dado que la utilización de recreo más importante en el área forestal general es el senderismo y la zona cerrada era sobre todo de senderos, vamos a utilizar el valor de beneficios transferidos de Rosenberger u Loomis (2000:13) para el senderismo. Utilizando este precio diario de 22,87\$, las pérdidas de beneficios relativos a las zonas de recreo ascendieron a 261,582\$ (tabla).

Creemos que esta cifra representa una pérdida neta de beneficios de las visitas porque los lugares son la zona de recreo más próxima a los sitios donde vive mucha gente. Dado que no se cerraron lugares más distantes, el coste adicional del desplazamiento y el tiempo de desplazamiento para alcanzar estos lugares reduciría los beneficios netos o excedentes de consumidores de estas personas que tenían que hacer un largo viaje para llegar a la zona. Además, dado el alto nivel de demanda durante los fines de semana y los días de fiesta en la zona de los ángeles, los demás senderos disponibles serían seguramente utilizados al máximo de su capacidad. Los intentos de las personas desplazadas para ir a zonas no quemadas también llevaría a una reducción de los beneficios netos si no hubiera un aparcamiento adecuado para acomodar a las personas desplazadas, o en casos en que hubiera aparcamiento, un aumento en el embotellamiento causado por las personas desplazadas hubiera reducido los beneficios diarios. No sólo las personas desplazadas a estos itinerarios de senderismo han recibido menos beneficios en una experiencia de mayor embotellamiento, sino que también ocurriría esto con las personas de los itinerarios que permanecían abiertos.

Tabla 5—Pérdidas de valor en la zona de recreo debido al Cierre a causa del Incendio Kinneloa

	Fin de Semana	Días Laborables	Total de Días
Índice de Visita	210.7	19.7	
Días de Cierre	44	110	154
Días de Visita	9270.80	2167	11,438
Precio por D	\$22.87	\$22.87	\$22.87
Total en zona de Recreo	\$212,023	\$49,559	\$261,582
Pérdidas			

Resumen del Estudio de Caso Kinneloa

Calculándolo en \$ del 2001, la disminución en costes de gestión de la cuenca anteriormente citada en cuanto de (a) a (c) de evitar el incendio forestal de Kinneloa hubiera alcanzado un total 2,46\$ millones. Las pérdidas en zonas recreativas hubieran sido de 261.582\$. Además, los costes de extinción del incendio forestal ascendieron a 7\$ millones (2981Ha) (Servicio forestal de EEUU, 1995) que podrían haberse evitado. El coste de la quema prescrita en las montañas de l Sur de California es de una media de 250\$ por acre (617,5Ha) (Walker, 2001) La quema prescrita de 5.800 acres en la zona de incendio forestal de Kinneloa costaría 1,45 \$ millones inicialmente y una cantidad equivalente que se descuenta cada vez. Utilizando el índice de descuento del Servicio Forestal de EEUU de un 4%, una quema prescrita inicial seguida por quemas prescritas posteriores, después de 11 y 21 años, tendrían un valor actual de costes de 3\$ millones. El valor actual de los 9.721\$ en beneficios por evitar el incendio Kinneloa a lo largo de ese periodo 22 años sería de 4.26\$ millones. Es decir, que si hubiera tres quemas prescritas a lo largo de un periodo de 22 años, habría un valor neto positivo actualmente.

CONCLUSIÓN

Esta investigación demuestra un enfoque que se puede utilizar con una frecuencia de incendios previos y datos sobre la erosión a fin de realizar una estimación sobre la relación entre los periodos sin incendios y la producción de sedimentos. En la zona estudiada, en el entorno forestal del área urbano, de las Montañas de San Gabriel al Sur de California, encontramos una relación significativa desde el punto de vista estadístico en la relación entre el periodo sin incendios y la producción de sedimentos después de éstos. Un 1% de disminución en los años transcurridos entre los incendio tiene como resultado una disminución de 0.58% en la producción anual de sedimentos de los contenedores de basura. En la zona estudiada esto indica que un periodo sin incendios de cinco años reduciría la producción de sedimentos anual por KM desde 40.843 m² con el actual periodo sin incendio hasta 17166m³. Esta reducción anual de sedimentos ahorraría al Departamento de Obras Públicas del Condado de los LA 24 millones al año en términos de menores costes de limpieza en el contenedor de basura.

Sin embargo, si se comparara el valor actual neto de los periodos de 5 y 10 años entre las quemas prescritas se ve que un periodo de 10 años ofrece beneficios netos.

Con un periodo de 5 años de quema prescrita hay una reducción mayor de sedimentos, pero tiene un valor actual neto menor debido a la necesidad de una quema prescrita adicional. Por otra parte el periodo de cinco años puede ser demasiado corto para mantener la integridad y biodiversidad ecológica de muchas plantas autóctonas y especies animales asociadas. Nuestro estudio del incendio forestal de Kinneloa indica que los costes de una quema prescrita hubieran sido mucho menores que si se incluía la extinción del incendio forestal y los costes de rehabilitación de la Cuenca después del incendio.

Las implicaciones de la gestión de esta investigación sugieren que los beneficios relacionados con la cuenca pueden ser una cantidad considerable añadida a los beneficios tradicionales de reducción del peligro de incendios que proceden de una quema prescrita. Los gestores de incendios que trabajan en el entorno forestal del área urbana deberían incluir las disminuciones en el coste que acarrearán una menor limpieza de sedimentos, una reducción en los costes de la rehabilitación de la cuenca y el evitar los cierres de la zona recreativa cuando se realizan evaluaciones económicas de la quema prescrita. Esta investigación proporciona algunas estimaciones de los ahorros que se consiguen en las montañas de San Gabriel y presenta un enfoque para estimar las disminuciones de coste en otros entornos forestales del área urbana.

Referencias

- Buck, C.C., W.L. Fons, and C.M. Countryman. 1948. Fire Damage from Increased Run-Off and Erosion on the southern California National Forests. California Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service, Berkeley, CA.
- Holmes, T. 1988. The Offsite Impact of Soil Erosion on the Water Treatment Industry. *Land Economics* 64(4): 356-366.
- Martin, D. and Moody, J. 2001. Comparison of Soil Infiltration Rates in Burned and Unburned Mountainous Watersheds. *Hydrological Processes* 15: 2893-2903.
- Moreno, J.M., Oechel, W.C. (eds.), 1994. *The Role of Fire in Mediterranean-type Ecosystems*. Ecological Studies 107, Springer-Verlag, New York. 201 p.
- Moore, W. and B. McCarl. 1987. Off-Site Costs of Soil Erosion: A Case Study of the Willamette Valley. *Western Journal of Agricultural Economics* 12(1): 42-50.
- Robichaud, P., McDonald, L., Freeouf, J., Neary, D., Martin, D., and L. Ashmun. 2003. Postfire rehabilitation of the Hayman Fire, pp. 293-314 In Graham, Russell T., Technical Editor. 2003. Hayman Fire Case Study. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-114. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 396 p.
- Rosenberger, Randy and John Loomis. 2001. Benefit Transfer of Outdoor Recreation Use Values. RMRS-GTR-72. Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service, Fort Collins, CO
- Rowe, P., C. Countryman and H. Storey. 1954. Hydrologic Analysis Used to Determine Effects of Fire on Peak Discharges and Erosion Rates in Southern California Watersheds. California Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service. 49p.
- USDA Forest Service, Angeles National Forest. January 30, 1995. Kinneloa Burned Area Accomplishment Report. 701 Santa Anita Ave, Arcadia, CA.

USDA Forest Service, Angeles National Forest. National Visitor Use Monitoring Results, Region 5.

- USDA Soil Conservation Service. 1994. Kinneola Wildfire Emergency Watershed Protection Program. Natural Resources Conservation Service 4481 North Date Ave, Lancaster, CA.
- Walker, Norm. 2001. Prescribed Fire Costs. Email from Norm Walker, Division Chief, San Jacinto District, San Bernardino National Forest to Lucas Bair, Colorado State University. January 26, 2001.
- Wells, W., P. Wohlgemuth, A. Campbell, F. Weirch. 1987. Postfire Sediment Movement by Debris Flows in the Santa Ynez Mountains, California. In *Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim*. IAHS Publication No. 165. International Association of Hydrological Sciences, Washington DC. 275-276.
- Wohlgemuth, P.; Beyers, J.; Conard, S. 1999. Postfire Hillslope Erosion in Southern California Chaparral: A Case Study of Prescribed Fire as a Sediment Management Tool. In *Proceedings of the Symposium on Fire Economics, Planning and Policy: Bottom Lines*. Technical Editors: Armando González-Cabán and Phil Omi. PSW-GTR-173, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, Albany, CA.